



An Analysis of the Tensile Strength of Spot Welded Joints in ST40 Low-Carbon Steel

Rahmat Hidayat, Mukhnizar, Azmil Azman

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Dan Perencanaan Universitas Ekasakti Padang

Email: ramaik904@gmail.com

ABSTRACT

Spot welding is widely used in the automotive industry due to its fast process, efficiency, and neat joint results. However, the joint strength is highly influenced by welding parameters, especially pressing time. This study aims to determine the tensile strength of spot-welded joints on low-carbon steel ST40, analyze the effect of pressing time variations, and identify the optimum pressing time that produces the strongest joint. The results showed that a pressing time of 20 seconds produced the highest tensile strength of 36.69 MPa, yield strength of 205.56 MPa, and modulus of elasticity of 406.85 MPa. Therefore, a pressing time of 20 seconds is considered the optimum condition to produce strong spot-welded joints on ST40 steel.

Keywords: Spot Welding, ST40 Steel, Tensile Strength, Pressing Time

PENDAHULUAN

Perkembangan industri manufaktur yang semakin pesat mendorong lahirnya berbagai inovasi teknologi untuk menghasilkan produk yang memiliki kualitas, efisiensi, dan daya saing yang lebih tinggi. Persaingan industri yang semakin kompetitif menuntut setiap perusahaan untuk terus meningkatkan kualitas proses produksi melalui pemanfaatan teknologi yang tepat. Salah satu sektor yang mengalami perkembangan signifikan adalah industri otomotif, yang sangat bergantung pada ketepatan proses manufaktur untuk menghasilkan produk yang memenuhi standar keselamatan, kekuatan, dan ketahanan.

Dalam industri otomotif, inovasi dan penerapan teknologi manufaktur memegang peranan yang sangat penting, terutama pada proses penyambungan material logam. Berbagai komponen kendaraan memerlukan metode penyambungan yang mampu menghasilkan sambungan dengan kekuatan tinggi, presisi yang baik, serta efisiensi waktu produksi. Oleh karena itu, teknologi pengelasan menjadi salah satu proses utama yang menentukan kualitas produk akhir, karena hampir seluruh bagian rangka maupun bodi kendaraan dirakit melalui proses pengelasan.

Pengelasan (*welding*) merupakan metode penyambungan logam dengan cara meleburkan elektroda menggunakan panas yang dihasilkan oleh tenaga listrik sehingga terbentuk sambungan yang permanen. Metode ini banyak digunakan dalam berbagai sektor industri karena mampu menghasilkan sambungan yang kuat, tahan lama, dan memiliki efisiensi produksi yang tinggi (Amin, 2017). Selain itu, perkembangan teknologi pengelasan juga telah menghasilkan berbagai metode penyambungan yang disesuaikan dengan karakteristik material maupun kebutuhan proses produksi.

Salah satu metode pengelasan yang banyak diterapkan pada industri manufaktur adalah las titik (*spot welding*). Proses ini digunakan untuk menyambung dua lembar pelat logam tipis dengan cara mengalirkan arus listrik melalui dua elektroda sehingga menghasilkan panas pada titik kontak hingga logam mencair dan menyatu (Anrinal & Hendri, 2012). Dibandingkan metode pengelasan lainnya, las titik memiliki proses yang relatif cepat, menghasilkan sambungan yang rapi, serta tidak memerlukan bahan tambah sehingga sangat sesuai untuk proses produksi dalam jumlah besar.

Las titik banyak diaplikasikan pada industri otomotif, kedirgantaraan, serta industri elektronik karena mampu memberikan produktivitas yang tinggi dengan biaya produksi yang relatif rendah. Pada industri otomotif, metode ini digunakan untuk menyambung berbagai komponen bodi kendaraan, rangka, maupun panel-panel logam tipis. Kualitas sambungan yang dihasilkan dipengaruhi oleh beberapa parameter proses, di antaranya besar arus listrik, tekanan elektroda, waktu pengelasan, serta lama penekanan setelah proses pengelasan berlangsung. Pengendalian parameter tersebut menjadi faktor penting dalam menghasilkan sambungan yang memiliki kekuatan optimal.

Dalam konstruksi berbahan baja, penggunaan las titik juga semakin luas karena menawarkan berbagai keunggulan, seperti proses pengerjaan yang cepat, hasil sambungan yang rapi, efisiensi penggunaan material, serta biaya produksi yang relatif lebih rendah. Namun demikian, metode ini memiliki keterbatasan karena lebih efektif digunakan pada material dengan ketebalan yang relatif tipis. Apabila diterapkan pada material yang terlalu tebal, kualitas sambungan cenderung menurun sehingga diperlukan metode pengelasan lain yang lebih sesuai dengan karakteristik material tersebut.

Kekuatan sambungan hasil pengelasan merupakan salah satu faktor utama yang menentukan daya tahan dan keamanan suatu konstruksi. Selain dipengaruhi oleh parameter pengelasan, kekuatan sambungan juga sangat ditentukan oleh karakteristik material dasar yang digunakan. Salah satu material yang banyak digunakan dalam industri manufaktur adalah baja ST40, yaitu baja karbon rendah yang memiliki kuat tarik maksimum sekitar 40 kg/mm² dengan kandungan karbon antara 0,025–0,25% (Variasi & Pelumas, 2012). Material ini banyak dipilih karena memiliki sifat mampu las (*weldability*) yang baik, mudah dibentuk, serta memiliki keseimbangan antara kekuatan dan keuletan.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat dipahami bahwa kualitas sambungan las titik dipengaruhi oleh interaksi antara karakteristik material dan parameter proses pengelasan yang digunakan. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk mengkaji kekuatan sambungan hasil las titik pada material baja ST40 sehingga diperoleh informasi mengenai karakteristik sambungan yang dihasilkan dan parameter proses yang mampu menghasilkan kualitas sambungan terbaik. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi pengembangan proses pengelasan di industri manufaktur, khususnya pada aplikasi konstruksi berbahan baja yang memerlukan sambungan kuat, efisien, dan berkualitas tinggi.

METODE PENELITIAN

Waktu Dan Tempat

Pengujian ini dilakukan di laboratorium politeknik Negeri Padang dan laboratorium universitas ekasakti pada bulan Juni sampai Agustus 2024

Analisis Hasil Dan Pembahasan

Analisis pengaruh waktu tekan pengelasan 20 detik, 25 detik, dan 30 detik. Pada pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai tegangan tarik, tegangan luluh, regangan serta modulus elastisitas yang dapat ditahan sebelum akhirnya spesimen putus.

1. Hasil Pengujian Tarik sesuai waktu tekan pengelasan 20, 25, dan 30 detik Terhadap Tegangan Tarik.

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh bahwa waktu tekan pengelasan 20 detik menghasilkan tegangan tarik maksimum tertinggi, yaitu sebesar 36.69 N/mm² (MPa). Nilai ini lebih tinggi dibandingkan dengan waktu tekan 30 detik (31.49 N/mm²) dan 25 detik (24.01 N/mm²).

Hasil ini menunjukkan bahwa sambungan las dengan waktu tekan 20 detik memiliki kekuatan tarik paling baik, diduga karena pada waktu tersebut terjadi pencairan logam yang optimal, sehingga ikatan antar material menjadi lebih kuat. Sedangkan waktu tekan 25 detik menghasilkan tegangan tarik paling rendah, kemungkinan karena proses pemanasan belum cukup optimal.

Waktu tekan 30 detik memberikan hasil tegangan tarik yang cukup tinggi, tetapi masih di bawah waktu 20 detik. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan kekuatan, tetapi sedikit penurunan kekuatan akibat kemungkinan overheating pada sambungan las. Hasil perbandingan tegangan tarik ini dapat dilihat lebih jelas pada Gambar 5.1



Gambar 5.1 Grafik Tegangan Tarik Rata-Rata Maksimum Dari Spesimen Waktu Tekan 20, 25 dan 30 detik

Ini grafik hubungan antara waktu tekan pengelasan (20, 25, 30 detik) dengan tegangan tarik maksimum (MPa). Tampak bahwa tegangan tertinggi diperoleh pada waktu tekan 20 detik (36,69 MPa), kemudian menurun pada 25 detik (24,01 MPa), dan sedikit meningkat lagi pada 30 detik (31,49 MPa).

Nilai rata-rata tegangan tarik maksimum pada spesimen dengan waktu tekan 20, 25, dan 30 detik menunjukkan adanya variasi yang signifikan, yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor berikut:

1. Perbedaan nilai tegangan tarik disebabkan oleh variasi gaya tarik maksimum (F_u) yang dihasilkan selama proses pengujian. Setiap waktu tekan menghasilkan tingkat penetrasi dan sambungan logam yang berbeda, sehingga memengaruhi kekuatan sambungan.
2. Waktu tekan 30 detik menghasilkan tegangan tarik lebih rendah dari waktu 20 detik karena kemungkinan kelebihan panas yang terjadi saat proses pengelasan. Waktu tekan yang terlalu lama dapat menyebabkan mikrostruktur logam menjadi lebih lunak atau terjadi cacat las, yang menurunkan kekuatan tarik material. Sementara itu, waktu tekan 25 detik menghasilkan tegangan tarik terendah, kemungkinan karena tidak cukup waktu untuk membentuk ikatan las yang optimal.
2. Hasil Pengujian Tarik sesuai waktu 20, 25, dan 30 detik Terhadap Regangan.

Berdasarkan hasil pengujian, nilai regangan rata-rata tertinggi diperoleh pada waktu tekan 20 detik, yaitu sebesar 9.02%, kemudian diikuti oleh waktu 30 detik (8.03%) dan yang paling rendah pada 25 detik (7.03%). Perbedaan nilai regangan ini menunjukkan bahwa sambungan pada waktu 20 detik lebih mampu mengalami deformasi sebelum mengalami kerusakan dibandingkan dua waktu lainnya.

Regangan tinggi menunjukkan bahwa spesimen memiliki keuletan yang baik. Namun demikian, regangan yang terlalu tinggi dapat pula menunjukkan kelemahan dalam kekuatan struktur jika tidak diimbangi dengan tegangan tarik yang cukup tinggi. Oleh karena itu, nilai regangan harus dilihat bersamaan dengan tegangan tarik dan modulus elastisitas untuk mendapatkan gambaran menyeluruh terhadap karakteristik sambungan. Hasil ini dapat dilihat secara visual pada Gambar 5.2



Gambar 5. 2 Grafik Regangan Rata-Rata Maksimum Dari Spesimen Waktu Tekan 20, 25 dan 30 detik

Ini grafik hubungan antara waktu tekan pengelasan (20, 25, 30 detik) dengan regangan (%). Tampak bahwa nilai regangan tertinggi diperoleh pada waktu tekan 20 detik sebesar 9,00%, kemudian menurun pada 25 detik menjadi 7,00%, dan sedikit meningkat kembali pada 30 detik sebesar 8,00%.

Nilai rata-rata regangan tertinggi diperoleh pada spesimen dengan waktu tekan 20 detik sebesar 9.02%, kemudian waktu 30 detik sebesar 8.03%, dan yang paling rendah pada waktu 25 detik sebesar 7.03%. Nilai regangan yang lebih tinggi pada waktu 20 detik menunjukkan bahwa spesimen hasil pengelasan tersebut memiliki kemampuan deformasi (keuletan) yang lebih baik dibandingkan dua waktu lainnya. Beberapa faktor yang memengaruhi perbedaan nilai regangan tersebut antara lain:

1. Perbedaan gaya tarik maksimum (F_u) yang diberikan selama pengujian. Pada waktu tekan 20 detik, gaya tarik yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan waktu 25 dan 30 detik. Hal ini menyebabkan panjang akhir spesimen lebih besar, sehingga menghasilkan nilai regangan yang juga lebih tinggi.
2. Perubahan sifat material akibat proses pemanasan saat pengelasan. Waktu tekan yang lebih lama, seperti pada 30 detik, dapat menyebabkan material menjadi lebih kaku atau getas, akibat perubahan mikrostruktur logam yang berlebihan. Sementara itu, pada waktu tekan 25 detik, ikatan las yang terbentuk mungkin belum sempurna, sehingga menghasilkan deformasi yang rendah.

Perhitungan regangan ini didasarkan pada selisih antara panjang akhir dan panjang awal spesimen setelah dilakukan uji tarik, sebagaimana digambarkan pada Gambar 5.2.

3. Hasil Pengujian Tarik Sesuai Waktu 20, 25, Dan 30 Detik Terhadap Tegangan Luluh.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai tegangan luluh (σ_y) tertinggi diperoleh pada waktu tekan 30 detik, yaitu sebesar 205.83 N/mm², diikuti oleh waktu tekan 20 detik sebesar 205.56 N/mm², dan yang terendah pada waktu tekan 25 detik, yaitu sebesar 186.11 N/mm².

Dengan demikian, pernyataan bahwa tegangan luluh waktu tekan 30 detik lebih kecil dari 20 detik dan 25 detik tidak sesuai dengan hasil perhitungan aktual. Justru waktu tekan 30

detik memberikan nilai tegangan luluh paling tinggi, meskipun selisihnya sangat kecil dibandingkan 20 detik.

Perbedaan ini dapat terjadi karena variasi dalam proses pemanasan dan tekanan saat pengelasan, yang memengaruhi kekuatan awal material untuk menahan deformasi plastis. Nilai tegangan luluh yang tinggi menunjukkan bahwa material mampu menahan beban lebih besar sebelum mengalami deformasi permanen.

Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa sambungan dengan waktu tekan 30 detik memiliki ketahanan luluh terbaik, walaupun tidak signifikan berbeda dengan waktu 20 detik. Nilai tegangan luluh ini divisualisasikan dalam Gambar 5.3



Gambar 5.3 Grafik Tegangan Luluh Rata-Rata Dari Spesimen Waktu Tekan 20, 25 dan 30 detik

Ini grafik hubungan antara waktu tekan pengelasan (20, 25, 30 detik) dengan tegangan luluh (MPa). Tampak bahwa nilai tegangan luluh tertinggi diperoleh pada waktu tekan 20 detik sebesar 205,56 MPa, kemudian menurun pada 25 detik menjadi 187,14 MPa, dan meningkat kembali pada 30 detik sebesar 205,43 MPa.

Meskipun data aktual menunjukkan bahwa tegangan luluh tertinggi diperoleh pada waktu tekan 30 detik (205.83 N/mm²), diikuti oleh 20 detik (205.56 N/mm²), dan 25 detik (186.11 N/mm²), terdapat beberapa penjelasan teknis mengenai bagaimana perbedaan ini dapat terjadi dan apa yang memengaruhinya. Beberapa alasan utama yang memengaruhi perbedaan nilai tegangan luluh adalah:

1. Pengaruh beban dan sifat elastis material:

Ketika suatu material diberi beban yang melebihi batas elastisnya, maka material mulai mengalami deformasi plastis, yaitu kondisi di mana bentuk material tidak kembali seperti semula. Semakin tinggi beban yang diberikan secara terus menerus, maka sifat elastis material akan menurun dan menyebabkan terjadinya tegangan luluh. Pada waktu tekan 30 detik, meskipun nilai beban awal tinggi, sifat elastisitas material bisa mulai berkurang akibat panas dan tekanan yang berlebihan.

2. Pengaruh waktu tekan terhadap perubahan struktur mikro:

Waktu tekan yang terlalu lama saat proses pengelasan dapat menyebabkan pemanasan berlebih, yang berisiko mengubah struktur mikro logam. Perubahan ini berpotensi menurunkan kekuatan material dalam menahan deformasi elastis, yang memicu terjadinya luluh lebih cepat atau pada beban tertentu.

3. Distribusi panas yang tidak merata:

Jika panas tidak tersebar secara merata selama proses pengelasan, maka sebagian area material bisa menjadi terlalu lunak atau bahkan mengalami cacat las. Hal ini membuat sebagian zona pada sambungan memiliki titik luluh yang lebih rendah dari nilai

idealnya

4. Hasil Pengujian Tarik Sesuai Waktu 20, 25, Dan 30 Detik Terhadap Modulus Elastisitas.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada waktu tekan 20 detik sebesar 406.85 N/mm², kemudian diikuti oleh waktu tekan 30 detik sebesar 392.43 N/mm², dan yang paling rendah adalah waktu tekan 25 detik sebesar 341.81 N/mm².

Modulus elastisitas mencerminkan seberapa besar kemampuan material untuk kembali ke bentuk semula setelah diberikan beban. Nilai modulus yang tinggi menunjukkan bahwa material memiliki elastisitas yang baik, mampu menahan deformasi elastis sebelum berubah menjadi deformasi permanen.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sambungan dengan waktu tekan 20 detik memiliki karakteristik elastisitas terbaik, diikuti oleh 30 detik, sementara 25 detik menunjukkan kekakuan paling rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa proses pengelasan pada waktu 25 detik kemungkinan menghasilkan struktur mikro yang kurang padat atau sambungan kurang sempurna Hasil perbandingan ini ditampilkan dalam Gambar 5.4 .



Gambar 5. 4 Grafik Modulus Elastisitas Rata – Rata Dari Spesimen Waktu Tekan 20, 25 Dan 30 Detik

Modulus elastisitas merupakan parameter yang menunjukkan tingkat kekakuan suatu material saat diberi beban. Berdasarkan hasil pengujian, nilai modulus elastisitas tertinggi diperoleh pada waktu tekan las 20 detik sebesar 406.85 N/mm², disusul waktu 30 detik sebesar 392.43 N/mm², dan yang terendah adalah 25 detik dengan 341.81 N/mm².

Dari hasil tersebut, diketahui bahwa waktu tekan 25 detik memiliki modulus elastisitas paling rendah, yang menunjukkan bahwa material menjadi lebih fleksibel, tetapi juga kurang kaku dan kurang mampu mempertahankan bentuk elastis saat diberi beban. Beberapa alasan potensial mengapa nilai modulus elastisitas 25 detik lebih rendah:

1. Perbedaan titik patah spesimen:

Pada setiap pengujian, lokasi patahnya spesimen berbeda. Hal ini berpengaruh terhadap nilai tegangan dan regangan yang dihasilkan, serta berdampak pada perhitungan modulus elastisitas. Semakin awal spesimen mengalami deformasi permanen, maka nilai modulusnya akan lebih rendah.

2. Deformasi awal yang lebih cepat:

Regangan pada awal pengujian pada waktu tekan 25 detik lebih cepat meningkat akibat deformasi plastis dini, yang mengindikasikan bahwa material lebih lunak atau tidak setegas waktu tekan lainnya. Hal ini bisa disebabkan oleh struktur mikro logam yang kurang sempurna akibat pemanasan yang tidak optimal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis kekuatan tarik sambungan las titik (spot welding) pada baja karbon rendah ST40 dengan variasi waktu tekan 20 detik, 25 detik, dan 30 detik, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai kekuatan tarik sambungan las titik pada baja ST40. Dari hasil pengujian, diperoleh nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 36,69 N/mm² pada waktu tekan 20 detik. Pada waktu tekan 20 detik, panas dan tekanan yang dihasilkan cukup untuk mencairkan permukaan sambungan logam hingga terbentuk nugget las yang padat dan homogen. Energi panas yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan material ST40 sehingga menghasilkan ikatan antar logam yang kuat tanpa menimbulkan cacat.
2. Menganalisis pengaruh variasi waktu tekan terhadap kekuatan tarik sambungan las titik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama waktu tekan (25–30 detik), nilai kekuatan tarik justru mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh kelebihan panas (overheating) yang timbul akibat waktu tekan terlalu lama. Overheating menyebabkan struktur mikro logam di daerah las menjadi kasar dan getas (brittle), serta kemungkinan timbulnya retak mikro pada nugget. Akibatnya, sambungan menjadi lebih lemah meskipun tampak meleleh lebih luas.
3. Menentukan waktu tekan optimum proses spot welding pada baja ST40. Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data, waktu tekan 20 detik merupakan waktu yang paling optimal dibandingkan 25 detik dan 30 detik. Pada waktu tekan 20 detik, distribusi panas dan tekanan elektroda berada pada titik seimbang, menghasilkan nugget dengan kekuatan ikatan maksimum. Jika waktu tekan lebih lama, panas berlebih dapat menyebabkan penguapan logam, perubahan struktur, dan penurunan kekuatan tarik. Oleh karena itu, parameter 20 detik dinilai paling efisien untuk pengelasan titik pada baja ST40 dengan arus 70 A dan ketebalan plat 3 mm

DAFTAR PUSTAKA

- American Welding Society (AWS). (2012). Resistance Welding Manual (5th ed.). Miami: American Welding Society.
- American Welding Society (AWS). (2017). Welding Handbook Volume 1: Welding Science and Technology. Miami: AWS.
- Abdullah, K. (2018). Pengembangan dan Uji Dinamis Sandwich Panel Berbahan Core Material Limbah Cangkang Kerang pada Konstruksi Kapal. In Master Thesis..https://repository.its.ac.id/58264/1/04111650030010-Master_Thesis.pdf
- Amin, A. (2017). Pengaruh Variasi Arus Listrik Terhadap Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Sambungan Las Titik (Spot Welding) Logam Dissimilar Stainless Steel dan Baja Karbon Rendah. *J. Teknik Mesin, Politeknik Kota Baru, Kalimantan Selatan.*, 02(02), 63–67.
- Anrinal, O. :, & Hendri, &. (2012). Analisa Kekuatan Tarik Hasil Spot Welding Baja Karbon Rendah. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(2), 6–9.
- Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. F. (2015). *Mechanics of Materials* (7th ed.). McGraw-Hill.
- Bowditch, W. A. (2001). *Welding Fundamentals*. USA: The Goodheart-Willcox Company.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2020). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (10th ed.). Wiley.
- Cary, H. B., & Helzer, S. C. (2015). *Modern Welding Technology* (6th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Dieter, G. E. (1988). *Mechanical Metallurgy* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Hermawati, L., Pratomo, S. A., & Budiyanto, L. (2024). Analisa Quenching Air Dan Oli

- Terhadap Terhadap Nilai Kekerasan Permukaan Baja Karbon Rendah Hardfacing Menggunakan Las Smaw Dengan Polaritas DC- Dan DC+. Jurnal Universal Technic (UNITECH), 3(1), 48–65.
- Hidayat, W. (2019). Klasifikasi Dan Sifat Material Teknik Serta Pengujian Material. Jurnal Material Teknik, 4, 1–19.
- Hendri (2012) dalam Landasan Teori Pengujian Tarik Logam.
- Kou, S. (2003). Welding Metallurgy (2nd ed.). Wiley-Interscience.
- Laksono, E. N., Wibawa, A., Santosa, B., & Jokosisworo, S. (2020). JURNAL TEKNIK PERKAPALAN Pada Sambungan Las Baja ST 40 Akibat Pengelasan Flux-Cored Arc Welding (FCAW) Dengan Variasi Suhu Normalizing. Jurnal Teknik Perkapalan, 8(4), 520–531. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Mulyadi, M. (2016). Pengaruh Model Speciment Uji Tarik Pada Pengelasan Besi Fc-30 Di Lihat Dari Kekuatan Tarik Pengelasan. Rekayasa Energi Manufaktur, 1(2), 29. <https://doi.org/10.21070/r.e.m.v1i2.658>
- Rohadi, A., & Syafaat Imam, D. (2013). ANALISIS KEAUSAN BAJA St.40 MENGGUNAKAN TRIBOTESTER PIN-ON-DISC DENGAN VARIASI KONDISI PELUMAS. ANALISIS KEAUSAN BAJA St.40 MENGGUNAKAN TRIBOTESTER PIN-ON-DISC DENGAN VARIASI KONDISI PELUMAS, 9, 38–40.
- Rokhmani, F., Usman, M. K., & Romadhon, S. A. (2020). Analisa Kekuatan Pengelasan Dengan Uji Tarik Pada Rangka Mobil Listrik Black Bull. Teknik Mesin, Politeknik Harapan Bersama Tegal, 1(71), 1–4.
- Siswanto, R. (2018). Teknologi Pengelasan. Teknik Mesin Univeristas Lambung Mangkurat, 1–20.
- Variasi, P. D., & Pelumas, K. (2012). 114568-ID-analisis-keausan-baja-st40-menggunakan-t.
- Wiryosumarto, H., & Okumura, T. (2017). Teknologi Pengelasan Logam. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Yusman, F. (2018). PENGARUH MEDIA PENDINGIN PADA PROSES QUENCHING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKUR MIKRO BAJA AISI 1045 Oleh FAKHRIZAL YUSMAN. Skripsi, 1045.
- <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcTdIGJqryLAVq98-hjvF4QO7HhbZESId-BwL0nq32Bvzg&s> Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB
- https://www.researchgate.net/figure/2-Carbon-arc-welding-Kalpakjian-et-al-2014_fig5_358116400 Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB
- <https://widimaterial.blogspot.com/2015/05/jawaban-tugas-pendahuluan-praktikum.html> Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB
- <https://widimaterial.blogspot.com/2015/05/jawaban-tugas-pendahuluan-praktikum.html> Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB
- https://www.google.com/url?sa=FMesin_uji_universal&psig Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB
- <https://me.widyatama.ac.id/wp-content/uploads/2020/08/image001.jpg> Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB
- https://www.google.com/url?sa=FMesin_uji_universal&psig Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB
- <https://id-test-11.slatic.net/p/7b016b374f3ee40718e6b07c6a8.jpg> Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB
- https://media.licdn.com/dms/image//article-cove_image-shrink Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB
- <https://hardajaya.com/plat-besi-ss400/> Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB

<https://Resistance-Spot-Welding-Machine-Resistance-Welding-Electrode.jpg>

<https://asset-a.grid.id/crop/0x0:0x0/.jpg> Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB

https://www.researchgate.net/figure/Gambar-1-Dimensi-spesimen-ASME-QW-4629-standart-L-Panjang-Spesimen-1016-mm-W_fig1_355100613 Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB

https://www.researchgate.net/figure/Gambar-4-Spesimen-uji-tarik-ASTM-...E8_fig1_362996618 Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB

https://repo.itera.ac.id/assets/file_upload/SB2301080004/118170061_4_012014.pdf Diakses pada 22 April 2025, pukul 22.00 WIB