



ANALISIS KEKUATAN TARIK LAS SMAW PADA PIPA CARBON STEEL A106 GRADE B

Genta Arya Rahma Mahendra¹⁾, Muhamad nahrudin ibad²⁾, Diah Wulandari³⁾

¹⁾ Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: genta.22060@mhs.unesa.ac.id

²⁾ Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: muhamadibad.22045@mhs.unesa.ac.id

³⁾ Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia
Email: diahwulandari@unesa.ac.id

Abstract

The purpose of this study is to analyze the welding strength, specifically the SMAW (Shielded Metal Arc Welding) method, on ASTM A106 grade B carbon steel pipes. These pipes are commonly used in the oil and gas industry, making it important to understand the mechanical properties that occur after the welding process. Tensile testing was conducted on specimens taken from welded pipe joints, using SMAW as the welding method parameter. The results of the test indicate that the welding method significantly influences tensile strength, elongation, and other mechanical properties. This study found that maximum strength is achieved at certain parameters, highlighting the importance of control in the welding process to ensure joint quality. In addition, microscopic analysis of the microstructure shows that the composition and phase characteristics of the weld affect joint strength. The findings of this research are expected to provide guidance for industry in improving welding quality and the durability of carbon steel pipe joints, as well as serve as a reference for further studies in developing more efficient and effective welding techniques.

Keywords: Tensile test, SMAW, Welding method, ASTM A106 Grade B carbon steel pipe.

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini merupakan untuk menganalisis kekuatan pengelasan, terkhusus metode pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding) pada pipa carbon steel ASTM A106 grade B. Pipa ini umum digunakan dalam industri minyak dan gas, sehingga penting untuk memahami sifat-sifat mekanik yang terjadi setelah proses pengelasan. Pengujian tarik dilakukan pada spesimen yang diambil dari hasil pengelasan sambungan pipa, dengan parameter metode pengelasan yang digunakan yaitu SMAW. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa metode pengelasan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan uji tarik, elongasi, dan sifat mekanik lainnya. Penelitian ini menemukan bahwa kekuatan maksimum tercapai pada parameter tertentu, yang menunjukkan pentingnya kontrol dalam proses pengelasan untuk memastikan kualitas sambungan. Selain itu, analisis mikroskopis terhadap struktur mikro menunjukkan bahwa komposisi dan sifat fasa pengelasan mempengaruhi kekuatan sambungan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan panduan bagi industri dalam meningkatkan mutu pengelasan dan daya tahan sambungan pipa carbon steel, serta menjadi referensi bagi penelitian lebih lanjut dalam pengembangan teknik pengelasan yang lebih efisien dan efektif.

Kata Kunci: Uji tarik, SMAW, Metode pengelasan, Pipa carbon steel ASTM A106 grade B.



PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi produksi dan bahan baku logam tidak dapat dipisahkan dari pemanfaatan teknologi pengelasan. Sehingga boleh dikatakan hampir tidak ada logam yang tidak dapat dilas. Pengelasan adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa logam tambahan dan menghasilkan sambungan yang kontinu (Sonawan, 2006).

Pengelasan adalah metode penyambungan logam yang melibatkan ikatan metalurgi pada sambungan logam dengan mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa logam penambah dan menghasilkan sambungan yang kontinyu [1]. Efisiensi sambungan yang baik dalam bentuk geometri yang sederhana tanpa menghabiskan biaya yang besar, menjadikan proses pengelasan banyak digunakan dalam bidang konstruksi dan juga fabrikasi. Diantaranya adalah konstruksi jembatan, fabrikasi pada bejana tekan, pipa minyak dan gas, dan lain sebagainya. Keunggulan mutu pada hasil penyambungan logam dengan pengelasan tidak terlepas dari kualitas mutu baik dalam prosedur prosesnya dan kualitas juru lasnya. Kualifikasi prosedur las menjadi hal yang sangat penting dalam proses pengelasan.

Salah satu tolak ukur dalam melihat kualitas hasil lasan adalah dengan kualifikasi spesifikasi prosedur las (Welding Procedure Specification). Spesifikasi prosedur las adalah dokumen tertulis yang menjelaskan prosedur pengelasan sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Standar yang umumnya digunakan dalam kualifikasi prosedur las adalah standar ISO, AWS (American Welding Society), API (American Petroleum Institute), dan standar ASME BPVC (Boiler and Pressure Vessel). Dalam tahapan kualifikasi prosedur las, diperlukan pengujian material secara merusak (destructive) maupun pengujian tidak merusak (non-destructive test). Jenis pengujian merusak dalam kualifikasi prosedur las adalah pengujian tarik, pengujian tekuk (bending), dan pengujian impak.

Penelitian ini membahas tentang kekuatan hasil pengelasan SMAW pada Pipa Carbon Steel ASTM A106

grade B dengan menggunakan metode pengujian tarik. Dengan hasil dari penelitian ini diharapkan mengetahui kekuatan uji tarik dari pengelasan SMAW pada Pipa Carbon Steel ASTM A106 grade B.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan analisis hasil metode pengelasan SMAW pada Pipa Carbon Steel ASTM A106 grade B. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini merupakan metode eksperimental, dimana dilakukan dengan pengujian Destructive Test (DT) atau disebut juga dengan pengujian merusak, salah satu contoh dari pengujian merusak ini yang digunakan pada penelitian ini yaitu Tensile Test (Uji Tarik). Tempat untuk melakukan penelitian ini dilangsungkan di gedung laboratorium metalurgi, bengkel las, dan inspeksi yang terletak di area PPSDM Migas Cepu yang terletak di Desa Karangboyo Kecamatan Cepu Kabupaten Blora.

Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen uji tarik dibuat berdasarkan standar ASME. Pada prinsipnya, spesimen pipa Carbon Steel ASTM A106 grade B disiapkan sedemikian rupa hingga menjadi spesimen uji tarik sesuai dengan standar ASME-IX. Kemudian spesimen tersebut dipasangkan ke dalam tensile testing machine yang akan menarik spesimen tersebut hingga mengalami kegagalan patah. Berdasarkan pengujian tersebut, akan dihasilkan berupa grafik yang mencakup strain, stress, dan load yang kemudian dapat dianalisis untuk menentukan kekuatan dari material seperti yield strength, tensile strength, ultimate tensile strength, %elongation, dan %reduction.

Pengelasan SMAW (Shielded Metal Arc Welding)

SMAW (Shielded Metal Arc Welding) merupakan salah satu proses pengelasan yang paling banyak digunakan dalam industri konstruksi, manufaktur, serta perminyakan dan gas. Proses ini menggunakan elektroda terbungkus yang berfungsi menghasilkan panas melalui busur listrik antara elektroda dan logam dasar.



Terjadinya busur listrik menyebabkan elektroda mencair, sehingga logam pengisi masuk ke dalam kampuh dan membentuk sambungan las.

Keunggulan utama SMAW meliputi kemudahan penggunaan, peralatan yang relatif sederhana, fleksibilitas untuk berbagai posisi pengelasan, serta kemampuan bekerja pada kondisi lapangan. Namun, kelemahan SMAW terletak pada kecepatan deposisi yang rendah dan ketergantungan kualitas terhadap keterampilan welder. Parameter penting dalam SMAW adalah arus, tegangan, polaritas, jenis elektroda, serta kecepatan pengelasan, yang sangat memengaruhi kualitas sambungan, penetrasi las, dan kekuatan mekanik hasil lasan.

Carbon Steel ASTM A106 Grade B

ASTM A106 Grade B merupakan material pipa baja karbon yang umum digunakan pada aplikasi temperatur tinggi seperti sistem perpipaan minyak dan gas, boiler, dan heat exchanger. Material ini memiliki ketahanan mekanik yang baik dan mampu menahan tekanan serta temperatur tinggi.

Komposisi kimia dari ASTM A106 Grade B umumnya meliputi karbon ($\leq 0,30\%$), mangan ($0,29-1,06\%$), fosfor ($\leq 0,035\%$), sulfur ($\leq 0,035\%$), silikon ($0,10-0,35\%$), serta kandungan unsur lain dalam jumlah kecil.

Sifat mekaniknya mencakup nilai yield strength minimal 240 MPa dan ultimate tensile strength minimal 415 MPa. Karena digunakan pada sistem pipa bertekanan, pemilihan metode pengelasan dan kontrol parameter sangat penting untuk menjaga integritas dan keamanan sistem perpipaan.

Uji Tarik (Tensile Test)

Uji tarik adalah metode pengujian mekanik yang digunakan untuk menentukan kekuatan material terhadap gaya tarik. Pengujian dilakukan dengan menarik spesimen hingga mengalami deformasi dan patah.

Parameter utama yang diperoleh dari uji tarik meliputi:

1. Yield Strength (σ_y) – tegangan pada saat material mulai mengalami deformasi plastis.
2. Ultimate Tensile Strength (UTS) – tegangan maksimum yang dapat ditahan material sebelum terjadi necking.
3. Elongation (%) – pertambahan panjang material setelah diberi beban hingga patah.
4. Modulus Elastisitas (E) – kemiringan kurva pada daerah elastis.

Uji tarik memberikan gambaran menyeluruh mengenai kekuatan material sebelum dan sesudah proses pengelasan, sehingga sering digunakan untuk menilai kualitas sambungan las.

Struktur Mikro pada Daerah Pengelasan

Proses pengelasan menyebabkan terjadinya perubahan struktur mikro pada material akibat pemanasan dan pendinginan yang tidak merata. Zona pada sambungan las meliputi:

Weld Metal (WM)

Merupakan daerah logam cair yang membeku kembali. Struktur mikro WM dipengaruhi oleh elektroda, panas masukan, dan kecepatan pendinginan. Struktur pada WM umumnya memiliki butiran kolumnar dan acicular.

Heat Affected Zone (HAZ)

Zona HAZ merupakan daerah yang tidak mencair namun mengalami perubahan mikrostruktur akibat panas tinggi. Perubahan pada HAZ dapat mempengaruhi kekuatan mekanik, seperti memperlemah material akibat pertumbuhan butir.

Base Metal (BM)

Bagian material yang tidak mengalami pemanasan signifikan. BM memiliki struktur mikro asli yang akan dibandingkan dengan WM dan HAZ.

Kualitas sambungan las sangat ditentukan oleh ukuran butir, struktur mikro yang terbentuk, dan distribusi fasa pada WM dan HAZ. Pendinginan cepat dapat memicu



terbentuknya martensit yang keras namun getas, sedangkan pendinginan lambat menghasilkan ferrite-pearlite yang lebih ulet.

faktor yang Mempengaruhi Kekuatan Las SMAW

Beberapa faktor yang memengaruhi hasil pengelasan SMAW antara lain:

1. Arus listrik (Current)

Arus tinggi menghasilkan penetrasi lebih dalam, tetapi dapat menyebabkan porositas atau burn-through.

2. Jenis elektroda

Elektroda E7016 dan ER70S-G memberikan sifat mekanik yang berbeda pada logam las.

3. Kecepatan pengelasan (Travel Speed)

Kecepatan terlalu cepat mengakibatkan penetrasi dangkal, sedangkan terlalu lambat meningkatkan panas masukan.

4. Posisi pengelasan (6G)

Posisi 6G adalah posisi tersulit yang memerlukan keterampilan welder tinggi.

5. Jenis kampuh dan persiapan permukaan

Kampuh Single V umum digunakan untuk pipa berdinding tebal.

Semua faktor tersebut memengaruhi kekuatan tarik, elongasi, serta pola patahan sampel.

Proses Pembentukan Kampuh Las (Welding Groove Preparation)

Persiapan kampuh las merupakan tahapan penting dalam proses pengelasan, terutama pada material pipa dengan ketebalan besar seperti ASTM A106 Grade B. Jenis kampuh yang digunakan dalam penelitian ini adalah Single V-Groove, yang umum dipakai karena memberikan penetrasi yang stabil serta meminimalkan distorsi pada pipa.

Sudut kampuh, root face, dan root gap sangat memengaruhi kualitas sambungan. Kampuh yang terlalu sempit dapat menyebabkan kurangnya penetrasi (lack of fusion), sedangkan kampuh yang terlalu lebar akan

meningkatkan kebutuhan logam pengisi dan panas masukan (heat input). Optimalisasi kampuh penting untuk menjaga kualitas mekanik sambungan terutama pada posisi pengelasan 6G, di mana akses welder sangat terbatas. Persiapan kampuh yang baik membantu menghasilkan sambungan yang homogen dan tidak memiliki cacat internal yang memengaruhi kekuatan tarik.

Pengaruh Jenis Elektroda terhadap Kualitas Sambungan SMAW

Jenis elektroda merupakan faktor penting dalam menentukan kualitas sambungan las, terutama dalam proses SMAW. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah E7016, yaitu elektroda low hydrogen yang termasuk elektroda berselaput basa. Elektroda E7016 dikenal memiliki stabilitas busur yang baik, penetrasi yang cukup dalam, serta mampu menghasilkan logam las dengan kekuatan mekanik tinggi.

Selaput elektroda low hydrogen dirancang untuk meminimalkan kandungan hidrogen difusibel pada logam las, sehingga dapat mengurangi risiko terjadinya retak hidrogen (hydrogen cracking), yang umumnya muncul pada material baja karbon. Kandungan hidrogen yang rendah juga membantu meningkatkan ketangguhan sambungan serta mencegah cacat internal seperti porositas dan retak mikro.

Komposisi kimia elektroda turut menentukan sifat mekanik hasil las. Elektroda E7016 biasanya menghasilkan UTS minimal 490 MPa, sehingga sangat cocok digunakan pada material pipa ASTM A106 Grade B yang memiliki standar UTS minimal 415 MPa. Penggunaan elektroda yang tepat mendukung tercapainya kekuatan tarik sambungan yang tinggi seperti ditunjukkan dalam hasil penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian ini, spesimen pipa lasan SMAW dan Kombinasi dilakukan menggunakan Tensile Testing Machine LLYOD LR150K. Pertama-tama spesimen hasil pengelasan dipotong dan dibentuk sedemikian rupa sesuai



dengan standar ASME. Dalam pengujian ini diambil 2 sampel dari metode pengelasan, lalu diambil rata-rata untuk menganalisis dan membandingkan hasilnya. Dimensi ukuran spesimen yang dilakukan uji tarik dapat dilihat pada tabel 1. Dimensi ukuran spesimen tersebut dipastikan telah memenuhi syarat ukuran minimal sesuai standar. Selanjutnya spesimen dipasangkan ke grip mesin uji tarik, dan dikencangkan hingga terpasang dengan baik. Pada komputer yang terhubung dengan tensile resting machine, dimensi ukuran spesimen dimasukkan dengan menggunakan software NexygenPlus. Adapun parameter-parameter tersebut antara lain yaitu gauge length (G), width (W), dan thickness (T).

Data Spesimen

Berikut ini merupakan data spesimen yang dipakai untuk pengujian tarik, dengan spesifikasi sebagai berikut:

Material	: Pipa Carbon Steel ASTM A106 grade B
Ketebalan	: 7,4 mm
Diameter	: 201 mm
Proses Pengelasan	: SMAW
Jenis Pengelasan	: Manual
Jenis Elektroda	: AWS E7016 dan ER70S-G
Jenis Flux	: Low Hydrogen (SMAW)
Posisi Pengelasan	: 6G
Kampuh	: Single V
Jenis Arus	: Arus Searah (DC)
Besar Arus	: 70-110 A

Hasil pengujian tarik

Berikut merupakan tabel ukuran spesimen hasil pengujian tarik sampel metode pengelasan SMAW:

Tabel 1. Ukuran Spesimen uji Tarik

Metode Las	Ukuran (mm)								
	G0	Gf	W0	Wf	T0	Tf	L	A	C
SM AW 1	62.40	71.65	16.20	19.10	6.05	5.35	194	52.40	31.50
SM	59.9	66.3	18.6	15	7.	5.00	194	5	30

AW 2	0	5	5	.25	30			3.40	.00
Rata-Rata	61.15	69.0	17.43	17.18	6.68	5.20	194	52.90	30.75

Keterangan:

- G0 = Gauge length awal
- Gf = Gauge length akhir
- W0 = Lebar Spesimen awal
- Wf = Lebar Spesimen akhir
- T0 = Ketebalan spesimen awal
- Tf = Ketebalan spesimen akhir
- L = Panjang spesimen
- A = Panjang reduction section
- C = Lebar grip

Tabel 2. Hasil Pengujian Uji Tarik

Metode Pengelasan	σ_y (MPa)	UTS (MPa)	Fracture (MPa)
SMAW 1	357,5	540,8	425,5
SMAW 2	352,3	564,7	437,5
Rata-rata	354,9	552,7	431,5

Berdasarkan hasil pengujian tarik pada lasan SMAW, spesimen pertama memiliki nilai yield stress sebesar 357.5 MPa, ultimate tensile stress (UTS) sebesar 540.8 MPa, dan fracture strength sebesar 425.5 MPa. Untuk spesimen kedua, didapatkan nilai yield stress sebesar 352.3 MPa, ultimate tensile stress (UTS) sebesar 564.7 MPa, dan fracture strength sebesar 437.5 MPa. Dari hasil kedua spesimen tersebut kemudian diambil rata-ratanya, dan didapatkanlah hasil pengujian tarik pada lasan SMAW yaitu nilai yield stress sebesar 354.9 MPa, ultimate tensile stress (UTS) sebesar 552.7 MPa, dan fracture strength sebesar 431.5 MPa. Melihat nilai spesifikasi Pipa Carbon Steel ASTM A106 grade B yang memiliki nilai ultimate tensile strength sebesar 415 MPa, dan dibandingkan dengan nilai UTS hasil pengujian pada spesimen lasan SMAW yaitu sebesar 552.7 MPa. Dengan begitu, hasil pengujian menunjukkan bahwa kekuatan las SMAW masih memenuhi batas kekuatan base metal.

Pertambahan panjang spesimen setelah pengujian juga bisa dilihat dari tabel 1 yang bisa ditarik menggunakan rumus di bawah ini:

$$\varepsilon = \frac{69.0 - 61.15}{61.15} \times 100\% = 12.84\%$$

Berdasarkan hasil dari perhitungan diatas maka bisa disimpulkan bahwa pertambahan panjang spesimen setelah mengalami uji tarik yaitu sebesar 12.84%.



Gambar 1. Spesimen Pengelasan SMAW Setelah Uji Tarik

Analisis Pola Patahan Spesimen

Berdasarkan pengamatan visual, kedua spesimen menunjukkan patahan yang bersifat ulet (ductile fracture). Hal ini dapat dilihat dari permukaan patahan yang memiliki fitur cup and cone, serta adanya deformasi plastis yang signifikan sebelum patah.

Pola patahan ulet menunjukkan bahwa sambungan SMAW mampu menahan beban tinggi sebelum mengalami kegagalan, dan tidak menunjukkan karakteristik getas (brittle fracture) yang berbahaya bagi aplikasi pipa bertekanan.

Patahan ulet juga mengindikasikan bahwa proses pengelasan tidak menghasilkan cacat serius seperti:

- porositas besar.
- retak hydrogen.
- lack of fusion.

Hal ini memperkuat kesimpulan bahwa kualitas sambungan berada dalam kondisi baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan terhadap spesimen Pipa Carbon Steel ASTM A106 grade B yang telah dilakukan proses pengelasan SMAW, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Spesimen 1 menghasilkan sambungan dengan kekuatan tarik sebesar 540.8 MPa dengan persentase elongasi sebesar 14.9%

2. Spesimen 2 menghasilkan sambungan dengan kekuatan tarik sebesar 564.7 MPa dengan persentase elongasi sebesar 10.8%.
3. Proses pengelasan spesimen 1 dan spesimen 2 menghasilkan sambungan dengan patahan ulet.
4. Berdasarkan nilai ultimate tensile strength (UTS), spesimen 2 menghasilkan sambungan las dengan kekuatan tarik yang lebih besar daripada spesimen 1.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian berikutnya disarankan untuk menambah variasi parameter pengelasan, seperti arus, tegangan, dan kecepatan pengelasan, sehingga dapat diketahui pengaruh masing-masing parameter terhadap kekuatan tarik sambungan las SMAW.
2. Perlu dilakukan pengujian tambahan seperti uji impak, uji kekerasan, dan pengamatan struktur mikro secara lebih detail untuk memperoleh gambaran menyeluruh mengenai karakteristik mekanik hasil pengelasan.
3. Disarankan untuk menggunakan jenis elektroda yang berbeda atau variasi kelas elektroda untuk membandingkan performa hasil pengelasan pada material ASTM A106 grade B.
4. Penelitian selanjutnya sebaiknya mempertimbangkan kondisi servis pipa, seperti pengujian pada temperatur tinggi atau lingkungan korosif, untuk mensimulasikan kondisi nyata di industri minyak dan gas.
5. Perlu dilakukan optimasi parameter pengelasan menggunakan metode statistik atau software simulasi agar dapat menentukan kombinasi parameter terbaik untuk menghasilkan kekuatan sambungan yang maksimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Aghajani, H., Abdollah-zadeh, A., & Saeid, T. (2012). Effects of welding parameters on tensile properties of SMAW welded steel pipes. *Materials & Design*, 42, 450–456.
- Chandrasekar, R., & Balasubramanian, V. (2015). Mechanical performance of SMAW welded low carbon steel joints under various heat input conditions. *Journal of Manufacturing Processes*, 19, 167–175.
- Mansur, H., Yulianto, T., & Saputra, D. (2017). Evaluasi kekuatan tarik dan struktur mikro hasil pengelasan SMAW pada baja A36. *Jurnal Sains dan Teknologi Material*, 7(1), 22–29.
- Mawahib, M. Z., Jokosisworo, S., & Yudo, H. (2017). Pengujian tarik dan impak pada pengerjaan pengelasan SMAW dengan mesin genset menggunakan diameter elektroda yang berbeda. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Kelautan*, 14(1), 26–32.
- Naharuddin, N., Sam, A., & Nugraha, C. (2015). Kekuatan tarik dan bending sambungan las pada material baja SM 490 dengan metode pengelasan SMAW dan SAW. *Jurnal Mekanikal*, 6(1).
- Nugroho, S. A., Wijayanto, A., & Prasetyo, D. (2020). Pengaruh pemilihan elektroda terhadap sifat mekanik sambungan pengelasan SMAW pada baja karbon sedang. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 11(1), 45–52.
- Putri, D. A., Santoso, H., & Wibowo, A. (2019). Analisis kekuatan tarik hasil pengelasan SMAW pada baja karbon rendah dengan variasi arus listrik. *Jurnal Rekayasa Material dan Manufaktur*, 5(2), 101–108.
- Rachmad, D. T., Rahman, A., & Timbul, W. (2018). Studi perbandingan kekuatan tarik sambungan las SMAW dan GMAW pada material carbon steel. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, 3(1), 27–34.
- Rahmatika, A., Sutarto, E., & Arifin, A. C. (2021). Pengujian merusak pada kualifikasi prosedur las plat baja karbon SA-36 dengan proses pengelasan SMAW berdasarkan standar ASME Section IX. *Jurnal Vokasi Teknologi Industri (JVTI)*, 3(1).
- Zulfikar, M., Fauzan, R., & Hartono, S. (2021). Pengaruh variasi kampuh terhadap kekuatan sambungan pengelasan SMAW pada pipa baja karbon. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 8(2), 72–80.