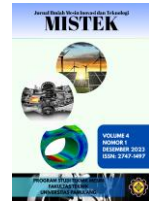




JURNAL TEKNIK MESIN MISTEK MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



RANCANG BANGUN BUMPER BELAKANG MOBIL LISTRIK TEKNIK MESIN MENGGUNAKAN MATERIAL *HOLLOW* S45C DENGAN TEBAL 2 MM

Ahmad Adhi Hermawan¹, Edi Tri Astuti², Sukandar³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : ahmadadhi29@gmail.com¹

Masuk : 16 Oktober 2023

Direvisi : 06 November 2023

Disetujui : 27 November 2023

Abstrak: Pengembangan bumper belakang dari baja *hollow* S45C pada mobil listrik buatan mahasiswa Teknik Mesin ini diarahkan menjadi kendaraan multiguna. Salah satu bagian penting yang menjadi fokus dalam pengembangan mobil listrik ini adalah bumper belakang. Selama ini, desain produk masih bervariasi dan belum sepenuhnya menyesuaikan fungsi komponen kendaraan. Ke depan, diharapkan mobil listrik ini dapat diproduksi secara massal. Untuk itu, dibutuhkan proses perancangan dan pembuatan bumper belakang yang memenuhi standar teknis. Komponen ini dirancang menggunakan baja *hollow* S45C, yaitu baja karbon menengah yang diklasifikasikan sebagai *machinery steel* dan umumnya digunakan pada komponen seperti roda gigi, *coupling*, *pulley*, *axle*, piston, rel kereta api, dan struktur baja. Penelitian ini melibatkan proses perlakuan panas berupa pengelasan pada baja *hollow* S45C untuk memperbaiki sifat mekaniknya. Proses pengelasan juga dilakukan guna memperoleh aspek aerodinamis, ergonomis, dan estetika yang optimal. Pengujian berupa uji lentur dan uji kekerasan Rockwell dilakukan untuk memverifikasi peningkatan kualitas material setelah perlakuan panas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kekerasan pada spesimen setelah pengelasan (pengujian kedua) mencapai 45,1 HRC dengan nilai rata-rata 43,03 HRC dan standar deviasi sebesar 2,126. Sementara itu, nilai kekerasan terendah diperoleh pada pengujian pertama sebelum pengelasan, yaitu sebesar 36 HRC.

Kata Kunci: Baja S45C, Bumper Belakang, Uji Lentur, Uji Kekerasan Rockwell.

Abstract: The development of a rear bumper made from S45C hollow steel for an electric vehicle designed by Mechanical Engineering students is directed toward creating a multifunctional vehicle. One of the key components in this electric vehicle development is the rear bumper. So far, the product design has varied and has not fully matched the functional requirements of the vehicle component. In the future, it is expected that this electric vehicle can be produced on a mass scale. Therefore, a proper design and fabrication process for the rear bumper that meets technical standards is required. This component is designed using S45C hollow steel, a medium-carbon steel classified as *machinery steel*, commonly used in components such as gears, couplings, pulleys, axles, pistons, railway rails, and structural steel. This study involves a heat treatment process in the form of welding on S45C hollow steel to improve its mechanical properties. The welding process is also carried out to achieve optimal aerodynamic, ergonomic, and aesthetic aspects. Bending and Rockwell hardness tests were conducted to verify the improvement in material quality after heat treatment. The test results show that the hardness value of the specimen after welding (second test) reached 45.1 HRC, with an average of 43.03 HRC and a standard deviation of 2.126. Meanwhile, the lowest hardness value obtained in the first test before welding was 36 HRC.

Keywords: S45C Steel, Rear Bumper, Bending Test, Rockwell Hardness Test.

PENDAHULUAN

Perkembangan transportasi darat, khususnya mobil, mengalami kemajuan yang sangat pesat. Perusahaan otomotif saling bersaing menarik perhatian masyarakat dengan menawarkan berbagai produk kendaraan dengan desain, warna, dan bentuk yang sesuai dengan selera konsumen. Industri kendaraan terus berinovasi dengan menghadirkan varian baru yang lebih segar serta menyesuaikan spesifikasi sesuai kebutuhan pasar. Produk kendaraan modern kini menekankan penyempurnaan pada aspek mesin dan teknologi, yang secara langsung berpengaruh terhadap performa mesin maupun desain bodi kendaraan [1].

Selain faktor keamanan dan kenyamanan bagi pengemudi serta penumpang, bodi kendaraan juga memiliki nilai seni yang tinggi. Sementara itu, bodi otomotif merupakan bagian kendaraan yang dibentuk sedemikian rupa sebagai pelindung penumpang maupun barang di dalam kendaraan dari terpaan angin, hujan, dan panas matahari [1].

Pada suatu kendaraan, terdapat tiga aspek utama yang harus dipenuhi, yaitu aerodinamika, ergonomi, dan estetika. Ketiga aspek ini menjadi tolak ukur penting dalam proses perancangan kendaraan modern. Aspek aerodinamika berkaitan dengan gaya hambat akibat aliran udara yang menerpa bodi kendaraan saat bergerak. Aspek ergonomi menekankan kesesuaian antara desain kendaraan dengan postur dan kenyamanan pengguna, sedangkan aspek estetika menonjolkan unsur keindahan serta daya tarik visual kendaraan [2].

Dalam konteks kendaraan listrik buatan mahasiswa Teknik Mesin, keberadaan bodi memiliki peran ganda. Selain berfungsi memperindah tampilan, bodi juga berperan penting dalam melindungi pengendara serta komponen-komponen listrik di dalamnya. Bodi mobil harus memiliki konstruksi yang kuat untuk menjaga keamanan pengemudi dan integritas struktur kendaraan. Secara umum, struktur bodi mobil terbuat dari baja yang kokoh dan dirancang untuk menyerap energi benturan secara optimal [3], [4].

Secara umum, kendaraan terdiri atas dua bagian utama, yaitu bodi dan chassis. Bodi adalah bagian kendaraan yang dibentuk sedemikian rupa, biasanya terbuat dari plat logam (*steel plate*) dengan ketebalan antara 0,6–0,9 mm, yang berfungsi sebagai ruang bagi penumpang maupun barang. Sementara itu, chassis berfungsi menopang bodi dan terdiri atas rangka (*frame*), mesin (*engine*), sistem pemindah tenaga (*power train*), sistem kemudi (*steering*), sistem suspensi, sistem pengereman, serta komponen pendukung lainnya [5].

Bodi otomotif pada umumnya dilengkapi dengan rangka penguat di bagian dalamnya untuk menahan gaya luar [6]. Selain menjadi pelindung dari kondisi lingkungan, bodi kendaraan juga mencerminkan nilai artistik dari rancangan industri otomotif modern yang menyeimbangkan fungsi, kenyamanan, dan estetika.

Baja merupakan material utama yang banyak digunakan dalam pembuatan bodi kendaraan. Baja adalah logam paduan dengan besi (Fe) sebagai unsur dasar dan karbon (C) sebagai unsur paduan utama. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,2–2,1% berat, berfungsi sebagai unsur penguat pada kisi kristal atom besi. Selain karbon, baja juga mengandung unsur lain seperti titanium, krom, nikel, vanadium, kobalt, dan tungsten yang berpengaruh terhadap sifat mekanisnya. Persentase karbon dalam baja umumnya antara 0,05–1,5%, dan kadar ini menentukan klasifikasi serta tingkat kekerasan baja. Baja merupakan bahan baku penting dalam industri otomotif, manufaktur, konstruksi, furnitur, listrik, dan elektronik yang berkontribusi terhadap pembangunan ekonomi di berbagai negara.

Dalam pengujian komponen otomotif, tekanan menjadi parameter penting yang didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya dengan luas permukaan benda yang dikenai gaya. Besarnya tekanan dipengaruhi oleh dimensi benda uji, karena semakin besar dimensi benda maka semakin besar gaya yang terjadi. Selain itu, tekanan juga dipengaruhi oleh jenis alat penekan yang digunakan, misalnya sistem hidrolik. Luas penampang torak dan daya pompa juga memengaruhi tekanan yang dihasilkan, sehingga diperlukan perhitungan yang tepat agar daya pompa dan motor mampu bekerja secara optimal [7].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun bumper belakang mobil listrik berbahan baja *hollow S45C* yang memiliki kekuatan mekanis tinggi, bentuk aerodinamis, serta nilai estetika sesuai karakter kendaraan multiguna. Penelitian ini juga bertujuan menganalisis pengaruh proses perlakuan panas (pengelasan) terhadap peningkatan sifat mekanis material, khususnya melalui uji lentur (*bending test*) dan uji kekerasan *Rockwell*, guna memastikan bahwa desain yang dihasilkan tidak hanya memenuhi aspek fungsional, tetapi juga mampu memberikan keamanan dan ketahanan optimal bagi kendaraan listrik hasil karya mahasiswa Teknik Mesin.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan utama, meliputi persiapan bahan, proses perancangan dan pembuatan bumper, serta pengujian material untuk mengevaluasi hasil rancang bangun yang dihasilkan.

Persiapan Bahan

Bahan utama yang digunakan adalah baja *hollow S45C*, yaitu baja karbon menengah yang memiliki sifat mekanis baik dan mudah dilakukan proses perlakuan panas. Baja ini dipilih karena kekuatannya sesuai dengan kebutuhan struktur bodi kendaraan. Selain itu, digunakan bahan pendukung seperti elektroda las, gas pelindung, serta peralatan pengujian mekanik. Sebelum proses fabrikasi dilakukan, bahan baja dipotong dan dibersihkan dari kotoran atau karat untuk memastikan kualitas sambungan las yang baik. Setiap potongan baja disesuaikan dengan ukuran rancangan bumper belakang mobil listrik Teknik Mesin.

Perancangan dan Pembuatan Bumper

Proses perancangan bumper dilakukan menggunakan perangkat lunak CAD (*Computer Aided Design*) untuk

menentukan bentuk, ukuran, dan ketebalan material yang sesuai dengan struktur kendaraan. Desain bumper mempertimbangkan tiga aspek utama: aerodinamika, ergonomi, dan estetika, agar tidak hanya kuat secara struktur tetapi juga mendukung tampilan kendaraan.

Tahapan pembuatan dimulai dari pemotongan bahan, perakitan rangka, proses pengelasan, hingga penyempurnaan bentuk akhir bumper. Proses pengelasan dilakukan menggunakan metode SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*) dengan variasi arus tertentu untuk menghasilkan sambungan yang kuat dan seragam. Setelah pengelasan selesai, dilakukan perlakuan panas (*heat treatment*) guna meningkatkan kekerasan serta ketangguhan material.

Pengujian Material

Untuk mengetahui pengaruh perlakuan panas terhadap sifat mekanis material, dilakukan dua jenis pengujian, yaitu:

1. Uji Kekerasan Rockwell (*Rockwell Hardness Test*)

Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji Rockwell dengan skala HRC. Nilai kekerasan ditentukan berdasarkan kedalaman penetrasi beban terhadap spesimen baja. Hubungan antara beban (P), luas penampang indenter (A), dan tekanan (σ) dinyatakan dengan rumus:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Di mana:

σ : tegangan tekan (N/mm²)

P : gaya tekan (N)

A : luas permukaan indenter (mm²)

Nilai kekerasan diukur pada beberapa titik spesimen, kemudian dihitung rata-rata (*mean*) dan standar deviasi (SD) menggunakan rumus:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Keterangan:

x_i : nilai pengukuran ke- i

\bar{x} : nilai rata-rata

n : jumlah data pengujian

2. Uji Lentur (*Bending Test*)

Uji lentur dilakukan dengan menggunakan mesin *Universal Testing Machine (UTM)* untuk mengetahui kemampuan material menahan beban lentur. Tegangan lentur maksimum dihitung menggunakan rumus:

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2}$$

dengan:

σ : tegangan lentur maksimum (N/mm²)

P : beban maksimum (N)

L : jarak antar tumpuan (mm)

b : lebar spesimen (mm)

d : tebal spesimen (mm)

Hasil pengujian ini digunakan untuk menilai peningkatan kekuatan material setelah proses pengelasan dan perlakuan panas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

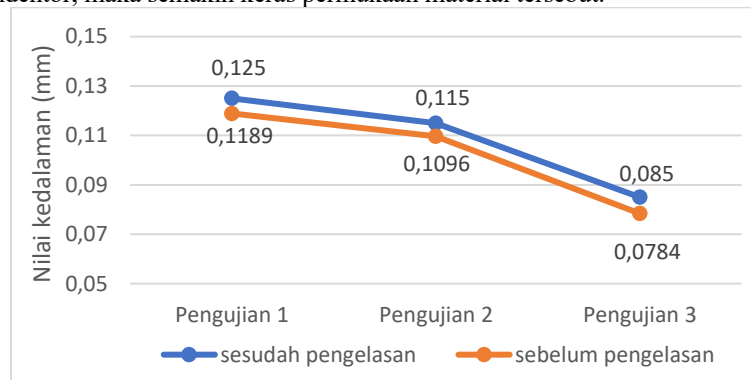
Analisis Hasil Pengujian Kekerasan (*Rockwell Hardness Test*)

Pengujian kekerasan dilakukan terhadap spesimen sebelum dan sesudah proses pengelasan untuk mengetahui perubahan sifat mekanis material baja *hollow* S45C. Nilai yang diperoleh menunjukkan adanya perbedaan kedalaman dan tingkat kekerasan antara kedua kondisi tersebut.

Tabel 1. Perbandingan Nilai Kedalaman Spesimen

Pengujian ke	Sebelum Pengelasan (mm)	Sesudah Pengelasan (mm)
I	0,125	0,1198
II	0,115	0,1096
III	0,0858	0,0784

Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat bahwa nilai kedalaman penekanan setelah pengelasan lebih kecil dibandingkan sebelum pengelasan. Hal ini mengindikasikan bahwa material mengalami peningkatan kekerasan, karena semakin kecil kedalaman penetrasi indenter, maka semakin keras permukaan material tersebut.

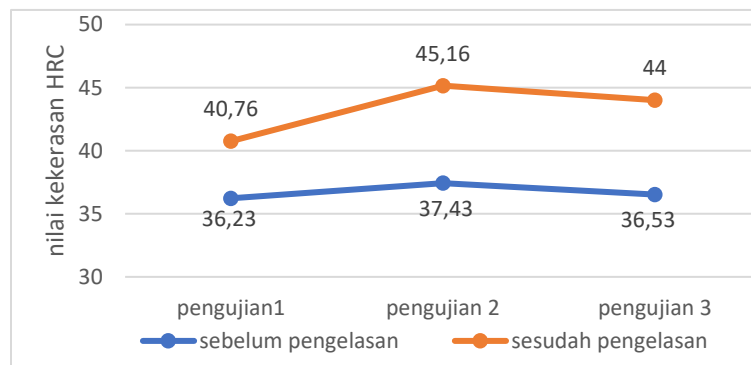


Gambar 1. Grafik Perbandingan Rata-rata Kedalaman

Berdasarkan grafik, nilai kedalaman tertinggi terdapat pada pengujian pertama sebelum pengelasan sebesar 0,125 mm, sedangkan nilai terendah terdapat pada pengujian ketiga sesudah pengelasan sebesar 0,0784 mm. Perbedaan ini menegaskan bahwa proses pengelasan berpengaruh terhadap perubahan struktur mikro material, sehingga meningkatkan kekerasan baja S45C.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Kekerasan Spesimen

Pengujian ke	Sebelum Pengelasan (HRC)	Sesudah Pengelasan (HRC)
I	36,23	40,76
II	37,43	45,16
III	36,53	44



Gambar 2. Grafik Perbandingan Nilai Kekerasan

Dari grafik dapat diamati bahwa nilai kekerasan spesimen sesudah pengelasan mengalami peningkatan yang signifikan. Nilai tertinggi terdapat pada pengujian kedua dengan hasil 45,16 HRC, sedangkan nilai terendah tercatat pada pengujian pertama sebelum pengelasan sebesar 36,23 HRC.

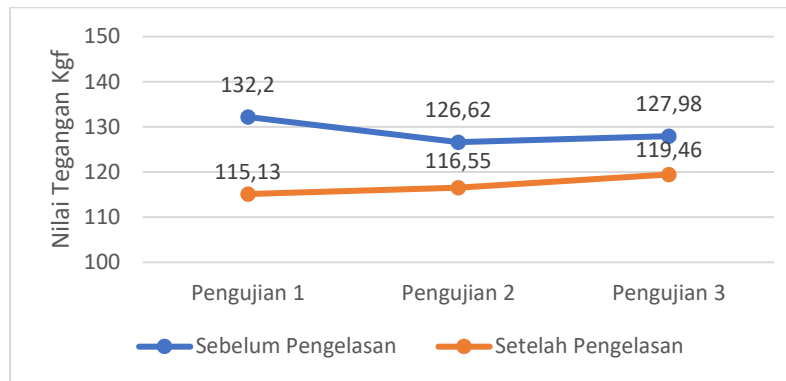
Peningkatan kekerasan ini disebabkan oleh perubahan struktur mikro akibat perlakuan panas selama proses pengelasan, yang mengakibatkan terbentuknya fasa martensit dengan densitas atom lebih rapat. Fenomena ini sesuai dengan karakteristik baja karbon menengah, di mana perlakuan panas dapat meningkatkan kekuatan dan kekerasan namun cenderung menurunkan keuletan (*ductility*).

Analisis Hasil Pengujian Lentur (*Bending Test*)

Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Perbandingan Nilai Tegangan Lentur

Pengujian ke	Spesimen Tanpa Pengelasan (Kgf)	Spesimen Setelah Pengelasan (Kgf)
I	115,13	132,2
II	116,55	126,62
III	119,46	127,98

**Gambar 3. Grafik Perbandingan Tegangan Lentur**

Berdasarkan grafik, terlihat bahwa tegangan lentur spesimen sesudah pengelasan lebih tinggi dibandingkan sebelum pengelasan. Nilai tertinggi diperoleh pada pengujian pertama setelah pengelasan sebesar 132,20 Kgf, sedangkan nilai terendah terjadi pada pengujian pertama sebelum pengelasan sebesar 115,13 Kgf.

Peningkatan nilai tegangan lentur ini menunjukkan bahwa proses pengelasan dan perlakuan panas memberikan pengaruh positif terhadap kekuatan struktur baja. Proses tersebut menyebabkan ikatan antarbutir logam menjadi lebih kuat dan homogen, sehingga mampu menahan beban lentur yang lebih besar.

Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas melalui proses pengelasan mampu meningkatkan kekerasan dan kekuatan lentur material baja *hollow S45C*. Nilai kekerasan meningkat dari kisaran 36 HRC menjadi 45 HRC, dan nilai tegangan lentur meningkat dari 115 Kgf menjadi lebih dari 130 Kgf.

Hal ini membuktikan bahwa pengelasan yang dilakukan dengan parameter arus dan waktu yang tepat dapat memperbaiki sifat mekanis baja tanpa menimbulkan cacat permukaan yang signifikan. Dengan demikian, penggunaan baja *hollow S45C* sebagai bahan untuk bumper belakang mobil listrik Teknik Mesin terbukti efektif karena memenuhi aspek kekuatan, keandalan, dan ketahanan terhadap deformasi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses pengelasan pada baja *hollow S45C* meningkatkan sifat mekanis material. Nilai kekerasan tertinggi diperoleh pada pengujian kedua setelah pengelasan sebesar 45,1 HRC, sedangkan nilai terendah pada pengujian pertama sebelum pengelasan yaitu 36 HRC. Pada uji lentur, terjadi peningkatan modulus elastisitas dan defleksi setelah pengelasan. Nilai modulus tertinggi tercatat 8.203,12 MPa, sedangkan defleksi tertinggi sebesar 57 mm. Dengan demikian, baja *hollow S45C* dinilai layak digunakan sebagai bahan bumper belakang mobil listrik Teknik Mesin karena memenuhi aspek kekuatan dan ketahanan struktur.

Penelitian selanjutnya disarankan menambah variasi arus dan waktu pengelasan serta melakukan analisis struktur mikro agar diperoleh data sifat mekanis yang lebih lengkap dan akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. K, "Vehicle body engineering: design, materials, and structural analysis," *World J. Adv. Res. Rev.*, vol. 5, no. 01, pp. 122–127, 2020, doi: 10.30574/wjarr.2020.5.1.0010.
- [2] C. Hartmann, M. Welm, S. Schreyer, C. Hartmann, and W. Volk, "A Modular Car Body for Sustainable, Cost-Effective, and Versatile Vehicle Development," *Technologies*, vol. 9, no. 1. 2021. doi: 10.3390/technologies9010013.
- [3] J. N. Hall and J. R. Fekete, "2 - Steels for auto bodies: A general overview," in *Automotive Steels: Design, Metallurgy, Processing and Applications*, R. Rana and S. B. B. T.-A. S. Singh, Eds., Woodhead Publishing, 2017, pp. 19–45. doi: 10.1016/B978-0-08-100638-2.00002-X.
- [4] A. K. Perka, M. John, U. B. Kuruveri, and P. L. Menezes, "Advanced High-Strength Steels for Automotive Applications: Arc and Laser Welding Process, Properties, and Challenges," *Metals*, vol. 12, no. 6. 2022. doi: 10.3390/met12061051.
- [5] G. Genta and L. Morello, *The Automotive Chassis - Volume 1: Components Design*. Switzerland: Springer Cham, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-35635-4.

- [6] N. P. T. Luu and L. H. Anh, "A Study on Small Vehicle Structure in Rear Under-Ride Impact by Using A CAE Based Methodology," *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 54, no. 5, p. 220511, Sep. 2022, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2022.54.5.11.
- [7] M. Sikora, "The pressure and the vibration measurement in automotive shock absorbers," *Tech. Trans.*, vol. 114, no. 4, pp. 209–217, 2017, doi: 10.4467/2353737XCT.17.061.6372.