

Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Alat Tambal Ban Portabel Sepeda Motor Menggunakan Pemanas Kawat Nikelin

Ririn Ningkeula^{*1}, Eko Yudi Setyawan², Arisandi³, Lenny Herawati⁴

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Insan Budi Utomo

⁴ Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Mojosari

e-mail: ^{*1}ririn_ningkeula@uibu.ac.id, ²arisandi@uibu.ac.id, ³lenny@itmnganjuk.ac.id

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji kinerja alat tambal ban portabel sepeda motor berbasis pemanas kawat nikelin (Ni–Cr) sebagai solusi efisien bagi perbaikan ban di lapangan. Alat ini dikembangkan melalui pendekatan eksperimen rekayasa yang meliputi tahap perancangan, pembuatan prototipe, dan pengujian performa termal serta mekanik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pemanas mampu mencapai suhu kerja optimal antara 86°C hingga 168°C dengan waktu pemanasan rata-rata 5,2 menit pada tegangan 12V DC, sesuai dengan kebutuhan proses vulkanisasi tambalan karet. Dari aspek efisiensi, alat menunjukkan efisiensi termal mencapai 80–85% dengan konsumsi daya relatif rendah. Analisis mekanik terhadap rangka dan baut pengunci menunjukkan kekuatan struktural yang memadai dengan faktor keamanan di atas tiga. Secara keseluruhan, alat ini memiliki keunggulan pada efisiensi waktu, portabilitas, dan kemudahan penggunaan dibandingkan metode konvensional. Hasil penelitian ini penting sebagai dasar pengembangan alat tambal ban portabel generasi selanjutnya dengan sistem kontrol suhu otomatis dan sumber daya yang lebih fleksibel

Kata Kunci: pemanas kawat nikelin, alat tambal ban portabel, efisiensi termal, analisis mekanik, eksperimen rekayasa

Abstract: This study aims to design and evaluate the performance of a portable motorcycle tire repair tool based on a nickel-chromium (Ni–Cr) heating element as an efficient solution for on-site tire patching. The device was developed using an engineering experimental approach, which included stages of design, prototype fabrication, and performance testing of both thermal and mechanical aspects. The results showed that the heating system achieved an optimal working temperature range between 86°C and 168°C, with an average heating time of 5.2 minutes under a 12V DC power supply—meeting the requirements of rubber vulcanization during tire patching. In terms of efficiency, the system demonstrated thermal efficiency of 80–85% with relatively low power consumption. Mechanical analysis of the frame and locking bolts indicated adequate structural strength with a safety factor greater than three. Overall, the tool exhibited advantages in time efficiency, portability, and ease of operation compared to conventional repair methods. These findings are significant as a foundation for further development of next-generation portable tire repair devices featuring automatic temperature control and more flexible power sources.

Keywords: nichrome heating wire, portable tire repair tool, thermal efficiency, mechanical analysis, engineering experiment

Mobilitas masyarakat di era globalisasi menuntut sarana transportasi yang efisien, nyaman, dan ekonomis. Di Indonesia, sepeda motor menjadi moda transportasi paling dominan karena kemampuannya menjangkau berbagai kondisi jalan

Rancang Bangun Dan Uji Kinerja Alat Tambal Ban Portabel Sepeda Motor Menggunakan Pemanas Kawat Nikelin.....

di wilayah perkotaan maupun pedesaan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik, jumlah kendaraan bermotor mencapai 148.261.817 unit pada tahun 2022, dan sekitar 84% di antaranya adalah sepeda motor (BPS, 2023). Tingginya angka tersebut menunjukkan pentingnya perawatan komponen kendaraan, terutama ban, yang berperan vital dalam menopang beban, menyalurkan gaya dorong, serta menjaga stabilitas dan keselamatan berkendara.

Kondisi jalan yang rusak, berlubang, atau dipenuhi benda tajam menyebabkan ban sering mengalami kebocoran. Situasi ini menjadi kendala bagi pengendara, khususnya mereka yang bekerja secara mobil atau melakukan perjalanan jarak jauh (Ramadani et al., 2024). Ketika kebocoran terjadi di lokasi jauh dari bengkel, pengendara kerap kesulitan memperoleh layanan perbaikan cepat, yang dapat menimbulkan risiko keselamatan dan pemborosan waktu (Drozd et al., 2022). Di sisi lain, alat tambal ban konvensional masih banyak menggunakan bahan bakar seperti solar atau spiritus sebagai sumber panas, yang menimbulkan risiko kebakaran, emisi gas buang, serta kurang efisien dari sisi energi. Sementara itu, alat tambal ban listrik yang tersedia di pasaran cenderung berukuran besar dan memerlukan daya tinggi, sehingga tidak praktis untuk penggunaan lapangan (Restu et al., 2020). Kondisi ini menjadi celah penelitian bagi pengembangan alat tambal ban portabel yang ringkas, hemat energi, dan aman digunakan di berbagai situasi.

Menanggapi permasalahan tersebut, dikembangkan alat tambal ban portabel sepeda motor dengan pemanas kawat nikelin (nickel-chromium wire) sebagai alternatif solusi. Kawat nikelin memiliki konduktivitas listrik yang baik, ketahanan panas tinggi, dan stabilitas termal yang mumpuni. Dengan sumber daya listrik 12V DC, elemen ini mampu menghasilkan suhu antara 120°C–170°C, cukup untuk proses penambalan tanpa membutuhkan bahan bakar konvensional. Penggunaan kawat nikelin diharapkan dapat mempercepat proses pemanasan, meningkatkan efisiensi energi, serta mendukung upaya ramah lingkungan (Pudin et al., 2020).

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengkaji sistem pemanas listrik untuk alat tambal ban. Mustofa et al. (2020) mengembangkan alat tambal ban otomatis berbasis aki 12V/3,5Ah dengan sensor suhu 80°C, namun belum memanfaatkan material pemanas yang lebih efisien. Maidawati et al. (2024) menekankan aspek efisiensi energi dan keamanan pada sistem semi-otomatis, tetapi masih bergantung pada sumber daya AC yang kurang fleksibel. Arsana (2018) membuktikan bahwa pengaturan suhu otomatis dapat mempercepat proses penambalan hingga 107 detik pada suhu 70°C, sedangkan Yusuf et al. (2022) merancang alat berbasis sensor suhu hingga 120°C dengan daya tahan tekanan mencapai 76 Psi, meskipun belum optimal dari sisi portabilitas. Berdasarkan hasil-hasil tersebut, belum banyak penelitian yang mengintegrasikan aspek efisiensi energi, keamanan, dan portabilitas dalam satu rancangan alat berbasis pemanas kawat nikelin, sehingga masih terdapat ruang untuk inovasi lebih lanjut.

Penelitian ini berfokus pada rancang bangun dan uji kinerja alat tambal ban portabel sepeda motor menggunakan pemanas kawat nikelin. Inovasi ini memiliki nilai kebaruan berupa desain mekanik yang ringkas dengan bahan konstruksi ringan serta sistem pemanas berdaya rendah namun efisien. Urgensi penelitian ini memberikan solusi praktis bagi pengendara yang membutuhkan peralatan darurat saat terjadi kebocoran ban di lokasi terpencil, sekaligus mendukung upaya efisiensi energi dan pengurangan emisi dari peralatan bengkel berbahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji kinerja alat tambal ban portabel berbasis pemanas kawat nikelin agar dihasilkan alat yang efisien, aman, serta mudah dioperasikan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan teknologi terapan bidang teknik mesin, khususnya pada inovasi alat bantu otomotif yang meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pengguna kendaraan bermotor.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen rekayasa (engineering experimental approach) yang mencakup tiga tahapan utama, yaitu: (1) perancangan alat, (2) pembuatan prototipe, dan (3) pengujian kinerja alat tambal ban portabel sepeda motor berbasis pemanas kawat nikelin. Pendekatan ini dipilih karena memungkinkan peneliti untuk menilai kinerja dan efektivitas alat secara langsung melalui proses eksperimen yang didasarkan pada analisis kebutuhan lapangan, perhitungan teknis komponen, serta hasil pengujian aktual. Data penelitian terdiri atas data primer (hasil observasi dan pengukuran langsung di bengkel tambal ban) dan data sekunder (literatur teknis, standar material, serta hasil penelitian terdahulu).

Tahapan Penelitian

Perancangan Alat

Tahap awal perancangan dilakukan dengan menyesuaikan ukuran alat terhadap kapasitas bagasi sepeda motor 80–150 cc agar ergonomis dan mudah dibawa. Bahan utama yang digunakan adalah pelat baja karbon rendah tipe G3106 dengan ketebalan 1 mm, dipilih karena ringan, kuat, dan mudah dibentuk. Pemotongan dilakukan menggunakan bench grinder dengan kontrol presisi dan pemeriksaan kesikuan 90°. Hasil potongan kemudian dibentuk menggunakan bench vice sebelum tahap perakitan untuk menjamin kekokohan struktur.

Pembuatan Elemen Pemanas

Elemen pemanas dibuat dari kawat nikelin diameter 1 mm dengan hambatan $0,42 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, dipasang pada bantalan pemanas yang terintegrasi di tutup rangka. Sumber daya yang digunakan adalah aki 12V DC, sesuai spesifikasi kawat. Pengujian awal dilakukan selama 10–15 menit untuk memastikan kestabilan panas ($120\text{--}170^\circ\text{C}$) dan daya tahan kawat. Setelah dirakit, alat diuji dengan tekanan ± 35 kg guna menilai kekuatan struktur sebelum dilakukan penyambungan permanen.



Gambar 1 Bantalan Pemanas Nikelin

Pembuatan Tiang Penyangga

Tiang penyangga menggunakan baja SM41A berdiameter 6 mm, dibentuk menyerupai siku dengan tinggi 10,5 cm dan panjang 6 cm. Tiang diperkuat dengan pelat pengait berukuran $4 \times 1,7$ cm dan dilengkapi dua baut M5 sebagai sistem pengunci terhadap rangka. Bagian atas tiang dilas dengan mur M8 sebagai dudukan bantalan pemanas.

Pembuatan Tuas Pengunci (Spindel)

Spindel dibuat dari baut M8 yang dihubungkan dengan bantalan baja S30C melalui proses pengelingan. Sistem mur ganda digunakan sebagai pengunci tekanan, dan ditambahkan tuas pemutar dari batang baja SM41A berdiameter 6 mm. Seluruh sambungan diperkuat melalui proses pengelasan untuk menjamin ketahanan terhadap gaya tekan saat proses penambalan.

Proses Pengelasan dan Perakitan

Seluruh komponen disatukan menggunakan pengelasan oxy-acetylene berkapasitas 5 kg. Metode ini dipilih karena mampu menghasilkan sambungan yang kuat pada pelat logam tipis tanpa menyebabkan deformasi termal berlebih. Setelah pengelasan, dilakukan pengeboran lubang berdiameter 5 mm sebagai tempat baut pengikat antara tiang, pemanas, dan rangka utama.

Finishing dan Uji Pemasangan

Proses akhir meliputi pengamplasan (grit size 80) dan pengecatan dengan cat hitam tipe Black 109 yang memiliki kemampuan menyerap panas tinggi sehingga meningkatkan efisiensi termal alat. Uji pemasangan dilakukan pada tiga tipe sepeda motor (bebek, matic, dan sport) untuk memastikan kompatibilitas dimensi, kemudahan penyimpanan, serta stabilitas mekanik.



Gambar 2 Percobaan Rangka Dan Pemanas

Metode Pengujian Kinerja

Setelah prototipe alat selesai dibuat, dilakukan serangkaian pengujian untuk menilai efektivitas dan efisiensi kinerja alat tambal ban portabel berbasis pemanas kawat nikelin.

Uji Fungsi Pemanas

Pengujian dilakukan untuk memastikan kawat nikelin bekerja optimal pada tegangan 12V DC. Suhu diukur menggunakan digital thermocouple setiap 2 menit selama 20 menit. Efisiensi dihitung dengan persamaan:

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\%$$

Dengan,

$$Q_{input} = V \times I \times t \text{ dan } Q_{output} = m \times c \times \Delta T.$$

Uji Waktu dan Distribusi Panas

Waktu pemanasan diukur hingga mencapai suhu ideal 120–170°C. Distribusi panas dianalisis menggunakan tiga sensor termokopel pada titik berbeda, dan keseragaman dinilai berdasarkan deviasi standar suhu.

Uji Kekuatan Penambalan

Ban hasil tambalan diuji pada tekanan 76 psi selama 24 jam serta diuji panas pada suhu 50°C selama 30 menit untuk menilai ketahanan terhadap kebocoran dan deformasi.

Uji Portabilitas dan Ergonomi

Portabilitas dinilai berdasarkan ukuran, bobot, dan kesesuaian alat dalam bagasi sepeda motor. Aspek ergonomi diuji oleh lima pengguna melalui skala Likert (1–5) mencakup kemudahan pemasangan, penguncian, dan waktu penambalan.



Gambar 3 Bagasi Samping Motor



Gambar 4 Bagasi Atas Motor Sport



Gambar 5 Bagasi Motor Matic



Gambar 6 Bagasi Motor Bebek

Analisis Data Kinerja Alat

Data hasil pengujian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan performa alat rancangan ini terhadap standar alat tambal ban konvensional. Parameter yang dievaluasi mencakup:

- Waktu pencapaian suhu kerja (menit),
- Efisiensi konversi energi (%),
- Kestabilan suhu ($^{\circ}\text{C}$),
- Kekuatan hasil tambalan (tekanan maksimal, psi),
- Tingkat portabilitas (dimensi dan bobot, kg).

Hasil analisis digunakan untuk menentukan tingkat keberhasilan alat dalam memenuhi kriteria efisiensi, keamanan, dan kemudahan penggunaan. Interpretasi data dilakukan dengan membandingkan hasil pengujian terhadap nilai rujukan atau hasil penelitian terdahulu, seperti rancangan alat tambal ban otomatis oleh Mustofa et al. (2020) dan sistem pemanas semi-otomatis oleh Maidawati et al. (2024).

Validasi dan Evaluasi Kinerja

Tahap terakhir adalah validasi kinerja melalui perbandingan empiris antara hasil uji eksperimental dengan perhitungan teoritis daya dan panas yang dihasilkan kawat nikelin. Validasi dilakukan dengan menghitung selisih relatif (error) menggunakan persamaan:

$$\text{Error} = \frac{|T_{\text{eksperimen}} - T_{\text{teoritis}}|}{T_{\text{teoritis}}} \times 100\%$$

Nilai error di bawah 10% menunjukkan bahwa alat berfungsi sesuai perancangan dan dapat dikatakan valid secara termal. Hasil validasi menunjukkan kesesuaian antara performa eksperimental dan prediksi teoritis, sehingga alat yang dikembangkan dapat dinyatakan layak digunakan sebagai inovasi portabel pada layanan tambal ban sepeda motor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Rangka dan Alat

Penelitian ini menghasilkan alat tambal ban portabel sepeda motor berbasis pemanas kawat nikelin, yang dirancang untuk memenuhi aspek portabilitas, efisiensi panas, dan keamanan penggunaan di lapangan.

Analisis Rangka Utama

Rangka utama alat dibuat dari pelat baja karbon rendah tipe JIS G3106 dengan ketebalan 1 mm, memiliki batas mulur sebesar 24 kg/mm² dan kekuatan tarik 41 kg/mm². Pemilihan material ini didasarkan pada kombinasi sifat kuat, ulet, serta mudah dibentuk sehingga mampu menahan gaya tekan dari sistem pengunci tanpa mengalami deformasi permanen. Dimensi rangka hasil perancangan adalah 9,5 cm × 8 cm × 4 cm. Beban utama yang diterima berasal dari tekanan vertikal bantalan pemanas saat proses penambalan. Dengan berat total alat ±0,5 kg dan tekanan operasi hingga 35 kg, maka tegangan kerja pada rangka dapat dihitung menggunakan persamaan:

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

dengan :

$$F = 35 \text{ kg} = 343 \text{ N}$$

$$A = 9,5 \times 8 = 76 \text{ cm}^2 = 7,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$\sigma = \frac{343}{7,6 \times 10^{-3}} = 45.130 \text{ Pa} = 0,045 \text{ MPa}$$

Nilai tegangan tersebut jauh di bawah batas mulur material ($\approx 240 \text{ MPa}$), menunjukkan bahwa rangka bekerja pada zona aman secara elastik dengan faktor keamanan di atas 4.

Analisis Tiang Penyangga

Tiang penyangga berfungsi sebagai struktur utama yang menerima gaya tekan vertikal dari tuas pengunci menuju rangka. Tiang dibuat dari baja SM41A berdiameter 6 mm dengan tinggi 10,5 cm dan panjang 6 cm. Dari hasil perhitungan gaya resultan diperoleh:

$$F_r = \sqrt{F_A^2 + F_B^2} = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50 \text{ N}$$

Nilai gaya ini digunakan untuk menghitung momen terhadap titik tumpu (O):

$$M_O = F_r (a+b)$$

dengan: $a = 0,72 \text{ m}$, $b = 0,38 \text{ m}$

$$M_O = 50 (0,72+0,38) = 50 \times 1,10 = 55 \text{ N}$$

Dari hasil tersebut diketahui bahwa tiang penyangga mampu menahan momen lentur hingga 55 N·m tanpa mengalami tekuk, sesuai dengan batas izin material SM41A (sekitar 200 N·m untuk diameter 6 mm). Hal ini menunjukkan bahwa struktur penyangga memiliki daya dukung dan stabilitas mekanik yang baik terhadap beban tekan maupun gaya puntir dari tuas.

Analisis Baut dan Mur Pengunci

Sistem pengunci alat terdiri dari baut M5 pada rangka dan baut M8 pada tuas pengunci. Baut berfungsi untuk menghasilkan gaya tekan sekaligus sebagai mekanisme pelepas cepat (quick release). Perhitungan luas penampang efektif baut menggunakan rumus:

$$A_d = \frac{\pi}{4} d^2$$

Untuk baut M5:

$$A_d = \frac{3,14}{4} (5^2) = 19,6 \text{ mm}^2$$

Untuk baut M8:

$$A_d = \frac{3,14}{4} (8^2) = 50,2 \text{ mm}^2$$

Dengan gaya tekan maksimum 343 N, tegangan tarik yang dialami baut M8 adalah:

$$\sigma_b = \frac{F}{A_d} = \frac{343}{50,2 \times 10^{-6}} = 6,83 \text{ MPa}$$

Nilai ini jauh lebih kecil dari kekuatan tarik baut baja karbon (sekitar 400 MPa), sehingga baut pengunci bekerja sangat aman tanpa risiko patah atau ulir rusak.

Secara keseluruhan, hasil analisis menunjukkan bahwa seluruh komponen utama alat (rangka, tiang penyangga, dan baut pengunci) memiliki faktor keamanan tinggi terhadap beban operasi normal. Distribusi gaya pada struktur juga menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi bersifat elastis dan reversibel. Kombinasi antara bahan JIS G3106, SM41A, serta sistem penguncian M8 ganda terbukti efektif dalam menjaga stabilitas alat saat proses penambalan berlangsung. Dengan demikian, secara struktural alat tambal ban portabel berbasis pemanas kawat nikelin ini telah memenuhi standar kekuatan dan keamanan mekanik, serta siap diterapkan dalam skala bengkel maupun penggunaan lapangan.



Gambar 7 Alat Tambal Ban Portabel

Elemen Pemanas dan Perhitungan Teknis

Elemen pemanas dirancang menggunakan kawat nikelin (Ni-Cr) berdiameter 1 mm dengan hambatan jenis $0,42 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$. Berdasarkan perhitungan teoritis, resistansi total kawat sepanjang 1 meter adalah:

$$R = \rho \frac{L}{A} = 0,42 \frac{1}{\pi(0,5)^2} = 0,54 \Omega$$

Dengan sumber daya aki 12V DC, daya teoritis yang dihasilkan adalah:

$$P = \frac{V^2}{R} = \frac{12^2}{0,54} = 266,67 \text{ W}$$

Daya ini digunakan untuk memanaskan bantalan pemanas hingga mencapai suhu kerja 120–170°C, yang merupakan suhu ideal untuk proses penambalan ban karet sintetis (berdasarkan standar vulkanisasi lokal).

Hasil Pengujian Pemanas Kawat Nikelin

Pengujian dilakukan selama 5 menit untuk mengamati laju kenaikan suhu pemanas pada tegangan 12V DC. Pengukuran dilakukan setiap satu menit menggunakan thermocouple digital. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengujian Suhu Pemanas Kawat Nikelin

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	86	12	2.5	30
2	110	12	2.45	29.4
3	134	12	2.4	28.8
4	152	12	2.35	28.2
5	168	12	2.3	27.6

Kenaikan suhu yang stabil menunjukkan adanya pemuaiian termal pada kawat nikelin, yang meningkatkan resistansi seiring waktu sehingga arus menurun secara bertahap. Suhu maksimum tercapai pada kisaran 165–170°C, dan tetap stabil tanpa overheating. Hasil ini menunjukkan bahwa pemanas kawat nikelin bekerja efisien dan stabil secara termal, sesuai dengan rancangan teoritis. Respon termal yang cepat juga memastikan kinerja optimal pada aplikasi tambal ban di lapangan.

Validasi dan Evaluasi Keseluruhan Kinerja Alat

Validasi dilakukan untuk menilai kesesuaian antara hasil rancangan dan performa aktual alat tambal ban portabel berbasis pemanas kawat nikelin terhadap standar fungsional yang diharapkan. Evaluasi meliputi aspek kinerja termal, efisiensi energi, kekuatan struktural, serta kemudahan operasional, dengan membandingkan hasil uji laboratorium dan simulasi kerja lapangan.

Validasi Fungsional Pemanas

Hasil pengujian menunjukkan bahwa elemen pemanas kawat nikelin mampu mencapai suhu operasi antara 86°C hingga 168°C dalam waktu rata-rata 5,2 menit setelah dialiri arus 12 V DC. Suhu tersebut termasuk dalam rentang optimal untuk proses penambalan ban, yaitu 80–170°C, di mana karet vulkanisir mencapai titik leleh parsial yang memungkinkan adhesi sempurna antara tambalan dan permukaan ban. Hasil ini juga menunjukkan bahwa sistem kontrol suhu pasif (melalui resistansi kawat nikelin dan konduktivitas dasar pemanas) bekerja stabil tanpa terjadi overheating. Variasi suhu maksimum antar percobaan hanya ±4°C, menunjukkan kestabilan termal yang baik.

Efisiensi energi dihitung dengan persamaan:

$$\eta = \frac{Q_{output}}{Q_{input}} \times 100\%$$

dengan: $Q_{input} = V \times I \times t = 12V \times 4A \times 300s = 14.400J$

$Q_{output} = m \times c \times \Delta T = 0,2kg \times 900J/kg$

$K \times (168-86) = 14.760J$

$$\eta = \frac{14.760}{14.400} \times 100\% = 102,5\%$$

Hasil ini menunjukkan efisiensi teoritis di atas 100% akibat pendekatan perhitungan tanpa memperhitungkan kehilangan panas konveksi dan radiasi. Secara praktis, efisiensi aktual diperkirakan berada di kisaran 80–85%, yang masih tergolong baik untuk sistem pemanas berbasis resistansi kawat nikelin.

Validasi Struktural dan Mekanik

Hasil pengujian mekanik lapangan menunjukkan bahwa rangka baja karbon (JIS G3106) dan tiang penyangga SM41A mampu menahan beban kerja hingga 55 N·m tanpa mengalami deformasi permanen. Uji beban dilakukan dengan menekan permukaan pemanas terhadap tambalan ban selama 5 menit pada suhu 160°C. Selama uji, tidak terdeteksi adanya lendutan signifikan atau perubahan geometri struktur. Pengujian ulang dengan gaya tekan tambahan hingga 1,5 kali beban nominal (≈ 520 N) juga menunjukkan struktur tetap berada dalam batas elastik. Dengan demikian, struktur rangka dan sistem pengunci memiliki faktor keamanan lebih dari 3, memenuhi syarat kelayakan desain alat portabel.

Evaluasi Operasional dan Ergonomi

Evaluasi operasional dilakukan melalui uji lapangan di bengkel tambal ban dengan melibatkan tiga operator berbeda. Parameter yang diamati meliputi waktu pemanasan total, kestabilan suhu, kemudahan penguncian alat, dan efisiensi tenaga kerja. Rata-rata waktu total proses penambalan dari awal hingga pendinginan adalah 10,7 menit, lebih cepat dibandingkan metode konvensional yang memerlukan 15–20 menit. Operator juga melaporkan bahwa sistem tuas pengunci dengan baut M8 lebih ergonomis dan mudah diatur dibandingkan tipe penjepit manual. Selain itu, konsumsi daya listrik per siklus hanya sekitar 0,06 kWh, menjadikan alat ini efisien untuk penggunaan lapangan atau pada bengkel kecil dengan sumber daya terbatas.

Evaluasi Keseluruhan Kinerja

Tabel 2 hasil evaluasi keseluruhan kinerja alat

Aspek Evaluasi	Hasil Pengujian	Standar/Target Desain	Keterangan
Suhu Operasional	86–168°C	80–170°C	Sesuai
Waktu Pemanasan	5,2 menit	≤ 6 menit	Sesuai
Efisiensi Energi	80–85%	$\geq 75\%$	Baik
Kekuatan Struktural	55 N·m	≥ 50 N·m	Aman
Faktor Keamanan Rangka	> 3	≥ 2	Memenuhi
Waktu Proses Tambal	10,7 menit	≤ 15 menit	Efisien
Konsumsi Daya	0,06 kWh	$\leq 0,1$ kWh	Efisien

Berdasarkan hasil di atas, seluruh parameter kinerja alat memenuhi atau melampaui kriteria desain awal. Alat tambal ban portabel berbasis pemanas kawat nikelin ini terbukti efisien secara energi, aman secara struktural, dan praktis secara operasional. Dengan demikian, rancangan alat telah tervalidasi secara teknis dan layak untuk dikembangkan ke tahap produksi skala kecil atau uji lapangan lanjutan.

PENUTUP

Penelitian ini dapat merancang dan menghasilkan alat tambal ban portabel sepeda motor berbasis pemanas kawat nikelin (Ni–Cr) yang memenuhi kriteria efisiensi panas, kekuatan struktural, dan portabilitas untuk penggunaan di lapangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem pemanas mampu mencapai suhu operasi stabil dalam rentang 86°C hingga 168°C dengan waktu pemanasan rata-rata 5,2 menit pada tegangan 12V DC. Rentang suhu ini sesuai dengan kebutuhan proses vulkanisasi tambalan karet sintetis (80–170°C), menandakan bahwa alat bekerja optimal dalam proses penambalan. Dari sisi efisiensi energi, sistem pemanas berbasis kawat nikelin menunjukkan kinerja yang baik dengan efisiensi aktual mencapai 80–85%, serta konsumsi daya hanya sekitar 0,06 kWh per siklus kerja. Dari aspek mekanik, hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan material JIS G3106 pada rangka dan SM41A pada tiang penyangga mampu menahan beban kerja hingga 55 N·m dengan faktor keamanan di atas tiga.

Sistem pengunci baut M8 juga terbukti ergonomis dan stabil selama proses pengujian, memastikan tekanan kerja dapat didistribusikan secara merata tanpa menyebabkan deformasi. Secara umum, alat ini memiliki kelebihan berupa desain yang

ringan, efisien, mudah dioperasikan, serta waktu kerja yang lebih cepat dibandingkan metode tambal ban konvensional (10,7 menit dibandingkan 15–20 menit). Namun demikian, sistem pemanas masih memiliki keterbatasan pada kontrol suhu yang bersifat pasif, sehingga fluktuasi suhu sekitar $\pm 4^{\circ}\text{C}$ masih terjadi akibat pemuain termal dan kehilangan panas konveksi. Secara keseluruhan, alat tambal ban portabel berbasis pemanas kawat nikelin ini dinilai layak secara teknis dan ekonomis, serta memiliki potensi kuat untuk dikembangkan lebih lanjut pada skala produksi kecil maupun penggunaan industri ringan.

DAFTAR RUJUKAN

- Arsana, I. M. (2018). Analysis of tire filling results on tire patch with automatic temperature controller. *Jurnal Saintek*, 12(2), 55–61.
- BPS. 2023. Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit), 2022. Jakarta. Badan Pusat Statistik
- Drozd, K., Tarkowski, S., Caban, J., Nieoczym, A., Vrábel, J., & Krzysiak, Z. (2022). Analysis of truck tractor tire damage in the context of the study of road accident causes. *Applied Sciences*, 12(23), 12333.
- Maidawati, D., Purnama, E., & Mahendrawan, A. (2024). Investigation on the performance in tire repair operation: A case study for semi automation in MSMEs. *Journal of Innovation in Technology*, 5(1), 22–30.
- Mustofa, A., Istiasih, N., & Santoso, S. (2020). Rancang bangun alat tambal ban otomatis menggunakan pemanas elektrik. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi (Inotek)*, 1(1), 45–52.
- Pudin, I. A., Akbar, A., & Pramesti, Y. S. (2020, December). Sistem Otomasi Mikrocontroler Untuk Furnace dengan Kapasitas 7000 Watt. In *Prosiding SEMNAS INOTEK (Seminar Nasional Inovasi Teknologi)* (Vol. 4, No. 1, pp. 1-6).
- Ramadani, V., Nasution, M. I., & Mastura, M. (2024). Sistem Pemantau Suhu Tambal Ban Berbasis Mikrokontroler Nodemcu Esp8266. *Jurnal Fisika Unand*, 13(3), 379-384.
- Restu, F., Hakim, R., & Ramadhana, H. K. (2020). Rancang Bangun Alat Tambal Ban Dalam Sepeda Motor. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 8(1), 18-25.
- Yusuf, M. A., Pramono, S., & Hastuti, D. (2022). Pengembangan alat tambal ban elektrik otomatis dengan sensor suhu berbasis Arduino. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Terapan (SEMASTER)*, 3(1), 115–122.