P.ISSN : 2502-2040
E.ISSN : 2581-0138

MACHINE

JURNAL TEKNIK MESIN

Vol. 12 No. 2 Oktober 2026

Jurnal Teknik Mesin	Vol. 12	No. 2	Hal	Oktober 2026	P.ISSN : 2502-2040 E.ISSN : 2581-0138

Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknologi Industri dan Rekayasa Pertambangan
Fakultas Sains dan Teknik
Universitas Bangka Belitung

SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Redaktur:
Ir. Saparin, S.T., M.Si.

Editor:
Dr. Firlya rosa, S.ST., M.T.
Ir. Yudi Setiawan, S.T., M.Eng.
Ir. Rodiawan, S.T., M.Eng. Prac., Ph.D
Ir. Eka Sari Wijianti, S.Pd., M.T.
Adam Zuyyinal Adib, S.T., M.T.
Rudi Kurniawan Arief, S.T., M.T., Ph.D.
Abdul Gafur, S.Si., M.T.
Rustam Efendi, S.T., M.Si., IPP
Aris Sandi, S.ST., M.Eng.
Deri Teguh Santoso, S.T., M.T.
Dr. Ilham Ary Wahyudie, M.T., CIIQA

Mitra Bestari:
Dr. Dani Harmanto (University of Derby)
Scopus ID: 55159740800
Ts. Dr. Nur Rashid bin Mat Nuri (UTeM)
Scopus ID: 55203041500
Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, M.T.(Untirta)
Scopus ID: 57193687510, Sinta ID: 260315
Dr. Ir. Erwin Siahaan, M.Si. (Untar)
Scopus ID: 57199235178, Sinta ID: 5990421
Hadi Wahyudi, S.T., M.T., Ph.D. (Untirta)
Scopus ID: 55803690600, Sinta ID: 260203
Dr. Yanuar Burhanuddin, M.T. (Unila)
Scopus ID: 23391898600
Dr. Sukanto, S.ST., M.Eng.(Polman Babel)
Scopus ID: 57208470145
Dr. Ridho Irwansyah, S.T., M.T. (UI)
Scopus ID: 55006023800
Teguh Dwi Widodo, S.T., M.Eng., Ph.D. (UB)
Scopus ID: 56258446700
Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. (Unila)
Scopus ID: 57210989465
Rusdi Febriyanto, S.Pd., M.Eng. (Untirta)
Scopus ID: 57207777061
Ir. Suhdi, S.ST., M.T., Ph.D. (UBB)
Scopus ID: 57226594044; Sinta ID: 5984872
Dr. Dwinanto, S.T., M.T. (Untirta)
Sinta ID: 260303
Dr. Dinni Agustina, S.T., M.T. (Unri)
Sinta ID: 6667853
Azhar Syafiq Putra, S.T., M.Eng. (ITK)
Sinta ID: 6958669
Ahmad Mamba'udin, S.Tr.T., M.Eng. (Polines)
Sinta ID: 6941036
Aulia Majid, S.T., M.Eng. (UNY)
Sinta ID: 6861410

Sekretariat:
Nia Erawati, S.I.Pust.
Laman Jurnal:
http://journal.ubb.ac.id/index.php/machine
Alamat Redaksi:
Gedung Babel IV
Program Studi Teknik Mesin - Jurusan Teknologi Industri dan Rekayasa Pertambangan – Fakultas Sains dan Teknik, Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung Balunijuk, Bangka, Prov. Bangka Belitung
Laman : mesin.ubb.ac.id
Email : teknikmesinunivbabel@gmail.com

PENGANTAR EDITOR

Machine; Jurnal Teknik Mesin Universitas Bangka Belitung diterbitkan sebagai media untuk menampung tulisan-tulisan hasil dari penelitian dosen maupun mahasiswa di bidang Teknik Mesin.

Melalui jurnal ini, tim redaksi mengundang para peneliti di bidang teknik mesin untuk berpartisipasi secara aktif untuk mempublikasikan hasil penelitiannya.

Diharapkan tulisan-tulisan di jurnal ini dapat menjadi referensi bagi peneliti-peneliti di masa yang akan datang.

Tim Redaksi
Machine; Jurnal Teknik Mesin

DAFTAR ISI

PENGARUH KOMBINASI VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA KARBON DENGAN METODE *QUENCHING* **75**
Amrin [1], Musa B. Palungan [1], Atus Buku [1], Muhammad Aris Kastian [2] 75

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR, WAKTU TAHAN DAN METODE PENDINGINAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA KARBON RENDAH PADA PROSES *HEAT TREATMENT* **80**
Anwar T. [1], Corvis L. Rantererung [1], Yafet Bontong [2], Muhammad Aris Kastian [3] 80

DEVELOPMENT DESIGN OF FIN HULL TRADITIONAL FISHING VESSEL FOR ACTIVITIES **87**
Samuel Febriary Khristyson [1*], Mohd. Ridwan [1], Hanggara Satuhu Hutama[1] , Ridho Wahyu Pramono[1], Arjuna Diestiaputra Musyaffa [1] 87

ANALISIS *STATIC STRUCTURAL* RANGKA SEPEDA LISTRIK RODA TIGA BAGI TUNADAKSA MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA) **93**
Muhamad Maulana Yusup [1], Raka Mahendra Sulistiyo [1], Faiz Listyanda [1] 93

PENGARUH DIAMETER PISTON TERHADAP PERUBAHAN TEMPERATUR SUHU KERJA MESIN PADA MOTOR 4 TAK **99**
Naufal Anwaruddin [1], Imam Prasetyo [1*] 99

PENGARUH KOMPOSISI PENGUAT DAN TEKANAN KOMPAKSI TERHADAP KEKERASAN DAN DENSITAS KOMPOSIT ALUMINIUM KAMPAS REM **105**
Sukanto [1], Samukri [2*], Harwadi [1], Mego Wahyudi [1] 105

PENGARUH KOMBINASI VARIASI TEMPERATUR DAN WAKTU TAHAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA KARBON DENGAN METODE *QUENCHING*

Amrin [1], Musa B. Palungan [1], Atus Buku [1], Muhammad Aris Kastian [2]

[1] Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Paulus

Jl. Perintis Kemerdekaan KM. 13 Daya, Kec. Tamalanrea, Kota Makassar Sulawesi Selatan, 90245

[2] Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Maritim AMI Makassar

Jl. Nuri Baru No. 1 Sambung Jawa, Kec. Mamajang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, 90121

polimarimamrin@gmail.com [1]

Abstrak

Baja karbon merupakan material teknik yang banyak digunakan dalam industri manufaktur dan permesinan karena kekuatan mekaniknya dapat ditingkatkan melalui perlakuan panas (*heat treatment*). Proses austenisasi dan quenching menjadi metode yang paling umum digunakan untuk menghasilkan struktur martensit yang keras dan kuat, di mana parameter temperatur dan waktu tahan berperan besar dalam menentukan kualitas akhir material. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi temperatur austenisasi (650°C, 750°C, dan 850°C) serta waktu tahan (30, 60, dan 90 menit) terhadap kekuatan tarik dan kekerasan *Vickers* baja karbon menggunakan media pendingin air. Hasil pengujian menunjukkan peningkatan signifikan pada kedua sifat mekanik seiring meningkatnya temperatur dan durasi pemanasan. Nilai kekuatan tarik tertinggi 1.269 MPa dan kekerasan maksimum 380 HV diperoleh pada temperatur 850 °C dan waktu tahan 90 menit. Hal ini diduga karena terbentuknya martensit yang lebih padat dan homogen setelah *quenching*. Analisis ANOVA dua arah mengonfirmasi bahwa temperatur dan waktu tahan memberikan pengaruh signifikan ($p < 0.05$) terhadap sifat mekanik, sementara interaksi keduanya tidak signifikan, sehingga kedua faktor bekerja secara independen. Kondisi optimum perlakuan panas ditetapkan pada 850 °C selama 90 menit untuk meningkatkan performa mekanik baja karbon secara maksimal.

Kata kunci : baja karbon; *heat treatment*; waktu tahan; *quenching*.

Abstract

Carbon steel is an engineering material widely utilized in the manufacturing and machining industries because its mechanical strength can be enhanced through heat treatment. The austenitization and quenching processes are the most common methods used to produce a hard and strong martensitic structure, where temperature parameters and holding time play a major role in determining the final quality of the material. This study aims to analyze the effect of variations in austenization temperature (650°C, 750°C, and 850°C) and holding time (30, 60, and 90 minutes) on the tensile strength and Vickers hardness of carbon steel using water as a cooling medium. The test results showed a significant increase in both mechanical properties with increasing temperature and heating duration. The highest tensile strength value of 1,269 MPa and a maximum hardness of 380 HV were obtained at a temperature of 850°C and a holding time of 90 minutes, which is presumably due to the formation of a denser and more homogeneous martensite after quenching. Two-way ANOVA analysis confirmed that temperature and holding time provided a significant effect ($p < 0.05$) on mechanical properties, while their interaction was not significant, indicating that both factors operate independently. The optimum heat treatment condition was determined at 850°C for 90 minutes to maximize the mechanical performance of the carbon steel.

Key words : *carbon steel; heat treatment; holding time; quenching*.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi manufaktur dan permesinan menuntut penggunaan material dengan performa mekanik yang tinggi, terutama pada komponen yang bekerja di bawah beban tarik, gesekan, dan kondisi dinamis [1], [2]. Baja karbon merupakan salah satu material yang paling banyak digunakan karena karakteristiknya yang mudah diproses, memiliki kekuatan yang baik, serta sifat mekaniknya dapat dimodifikasi melalui proses perlakuan panas (*heat treatment*) sehingga dapat memenuhi kebutuhan aplikasi teknik yang semakin kompleks [3], [4].

Sifat mekanik baja karbon—khususnya kekuatan tarik dan kekerasan—sangat dipengaruhi oleh kadar karbon dan parameter perlakuan panas yang diterapkan [5], [6]. Salah satu metode *heat treatment* yang umum digunakan adalah austenisasi yang diikuti proses *quenching*, yaitu pemanasan baja hingga mencapai fase austenit kemudian didinginkan cepat menggunakan media pendingin seperti air atau oli. Pendinginan cepat ini menghasilkan struktur martensit yang keras dan kuat sehingga meningkatkan kekuatan tarik serta kekerasan baja secara signifikan [1], [7], [8]. Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa variasi media pendingin dapat menghasilkan sifat mekanik berbeda karena perbedaan laju pendinginan [9], [10].

Selain media pendingin, parameter temperatur austenisasi memiliki pengaruh besar terhadap homogenisasi struktur austenit sebelum transformasi martensit terjadi. Temperatur yang lebih tinggi meningkatkan difusi karbon sehingga menghasilkan martensit yang lebih padat dan keras setelah *quenching* [3], [7], [11]. Faktor *holding time* atau waktu tahan juga menjadi parameter penting dalam proses austenisasi karena memengaruhi kestabilan fase austenit dan distribusi karbon, yang kemudian berdampak pada sifat mekanik setelah pendinginan [12]. Kombinasi variasi suhu dan waktu tahan terbukti memengaruhi struktur mikro serta performa mekanik baja karbon, sebagaimana dilaporkan dalam berbagai studi terdahulu [2], [3], [13].

Walaupun penelitian mengenai heat treatment telah banyak dilakukan, sebagian besar berfokus pada variasi media pendingin atau perlakuan lanjutan seperti tempering, sementara kajian tentang kombinasi variasi temperatur austenisasi dan waktu tahan menggunakan media pendingin tunggal seperti air masih terbatas. Selain itu, banyak penelitian sebelumnya belum menggunakan pendekatan statistik seperti analisis varians (ANOVA) untuk memastikan apakah variasi parameter proses memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan sifat mekanik material.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh variasi temperatur austenisasi 650°C, 750°C, dan 850°C serta waktu tahan 30, 60, dan 90 menit terhadap sifat mekanik baja karbon melalui proses *quenching* menggunakan air. Penelitian ini juga menggunakan analisis ANOVA untuk menentukan signifikansi pengaruh masing-masing parameter, sehingga hasil yang diperoleh lebih valid dan dapat dijadikan dasar dalam penentuan kondisi *heat treatment* optimal untuk aplikasi teknik.

METODE PENELITIAN

1. Persiapan Material

Metode Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja karbon menengah (AISI 1042) berbentuk batang yang dipotong menjadi beberapa spesimen uji. Spesimen dipersiapkan sesuai standar pengujian mekanik dengan proses pemotongan, penggerindaan, dan perataan permukaan untuk memastikan dimensi uji sesuai persyaratan pengujian tarik dan kekerasan.

Proses *heat treatment* dimulai dengan tahap austenisasi, di mana setiap spesimen dipanaskan di dalam *furnace* listrik hingga mencapai temperatur yang telah ditentukan, yaitu 650°C, 750°C, dan 850°C. Setelah temperatur tercapai, spesimen ditahan (*holding time*) selama 30, 60, dan 90 menit untuk memastikan terbentuknya fasa austenit secara homogen.

Setelah waktu tahan terpenuhi, spesimen diambil dari *furnace* dan langsung dilakukan proses *quenching* menggunakan media pendingin air pada suhu kamar. Pendinginan cepat ini bertujuan untuk mengubah struktur mikro austenit menjadi martensit sehingga menghasilkan peningkatan kekerasan dan kekuatan mekanik.

Tabel 1 Parameter perlakuan panas material

No	Temp (°C)	Waktu Tahan (Menit)	Media Pendingin
1	650	30	Air
2	650	60	Air
3	650	90	Air
4	750	30	Air
5	750	60	Air
6	750	90	Air

2. Uji Tarik

Pengujian tarik dilakukan untuk menentukan kekuatan tarik maksimum material setelah perlakuan panas. Pengujian dilakukan menggunakan Galdabini *Tensile Testing Machine*

sesuai standar ASTM E8 hingga spesimen mengalami patah.

Kekuatan tarik dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$TS = \frac{F_{max}}{A} \quad \text{.....(1)}$$

dengan TS adalah kekuatan tarik (MPa), Fmax adalah Gaya maksimum saat spesimen putus (N), dan A adalah Luas penampang awal spesimen (mm^2).

3. Uji Kekerasan *Vickers* (HV)

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Vickers* sesuai standar ASTM E92 menggunakan alat uji kekerasan *Vickers* merek 402MVDS. Pengujian dilakukan dengan menekan indentor berbentuk *diamond pyramid* ke permukaan spesimen dengan beban tertentu, kemudian mengukur diagonal bekas indentasi.

Setiap spesimen diukur pada tiga titik permukaan yang berbeda dan nilai rata-rata digunakan sebagai hasil akhir.

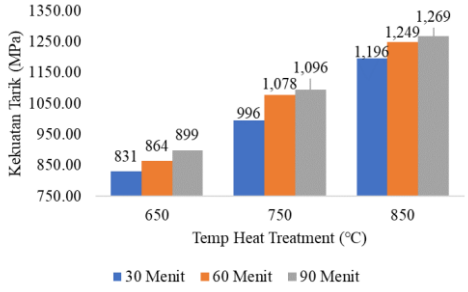
4. Analisis Statistik

Data hasil uji tarik dan kekerasan dianalisis menggunakan *two-way Analysis of Variance* (ANOVA) dengan tingkat signifikansi 0.05 untuk mengetahui apakah variasi temperatur austenisasi dan waktu tahan memberikan pengaruh signifikan terhadap perubahan sifat mekanik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perancangan Uji Tarik

Gambar 1 menunjukkan nilai kekuatan tarik baja karbon pada tiga temperatur heat treatment (650°C, 750°C, dan 850°C) dengan variasi waktu tahan 30, 60, dan 90 menit. Secara umum, grafik memperlihatkan tren peningkatan kekuatan tarik seiring bertambahnya temperatur *heat treatment* pada semua waktu tahan. Nilai kekuatan tarik meningkat dari 831–899 MPa pada 650°C, menjadi 996–1.096 MPa pada 750°C, dan mencapai nilai tertinggi 1.196–1.269 MPa pada 850°C.



Gambar 1 Kekuatan Tarik

Peningkatan ini menunjukkan bahwa temperatur austenisasi yang lebih tinggi memberikan kesempatan lebih besar bagi difusi karbon, sehingga struktur austenit menjadi lebih homogen sebelum proses quenching dilakukan. Struktur austenit yang stabil kemudian berubah menjadi martensit yang lebih keras dan padat setelah pendinginan cepat, yang berdampak pada meningkatnya kekuatan tarik material. Hal ini sejalan dengan hasil temuan dari penelitian Mukhrim et al., [7], serta Lestari et al., [3], adanya peningkatan temperatur pemanasan berkontribusi pada pembentukan martensit dengan densitas dislokasi tinggi.

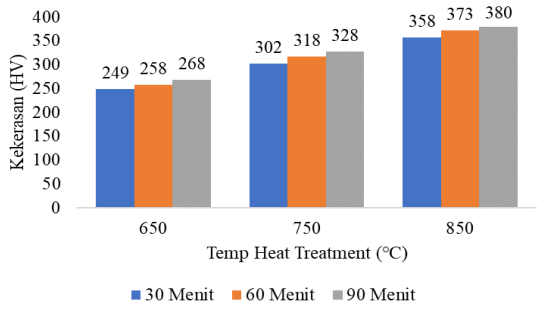
Selain itu, variasi waktu tahan juga memberikan pengaruh positif, meskipun peningkatannya tidak sebesar pengaruh temperatur. Pada ketiga temperatur, waktu tahan 90 menit secara konsisten menghasilkan nilai *tensile strength* tertinggi. Sebagai contoh, pada 850°C, kekuatan tarik meningkat dari 1.196 MPa (30 menit) menjadi 1.249 MPa (60 menit) dan mencapai 1.269 MPa (90 menit). Hal ini mengindikasikan bahwa waktu tahan yang lebih lama mendukung homogenisasi struktur austenit sebelum *quenching*.

Hasil analisis ANOVA dua arah pada tabel 2 menunjukkan bahwa temperatur *heat treatment* dan waktu tahan sama-sama memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai kekuatan tarik material. Faktor temperatur memiliki nilai $F = 343.343$ dengan $p < 0.001$, sedangkan faktor waktu tahan memiliki nilai $F = 11.797$ dengan $p < 0.001$, yang berarti keduanya secara statistik memengaruhi perubahan *tensile strength*. Sementara itu, interaksi antara temperatur dan waktu tahan menunjukkan nilai $F = 1.650$ dengan $p = 0.205$, sehingga dapat disimpulkan bahwa keduanya tidak saling berinteraksi, dan masing-masing bekerja secara independen dalam memengaruhi kekuatan tarik baja karbon.

2. Uji Kekerasan

Gambar 2 menunjukkan nilai kekerasan *Vickers* (HV) baja karbon pada tiga temperatur *heat treatment* (650°C, 750°C, dan 850°C) dengan variasi waktu tahan 30, 60, dan 90 menit. Secara umum, grafik memperlihatkan tren peningkatan kekerasan yang jelas pada setiap kenaikan temperatur, di mana nilai kekerasan meningkat dari 249–268 HV pada 650°C menjadi 302–328 HV pada 750°C, dan mencapai nilai tertinggi 358–380 HV pada 850°C. Peningkatan ini menunjukkan bahwa temperatur austenisasi yang lebih tinggi memberikan kesempatan lebih besar bagi karbon untuk berdifusi dan larut secara homogen dalam fasa austenit sebelum menjalani proses *quenching*, sehingga struktur martensit yang terbentuk menjadi lebih

keras dan stabil. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian oleh Lestari et al., [3], adanya peningkatan temperatur mampu menghasilkan martensit dengan densitas dislokasi tinggi. Pembentukan karbida halus pada temperatur tinggi juga berperan dalam meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis.



Gambar 2 Kekerasan

Selain temperatur, waktu tahan juga memberikan kontribusi terhadap meningkatnya nilai kekerasan. Pada setiap temperatur, durasi pemanasan yang lebih lama menghasilkan nilai kekerasan yang lebih tinggi, yang terlihat jelas pada temperatur 850°C dengan peningkatan dari 358 HV (30 menit) menjadi 373 HV (60 menit) dan 380 HV (90 menit). Penambahan waktu tahan memberi kesempatan bagi karbon untuk berdifusi secara lebih merata dan memungkinkan relaksasi tegangan internal sebelum pendinginan cepat, sehingga menghasilkan struktur martensit yang lebih seragam dan kuat. Secara keseluruhan, pola peningkatan yang konsisten ini mengindikasikan bahwa temperatur merupakan faktor dominan, sedangkan waktu tahan memperkuat efek perlakuan panas, sehingga kombinasi keduanya mampu meningkatkan performa kekerasan material secara signifikan.

Hasil analisis ANOVA dua arah pada tabel 2 untuk nilai kekerasan menunjukkan pola yang serupa dengan uji tarik, di mana faktor temperatur memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap kekerasan material, dengan nilai $F = 4090.199$ dan $p < 0.001$. Hal ini menegaskan bahwa peningkatan temperatur *heat treatment* secara nyata mengubah kekerasan baja karbon. Faktor waktu tahan juga memiliki pengaruh signifikan dengan nilai $F = 162.844$ dan $p < 0.001$, yang menunjukkan bahwa lamanya waktu pemanasan turut memperkuat kontribusi proses perlakuan panas terhadap kenaikan nilai kekerasan. Sementara itu, interaksi antara temperatur dan waktu tahan menunjukkan nilai $F = 1.949$ dengan $p = 0.146$, yang berarti tidak terdapat interaksi signifikan antara kedua faktor tersebut. Dengan demikian, temperatur dan waktu tahan mempengaruhi kekerasan secara independen, dan perubahan nilai kekerasan terjadi tanpa adanya pengaruh bersama antara kedua variabel.

3. Uji ANOVA

Analisis ANOVA dilakukan untuk mengevaluasi apakah variasi temperatur heat treatment dan waktu tahan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik baja karbon, yaitu kekuatan tarik dan kekerasan (HV). ANOVA digunakan untuk memastikan bahwa perubahan nilai pada kedua pengujian tersebut benar-benar disebabkan oleh perlakuan panas yang diberikan, dan bukan terjadi secara acak. Hasil ANOVA pada Tabel 2 menunjukkan bahwa baik temperatur maupun waktu tahan memiliki nilai $p < 0.05$ pada uji tarik dan uji kekerasan, yang berarti keduanya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan sifat mekanik material. Sementara itu, nilai p untuk interaksi antara temperatur dan waktu tahan lebih besar dari 0.05, sehingga dapat disimpulkan bahwa kedua faktor tersebut tidak saling berinteraksi dan memengaruhi sifat mekanik secara independen. Dengan demikian, ANOVA mengonfirmasi bahwa peningkatan sifat mekanik terutama disebabkan oleh pengaruh langsung dari temperatur dan lamanya waktu tahan selama proses *heat treatment*.

Tabel 2 ANOVA

No	Pengujian	Faktor	F	p
1	Uji Tarik	Temp	343.343	<.001
2	Uji Tarik	Waktu Tahan	11.797	<.001
3	Uji Tarik	Temp x Waktu Tahan	1.65	0.205
4	Uji Kekerasan	Temp	4090.199	<.001
5	Uji Kekerasan	Waktu Tahan	162.844	<.001
6	Uji Kekerasan	Temp x Waktu Tahan	1.949	0.146

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur austenisasi dan waktu tahan memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik baja karbon setelah proses heat treatment. Peningkatan temperatur dari 650°C menjadi 850°C secara konsisten meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan material, dengan nilai tertinggi diperoleh pada temperatur 850°C dan waktu tahan 90 menit, hal ini diduga akibat terbentuknya struktur martensit

yang lebih padat dan homogen setelah quenching. Waktu tahan juga berkontribusi terhadap peningkatan sifat mekanik, meskipun pengaruhnya tidak sebesar temperatur. Analisis ANOVA dua arah mengonfirmasi bahwa baik temperatur maupun waktu tahan memiliki nilai $p < 0.05$ pada uji tarik dan uji kekerasan, sehingga keduanya terbukti berpengaruh signifikan dan bekerja secara independen tanpa interaksi antarvariabel. Secara keseluruhan, kombinasi temperatur 850°C dan waktu tahan 90 menit merupakan kondisi perlakuan panas yang paling optimal dalam meningkatkan performa mekanik baja karbon.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Andreas, "Analisa Pengaruh Media Pendingin pada Perlakuan Panas Terhadap Kekuatan Tarik Baja Aisi 1040," *PISTON*, vol. 6, no. 2, pp. 72–0, May 2022.

[2] D. Joko Purnomo, S. Jokosisworo, and U. Budiarto, "Analisa Pengaruh Holding Time Tempering Terhadap Kekerasan, Keuletan, Ketangguhan dan Struktur Mikro Pada Baja ST 70," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 07, no. 1, pp. 49–8, Jan. 2019, [Online]. Available: https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval.

[3] E. Nugroho, S. Dri Handono, Asroni, and Wahidin, "Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin pada Proses Heat Treatment Baja AISI 1045 terhadap Kekerasan dan Laju Korosi," *TURBO: Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, vol. 8, no. 1, pp. 99–110, 2019.

[4] Erizal, "Kajian Eksperimen Pengujian Tarik Baja Karbon Medium yang Disambung dengan Las Smaw dan Quenching dengan Air Laut".

[5] G. A. Mukhrim, Jasman, H. Nurdin, Z. Abadi, and E. Indrawan, "Pengaruh Proses Quenching Terhadap Kekuatan Tarik Baja Karbon Sedang AISI 1045," *VOMEK*, vol. 4, no. 4, pp. 56–62, Nov. 2022, [Online]. Available: http://vomek.ppj.unp.ac.id.

[6] G. Gundara, "Karakteristik Kelelahan Baja Karbon S 45 C Dianil dengan Suhu 850 0 selama Satu Jam," *Al Jazari Journal of Mechanical Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 25–28, 2016.

[7] Lestari, H. Purwanto, and M. Dzulfikar, "Analisis Sifat Mekanis Baja Karbon Menengah Akibat Proses Austenisasi Tempering," *Momentum*, vol. 17, no. 2, pp. 127–132, Oct. 2021.

[8] M. Andreansyah, R. Dewi Anjani, and V. Naubnome, "Pengaruh Proses Heat Treatment (Quenching dan Tempering) Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Menengah," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. IX, no. 1, pp. 7864–7872, Jan. 2024.

[9] M. Rahman and F. Kurniawan, "Analisa Kekuatan Material Bahan Carbon Steel AISI 1018 dan Baja Tulangan Polos SNI P40 Sebagai Angkur Pada Tower dengan Metode Uji Tarik," *Buletin Utama Teknik*, vol. 17, no. 3, p. 291, May 2022.

[10] M. Rizal Afandi and A. Akbar, "Pengaruh Variasi Kadar Karbon Baja Terhadap Kekuatan Tarik," *Prosiding SEMNAS INOTEK*, vol. 9, pp. 2549–7952, 2025.

[11] Margono, B. H. Priyambodo, and K. C. Nugroho, "Pengaruh Laju Pendingin Pada Proses Heat Treatment Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon S45C," *Jurnal Creative Research in Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 60–66, Jul. 2021.

[12] T. J. Saktisahdan, U. Asahan, J. J. A. Yani, T. / Fax, and P. T. Mesin, "Pengaruh Proses Heat Treatment Terhadap Perubahan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah," *Jurnal Laminar*, vol. 1, no. 1, pp. 28–33, Dec. 2019.

[13] W. Pebrianto, Mashudi, and J. Wayan Dika, "Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Air Es Dan Air Garam Terhadap Uji Tarik Pada Sambungan Las Baja ST 37," *JSNu : Journal of Science Nusantara*, vol. 1, no. 2, pp. 36–46, Dec. 2021.

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR, WAKTU TAHAN DAN METODE PENDINGINAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BAJA KARBON RENDAH PADA PROSES *HEAT TREATMENT*

Anwar T. [1], Corvis L. Rantererung [1], Yafet Bontong [2], Muhammad Aris Kastian [3]

[1] Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Kristen Indonesia Paulus

Jl. Perintis Kemerdekaan KM. 13 Daya, Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, 90245

[2] Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja

Jl. Jenderal Sudirman No. 9, Bombongan, Kec. Makale Kab. Tana Toraja, Sulawes Selatan, 91811

[3] Program Studi Teknologi Rekayasa Permesinan Kapal, Politeknik Maritim AMI Makassar

Jl. Nuri Baru No. 1 Sambung Jawa, Kec. Mamajang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, 90121

anwarthr@gmail.com [1]

Abstrak

Baja karbon rendah ST37 banyak digunakan dalam industri, namun sifat mekaniknya yang terbatas perlu ditingkatkan melalui perlakuan panas. Penelitian ini mengevaluasi pengaruh temperatur austenitisasi (750°C, 800°C, 850°C) dan metode pendinginan (quenching air dan tempering pada 400°C selama 60 menit) terhadap kekuatan tarik, energi impak, dan kekerasan baja ST37, serta signifikansinya berdasarkan analisis ANOVA. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan temperatur austenitisasi meningkatkan kekuatan tarik hingga 624 MPa dan kekerasan hingga 190 HV pada kondisi quenching, sedangkan tempering memberikan ketangguhan yang lebih tinggi dengan energi impak mencapai 88 J. Analisis ANOVA mengonfirmasi bahwa temperatur dan metode pendinginan berpengaruh signifikan terhadap seluruh sifat mekanik ($p < 0,05$), sementara interaksi keduanya hanya signifikan pada energi impak. Secara keseluruhan, perlakuan panas pada temperatur tinggi diikuti oleh tempering menghasilkan kombinasi sifat mekanik yang lebih seimbang untuk aplikasi struktural baja karbon rendah ST37.

Kata kunci : baja karbon rendah; perlakuan panas; quenching; tempering.

ABSTRACT

ST37 low-carbon steel is widely used in industry, but its limited mechanical properties need to be improved through heat treatment. This study evaluates the effect of austenitizing temperatures (750°C, 800°C, 850°C) and cooling methods (water quenching and tempering at 400°C–60 minutes) on the tensile strength, impact energy, and hardness of ST37 steel, as well as their significance based on ANOVA analysis. The results show that increasing the austenitizing temperature increases the tensile strength up to 624 MPa and hardness up to 190 HV in the quenching condition, while tempering provides higher toughness with impact energy reaching 88 J. ANOVA analysis confirms that temperature and cooling methods have a significant effect on all mechanical properties ($p < 0.05$), while their interaction is only significant for impact energy. Overall, heat treatment at high temperatures followed by tempering produces a more balanced combination of mechanical properties for structural applications of ST37 low-carbon steel.

Key words **:** *low carbon steel; heat treatment; quenching; tempering*.

PENDAHULUAN

Baja karbon rendah banyak digunakan dalam bidang manufaktur, otomotif, dan konstruksi karena sifatnya yang mudah dibentuk, memiliki kemampuan las yang baik, serta biaya produksinya yang relatif rendah [1], [2]. Namun demikian, sifat dasar baja karbon rendah yang cenderung lunak dan memiliki ketangguhan tinggi sering kali tidak mencukupi untuk aplikasi yang membutuhkan kekerasan, ketahanan terhadap keausan, maupun ketahanan terhadap beban kejut yang lebih tinggi. Oleh karena itu, proses perlakuan panas (*heat treatment*) menjadi langkah penting untuk memodifikasi mikrostruktur dan meningkatkan sifat mekaniknya [3], [4], [5].

Proses *heat treatment* umumnya melibatkan pemanasan baja hingga mencapai temperatur austenitisasi, ditahan pada waktu tertentu untuk mencapai homogenisasi difusi karbon, kemudian didinginkan menggunakan metode pendingin tertentu [6]. Variasi temperatur, waktu tahan, dan laju pendinginan sangat berpengaruh terhadap transformasi fasa dari *austenit* menjadi *ferrit, perlit, bainit,* maupun *martensit*, yang selanjutnya menentukan perilaku mekanik material tersebut [7], [8]. Berbagai penelitian menyatakan bahwa penggunaan media pendingin seperti air, minyak, udara, air garam, solar, maupun coolant akan menghasilkan tingkat pendinginan yang berbeda sehingga berdampak langsung pada kekerasan, ketangguhan impak, serta penyempurnaan mikrostruktur baja [9], [10]. Pendinginan cepat cenderung membentuk *martensit* yang keras tetapi rapuh, sementara pendinginan lebih lambat menghasilkan mikrostruktur campuran yang memberikan kompromi antara kekuatan dan keuletan [11].

Selain metode pendingin, temperatur pemanasan berperan besar terhadap kestabilan *austenit* dan mekanisme transformasi fasa. Peningkatan temperatur dari 700°C hingga di atas 850°C terbukti meningkatkan kelarutan karbon dalam matriks *austenit* dan mempercepat kinetika transformasi, sehingga meningkatkan kekerasan; namun temperatur yang terlalu tinggi juga dapat menyebabkan pertumbuhan butir dan menurunkan ketangguhan [12]. Waktu tahan yang konstan memungkinkan mikrostruktur mencapai kesetimbangan termal sebelum proses *quenching* dilakukan, sehingga distribusi fasa lebih homogen [4], [6].

Meskipun banyak penelitian telah membahas pengaruh variasi temperatur atau variasi metode pendinginan terhadap baja karbon rendah dan baja karbon sedang, masih terbatasnya penelitian yang secara simultan menguji kombinasi tiga variasi temperatur (750°C, 800°C, 850°C), waktu tahan konstan 60 menit, serta dua kategori metode pendinginan (air dan *tempering*) melalui pengujian mekanik yang lengkap berupa uji tarik, uji kekerasan, dan uji impak. Pendekatan terpadu ini penting karena interaksi antara temperatur dan laju pendinginan dapat menghasilkan gradien mikrostruktur yang kompleks dan berpengaruh signifikan terhadap sifat mekanik material.

Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi temperatur pemanasan, waktu tahan konstan, serta perbedaan metode pendingin terhadap sifat mekanik baja karbon rendah. Hasil penelitian diharapkan mampu memberikan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan struktur–sifat pada baja yang mengalami perlakuan panas serta memberikan rekomendasi parameter optimasi untuk aplikasi industri.

METODE PENELITIAN

1. Persiapan Material

Material baja karbon yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja ST37 yang memiliki kadar karbon maksimum sebesar 0,17% dan mangan maksimum sebesar 1,40%, sehingga tergolong sebagai baja karbon rendah (*low carbon steel*). Material berbentuk batang komersial kemudian dipotong menjadi beberapa spesimen sesuai standar pengujian mekanik. Proses perlakuan panas dimulai dengan tahap austenitisasi. Seluruh spesimen dipanaskan di dalam *furnace* listrik hingga mencapai tiga level temperatur, yaitu 750°C, 800°C, dan 850°C. Setelah mencapai temperatur yang ditetapkan, spesimen dipertahankan selama 60 menit untuk memastikan terjadi difusi karbon yang merata dan pembentukan struktur austenit yang homogen.

Usai waktu tahan terpenuhi, spesimen segera dikeluarkan dari *furnace* dan dilakukan pendinginan cepat (*quenching*) menggunakan media air pada suhu kamar. Pendinginan cepat ini bertujuan mengubah struktur *austenit* menjadi *martensit* sehingga meningkatkan kekerasan dan kekuatan material.

Untuk spesimen *tempering*, perlakuan dilakukan setelah proses *quenching*. Semua spesimen yang dipilih kemudian dipanaskan kembali pada temperatur 400 °C selama 60 menit di dalam *furnace*. Tahap *tempering* ini bertujuan menurunkan tegangan internal akibat *quenching*, menstabilkan struktur *martensit* melalui pembentukan karbida

halus, serta meningkatkan keuletan material tanpa menurunkan kekerasan secara signifikan.

Rangkuman parameter perlakuan panas serta jenis pengujian yang dilakukan ditunjukkan pada Tabel 1. penulisannya seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Parameter perlakuan panas dan jenis pengujian

No	Temp.	Waktu Tahan (menit)	Metode Pendingin
1	750	60	Air
2	750	60	*Tempering*
3	800	60	Air
4	800	60	*Tempering*
5	850	60	Air
6	850	60	*Tempering*

2. Uji Tarik

Uji tarik dilakukan untuk memperoleh nilai kekuatan tarik maksimum dari setiap spesimen pasca perlakuan panas. Pengujian dilakukan menggunakan Galdabini *Tensile Testing Machine* sesuai standar ASTM E8 hingga spesimen mengalami patah. Pada setiap variasi perlakuan digunakan sebanyak 3 spesimen uji. Nilai *tensile strength* dihitung menggunakan rumus.

dengan bentuk sebagai berikut:

$$TS = \frac{F_{max}}{A} \quad \text{.....(1)}$$

di mana, TS merupakan kekuatan tarik (MPa), Fmax merupakan beban maksimum yang diterima spesimen (N), dan A merupakan luas penampang awal spesimen (mm²).

3. Uji Kekerasan *Vickers*

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan metode *Vickers* sesuai standar ASTM E92 menggunakan alat uji kekerasan Vickers merek 402MVDS. Pengujian dilakukan dengan menekan indenter berbentuk piramida berlian pada permukaan spesimen, kemudian panjang diagonal jejak indentasi diukur untuk menentukan nilai kekerasan. Pada setiap variasi perlakuan digunakan sebanyak 3 spesimen uji dan pengukuran dilakukan pada tiga titik berbeda, kemudian dirata-ratakan.

4. Uji Impak

Ketangguhan material dievaluasi melalui pengujian impak metode Charpy sesuai standar ASTM E23. Pengujian dilakukan menggunakan mesin uji impak MJB-W300B untuk mengukur energi serapan saat pendulum mematahkan spesimen. Pada setiap variasi perlakuan digunakan sebanyak 3 spesimen uji.

5. Analisis Statistik

Seluruh data sifat mekanik (kekuatan tarik, kekerasan, dan ketangguhan impak) dianalisis menggunakan metode *two-way Analysis of Variance* (ANOVA) pada tingkat signifikansi 0.05. Metode ini digunakan untuk menilai apakah perbedaan temperatur austenitisasi dan jenis metode pendinginan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan sifat mekanik. Jika terdapat perbedaan signifikan, analisis lanjutan direncanakan untuk mengidentifikasi pasangan perlakuan yang memiliki pengaruh paling dominan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Uji Tarik

Gambar 1 menunjukkan perubahan nilai kekuatan tarik baja karbon rendah ST37 pada tiga temperatur austenitisasi, yakni 750°C, 800°C, dan 850°C, masing-masing dengan dua kondisi perlakuan panas: *quenching* dan *tempering*. Secara umum, peningkatan temperatur austenitisasi menghasilkan peningkatan *tensile strength* untuk kedua metode perlakuan panas tersebut.

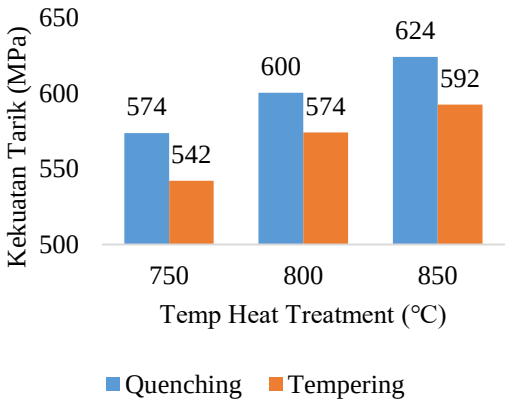
Pada kondisi *quenching*, kekuatan tarik meningkat dari 574 MPa pada 750°C menjadi 600 MPa pada 800°C, dan mencapai nilai tertinggi 624 MPa pada 850°C. Tren serupa juga terlihat pada kondisi *tempering* (400°C, 60 menit), di mana *tensile strength* bertambah dari 542 MPa pada 750°C menjadi 574 MPa pada 800°C, dan mencapai 592 MPa pada 850°C.

Peningkatan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi temperatur austenitisasi, semakin homogen larutan padat *austenit* yang terbentuk sebelum pendinginan. *Austenit* yang lebih seragam mempermudah transformasi menjadi *martensit* selama *quenching*, sehingga menghasilkan peningkatan kekuatan tarik. Pada 850 °C, kondisi austenitisasi baja ST37 telah cukup untuk menghasilkan *martensit* dengan densitas dislokasi tinggi yang berkontribusi langsung terhadap kenaikan *tensile strength*. Hal ini sejalan dengan hasil temuan yang dilakukan oleh Lestari et al., [13], peningkatan temperatur austenitisasi memperbaiki homogenitas *austenit* dan memperkuat mekanisme pembentukan *martensit* sehingga menghasilkan kenaikan kekuatan tarik yang signifikan.

Perbedaan nilai *tensile strength* antara sampel *quenching* dan *tempering* juga sesuai dengan karakteristik metalurgi baja karbon rendah. Pada *tempering* 400°C, sebagian *martensit* mengalami proses pelunakan melalui pengendapan karbida halus, sehingga kekuatan tarik sedikit menurun dibandingkan dengan kondisi *quench*, meskipun

peningkatannya terhadap temperatur austenitisasi tetap terjadi.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa temperatur austenitisasi merupakan faktor dominan yang memengaruhi peningkatan *tensile strength* baja ST37, baik pada kondisi *quenching* maupun *tempering*. *Quenching* memberikan nilai kekuatan tarik tertinggi melalui pembentukan *martensit*, sedangkan *tempering* menghasilkan kombinasi nilai kekuatan dan keuletan yang lebih seimbang.



Gambar 1 Kekuatan Tarik

2. Uji Impak

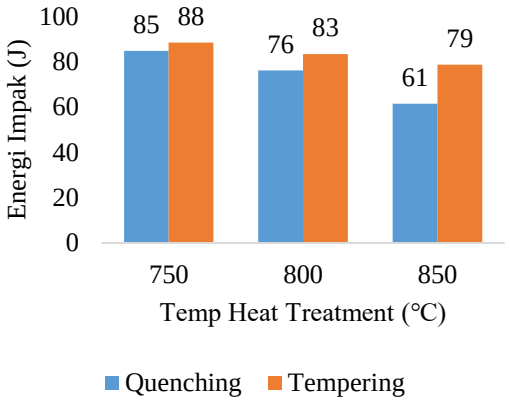
Gambar 2 memperlihatkan perubahan energi impak baja karbon rendah ST37 pada tiga temperatur austenisasi (750°C, 800°C, dan 850°C) untuk dua kondisi perlakuan, yaitu *quenching* dan *tempering*. Secara umum, terlihat bahwa proses tempering memberikan nilai ketangguhan yang lebih tinggi dibandingkan dengan *quenching* pada seluruh temperatur pemanasan.

Pada temperatur 750°C, energi impak spesimen *quenching* sebesar 85 J, sedangkan sampel *tempering* sedikit lebih tinggi, yaitu 88 J. Peningkatan ini menunjukkan bahwa proses *tempering* pada 400°C mampu menurunkan tegangan internal yang terbentuk akibat pendinginan cepat, sehingga struktur mikro menjadi lebih stabil dan mampu menyerap energi benturan dengan lebih baik.

Ketika temperatur dinaikkan menjadi 800°C, energi impak *quenching* menurun menjadi 76 J, sedangkan energi impak *tempering* meningkat menjadi 83 J. Penurunan energi impak pada *quenching* ini mengindikasikan bahwa pembentukan *martensit* yang lebih dominan membuat material menjadi lebih getas. Sebaliknya, *tempering* berhasil mengubah sebagian *martensit* menjadi struktur yang lebih ulet melalui presipitasi karbida halus yang mengurangi kerapuhan.

Pada temperatur tertinggi 850 °C, perbedaan kedua perlakuan menjadi semakin jelas. Energi impak *quenching* turun secara signifikan hingga 61 J, sedangkan energi *tempering* meningkat menjadi 79 J. Nilai impak *quenching* yang rendah ini menunjukkan bahwa temperatur austenisasi tinggi menghasilkan *martensit* kasar dengan densitas dislokasi besar yang menyebabkan material semakin rapuh. Proses *tempering* kembali memperbaiki ketangguhan dengan mengurangi kerapuhan dan menghaluskan struktur mikro.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan temperatur austenisasi cenderung menurunkan ketangguhan pada proses *quenching*, tetapi meningkatkan ketangguhan setelah *tempering*. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Darmawan [9], *martensit* yang terbentuk pada temperatur austenitisasi tinggi cenderung bersifat lebih getas. Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan material dalam menyerap energi kejut menurun sehingga nilai energi impak mengalami penurunan. Selain itu, peningkatan temperatur austenitisasi juga dapat menyebabkan pertumbuhan butir yang lebih besar sehingga retakan lebih mudah terjadi dan merambat saat pengujian impak dilakukan.



Gambar 2 Energi Impak

3. Uji Kekerasan

Gambar 3 memperlihatkan perubahan nilai kekerasan baja karbon rendah ST37 pada tiga temperatur austenisasi, yaitu 750°C, 800°C, dan 850°C, masing-masing diuji untuk dua kondisi perlakuan panas: *quenching* dan *tempering*. Secara umum, grafik menunjukkan bahwa peningkatan temperatur pemanasan memberikan kecenderungan naik terhadap nilai kekerasan, baik pada kondisi *quench* maupun *temper*. Namun, sampel hasil

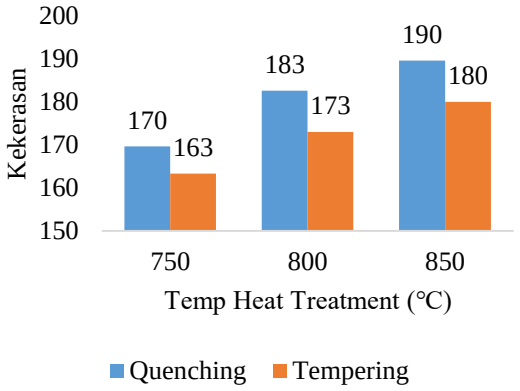
quenching secara konsisten memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan sampel *temper* pada setiap variasi temperatur.

Pada temperatur 750°C, kekerasan material mencapai 170 HV untuk sampel *quenching*, sedangkan pada kondisi *tempering* nilainya sedikit lebih rendah, yaitu 163 HV. Ketika temperatur dinaikkan menjadi 800°C, nilai kekerasan meningkat menjadi 183 HV pada *quenching* dan 173 HV pada *tempering*. Peningkatan kemudian terjadi pada 850 °C, di mana kekerasan mencapai 190 HV pada spesimen *quenching* dan 180 HV pada spesimen *temper*.

Pola peningkatan ini mengindikasikan bahwa semakin tinggi temperatur austenisasi, semakin besar difusi karbon yang terjadi di dalam fasa *austenit*. Pada saat pendinginan cepat (*quenching*), larutan padat *austenit* yang kaya karbon berubah menjadi *martensit* yang keras dan bersifat supersaturasi. Transformasi ini berkontribusi langsung terhadap meningkatnya nilai kekerasan. Pada kondisi *tempering*, sebagian *martensit* mengalami reorientasi struktur melalui presipitasi karbida halus dan relaksasi tegangan internal, sehingga kekerasannya sedikit menurun dibandingkan dengan *quenching*, tetapi tetap lebih tinggi dibandingkan dengan material tanpa perlakuan.

Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Lestari et al., [13], kenaikan temperatur austenisasi meningkatkan homogenitas *austenit* dan memperbesar peluang terbentuknya martensit saat pendinginan cepat.

Secara keseluruhan, tren yang muncul menunjukkan bahwa temperatur austenisasi memiliki peran dominan dalam penguatan material melalui pembentukan *martensit*. Sementara itu, perlakuan *tempering* pada 400°C selama 60 menit tetap mempertahankan sebagian sifat keras *martensit*, namun memberikan kombinasi kekerasan dan keuletan yang lebih seimbang dibandingkan dengan kondisi *quenching*. Temuan ini menegaskan bahwa interaksi antara temperatur pemanasan dan perlakuan akhir sangat menentukan karakter kekerasan pada baja karbon rendah ST37.



Gambar 3 Kekerasan (HV)

6. ANOVA

Hasil analisis ANOVA pada Tabel 2 menunjukkan bahwa temperatur austenitisasi dan metode pendinginan memberikan pengaruh signifikan terhadap seluruh sifat mekanik yang diuji, yaitu kekuatan tarik, energi impak, dan kekerasan baja karbon ST37. Pada uji tarik dan kekerasan, baik temperatur maupun metode pendinginan berpengaruh nyata ($p < 0,05$), sementara interaksi keduanya tidak signifikan, menandakan bahwa pola peningkatan sifat mekanik akibat temperatur berlangsung konsisten pada *quenching* maupun *tempering*. Sebaliknya, pada uji impak, seluruh variabel termasuk interaksi temperatur × metode pendinginan signifikan ($p < 0,001$), yang menunjukkan bahwa perubahan temperatur memberikan respons ketangguhan yang berbeda antara kedua metode pendinginan. Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa temperatur pemanasan merupakan faktor dominan dalam memodifikasi sifat mekanik baja, sedangkan metode pendinginan menentukan arah perubahan sifat secara spesifik, terutama pada ketangguhan material.

Tabel 2 ANOVA

No	Pengujian	Faktor	F	p
1	Uji Tarik	Temp	10.654	0.002
2	Uji Tarik	Metode Pendinginan	18.039	0.001
3	Uji Tarik	Temp x Metode Pendinginan	0.273	0.766
4	Uji Impak	Temp	86.31	<0.001
5	Uji Impak	Metode Pendinginan	84.01	<0.001
6	Uji Impak	Temp x Metode Pendinginan	15.71	<0.001

No	Pengujian	Faktor	F	p
7	Uji Kekerasan	Temp	41.453	<0.001
8	Uji Kekerasan	Metode Pendinginan	26.587	<0.001
9	Uji Kekerasan	Temp x Metode Pendinginan	0.448	0.649

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa perlakuan panas memberikan pengaruh signifikan terhadap sifat mekanik baja karbon rendah ST37. Peningkatan temperatur austenitisasi dari 750°C hingga 850°C menghasilkan kenaikan kekuatan tarik, kekerasan, dan perubahan energi impak yang konsisten dengan mekanisme transformasi fasa pada baja karbon. Proses *quenching* menghasilkan nilai kekuatan tarik dan kekerasan tertinggi karena terbentuknya *martensit* dengan densitas dislokasi tinggi, namun menurunkan ketangguhan material. Sebaliknya, proses *tempering* pada 400 °C selama 60 menit meningkatkan ketangguhan secara signifikan melalui pembentukan *tempered martensite* dan presipitasi karbida halus. Analisis ANOVA menunjukkan bahwa temperatur austenitisasi dan metode pendinginan berpengaruh signifikan terhadap seluruh sifat mekanik, sedangkan interaksi kedua faktor hanya berpengaruh pada energi impak. Secara keseluruhan, kombinasi temperatur austenitisasi tinggi dan proses *tempering* terbukti memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan dan keuletan, sehingga direkomendasikan untuk aplikasi yang membutuhkan performa mekanik optimal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Mersilia, P. K. Karo, D. Yayat, and I. Supriyatna, "Pengaruh Heat Treatment Dengan Variasi Media Quenching Air Garam dan Oli Terhadap Struktur Mikro dan Nilai Kekerasan Baja Pegas Daun AISI 6135," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 4, no. 02, pp. 175–180, Jul. 2016.

[2] A. Prayogi and Suhardiman, "Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Pada Perlakuan Panas Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah," *Jurnal Polimesin*, vol. 17, no. 2, pp. 29–36, Aug. 2019.

[3] Basori and A. Iswandi, "Fenomena Kekerasan, Impak, dan Struktur Mikro Baja 0.074 Wt.% Karbon Pasca Quenching Coolant," *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, vol. 7, no. 1, pp. 35–41, Jan. 2022.

[4] D. Darmawan, "Pengujian Ketangguhan dan Struktur Mikro Baja Karbon Rendah yang telah Mengalami Proses Perlakuan Panas (Heat Treatment)," *Jurnal Teknik Mesin UBL*, vol. 5, no. 2, pp. 5–8, Apr. 2018, [Online]. Available: http://jurnal.ubl.ac.id/index.php/JTM.

[5] E. Gunawan, "Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanis dan Struktur Mikro Pada Baja Karbon Rendah (St41) dengan Metode Pack Carbirizing," *Teknika: Engineering and Sains Journal*, vol. 1, no. 2, pp. 117–124, Dec. 2017.

[6] E. Nugroho, S. Dri Handono, Asroni, and Wahidin, "Pengaruh Temperatur dan Media Pendingin pada Proses Heat Treatment Baja AISI 1045 terhadap Kekerasan dan Laju Korosi," *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, vol. 8, no. 1, pp. 99–110, 2019, Accessed: Nov. 24, 2025. [Online]. Available: https://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo.

[7] H. Nur, A. Siti Nurrohkayati, A. Nugroho, U. H. Muhammadiyah Kalimantan Timur Jl Ir Juanda No, and K. Timur, "Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Terhadap Kekuatan Impact Baja Karbon Per-Daun Jis G 4801 Sup9," *Journal Technology Urgency Breakthrough in Engineering*, vol. 1, no. 1, p. 2023, 2023.

[8] H. Purwanto, "Analisa Quenching Pada Baja Karbon Rendah dengan Media Solar," *Momentum*, vol. 7, no. 1, pp. 36–40, Apr. 2011.

[9] Lelawati, "Pengaruh Pemanasan dan Quenching dengan Air Laut Terhadap Struktur Mikro Baja Karbon Sedang," *Jurnal Redoks*, vol. 7, no. 1, pp. 62–70, Jan. 2022, doi: doi.org/10.31851/redoks.v7i1.8148.

[10] M. Sidiq, W. Galuh, O. H. Hendra, and S. Luthfianto, "Perlakuan Panas Bertingkat sebagai Upaya Meningkatkan Kekuatan Mekanik Baja Karbon Rendah," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 11, no. 1, pp. 117–124, Apr. 2022, doi: 10.23887/jst-undiksha.v11i1.

[11] N. Lestari, H. Purwanto, and M. Dzulfikar, "Analisis Sifat Mekanis Baja Karbon Menengah Akibat Proses Austenisasi Tempering," *Momentum*, vol. 17, no. 2, pp. 127–132, Oct. 2021.

[12] P. Lanyo, G. Lubis, and M. Ivanto, "Analisis Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Perubahan Nilai Kekerasan Baja Karbon AISI 1044," *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin (JTRAIN)*, vol. 6, no. 2, pp. 63–70, 2025.

[13] Z. Zaidi and Suhardiman, "Analisis Annealing dan Turning Terhadap Nilai Kekasaran Baja Karbon," *Jurnal Ilmu Teknik*, vol. 2, no. 1, pp. 35–46, Oct. 2024, doi: 10.62017/tektonik.

DEVELOPMENT DESIGN OF FIN HULL TRADITIONAL FISHING VESSEL FOR ACTIVITIES

Samuel Febriary Khristyson [1*], Mohd. Ridwan [1], Hanggara Satuhu Hutama[1] , Ridho Wahyu Pramono[1], Arjuna Diestiaputra Musyaffa [1]

[1] Department of Industrial Technology, Vocational Collage , Diponegoro University

Gubernur Mocthar, Tembalang, Semarang, Indonesia, 50275

samuelfebriarykhr@staff.undip.ac.id [1]

Abstrak

Pengembangan kapal diperlukan untuk meningkatkan aktivitas laut di sejumlah lokasi pesisir, seperti kinerja sistem propulsi kapal atau penciptaan desain gerak bergulir dan pitching. mirip dengan bagaimana konsep desain representasional bekerja pada kapal. Tujuan dari penelitian ini adalah pengembangan desain sirip kapal untuk aktivitas masyarakat tradisional, sehingga dapat mengembangkan model perahu nelayan tradisional dengan ukuran sirip yang dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. Metode perbandingan akan digunakan untuk membandingkan hasil stabilitas kapal berdasarkan keadaan terbaik untuk wilayah pelayaran. Untuk menghitung pendekatan lengan pembalik kapal, perlu mempertimbangkan berat kapal di samping temuan perhitungan stabilitas. Nilai titik keseimbangan atas terhadap gaya gravitasi bervariasi tergantung pada kondisi kapal di mana sudut kritis oleng maksimum berada pada 60 derajat. Ketika kapal terisi penuh, jarak titik keseimbangan tertinggi bervariasi sebesar 11%. Jarak antara titik gravitasi kapal dan titik keseimbangan atas berkurang untuk kapal dengan dan tanpa sirip ketika sudut oleng mencapai maksimumnya. Desain tersebut menggambarkan bahwa saat merancang kapal dengan sirip untuk perairan dangkal, ada sejumlah elemen yang perlu diperhitungkan, termasuk kecepatan maksimum dan stabilitas kapal, yang berguna untuk operasi penangkapan ikan. Berdasarkan desain lambung tersebut biaya pra-perencanaan tidak terlalu mahal dan menunjukkan efisiensi waktu produksi.

Kata kunci : stabilitas, sirip, kapal ikan tradisional.

Abstract

Ship development is necessary to boost marine activities in a number of coastal locations, such as the performance of ship propulsion systems or the creation of rolling and pitching motion designs. similar to how a representational design concept performs on a ship. The goal of this development design of fin for traditional community activities is to develop traditional fishing boat models with different standard sizes fin in comparison to earlier research. The comparison's findings will be used to compare ship stability outcomes based on the best circumstances for the shipping region. In order to calculate the ship's turning arm approach, it is required to consider the ship's weight in addition to the stability calculation findings. The value of the top equilibrium point to the force of gravity varies depending on the ship situation where the critical angle of maximum roll is at 60 degrees. When the ship is completely laden, the highest equilibrium point's distance varies by 11%. The distance between the ship's gravity point and upper equilibrium point decreases for both ships with and without fins when the roll angle is at its maximum. Design illustrates that while designing a ship with fin for shallow waters, there are a number of elements to take into account, including the ship's maximum speed and stability, useful for fishing operations. According to the hull's design, pre-planning costs are not excessively expensive and demonstrate the efficiency of production time.

Key words : *stability, fins, traditional fishing vessel.*

INTRODUCTION

Ships are among the most suitable modes of transportation to assist coastal activities [1]. The Tambak Lorok Semarang area is one of the coastal areas where many people are engaged in marine activities. The government has provided assistance to a number of Semarang neighborhoods to promote communal activities along the coast, including fishing. Ship development is necessary to boost

marine activities in a number of coastal locations, such as the performance of ship propulsion systems or the creation of rolling and pitching motion designs, similar to how a representational design concept performs on a ship [2]. Permits more convenient load levels, operational access, and the prioritization of ease over speed. The form of the hydrostatic table or curve that characterizes the different kinds of fishing vessels in a shipping region can be used to visualize a design [3]. To create a basic design that incorporates the optimization of earlier fishing vessels, a number of characteristics have been described. Between the weight of the structure and the load brought on by the ship's rollout, a construction design may have an impact on the ship's stability [4]. The performance of the overall resistance that influences the ship's maneuverability at sea is determined by the shape of the superstructure construction [5][6].

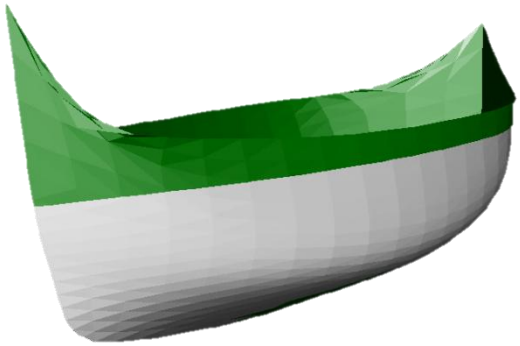


Figure 1. Design Hull Traditional Fishing Vessel

The behavior of shallow water fishing vessels and the impact of hull width on obstacles encountered on fishing vessels are demonstrated by a prior study on fishing boat objects [7]. Additionally, the study comparison of computer results with hydrostatic experiments on towing tanks and prototype ships. The influence of construction design differs by 18% between the simulation findings, which reach 25 knots, and the prototype's 21 knots [8]. However, as the analysis was conducted on the catamaran hull class and was restricted to vessels under 12 meters in length and under 9 tons in weight, more research on monohull vessels under 5 GT is required. According to the study, which compares monohull and twin-hull ship designs, this is consistent with the optimization of high-speed ro-ro passenger ship design. The main size of the ship is depicted in the distribution of spots/dots suggesting design alternatives, and the four best design rankings are determined using the GA algorithm optimization method [9], [10]. Nevertheless, further comparisons are required to depict the ship speed ratio because only three speed variables are used, with a 5-knot interval. When the object's computation excludes the ship's equipment, it may have an impact on the ship's shape requirements. A curve that depicts the estimated metacenter height of the vessel as well as the displacement of the vessel on different types of fishing vessels was described in a prior study for small fishing vessels based on loading conditions. Similar to gill nets, long liners, and jigging in South Korean waters under different circumstances, they are compared and combined into a single curve.

This study clearly demonstrates the correlation and relationship with earlier studies, specifically the impact of hull shape alterations on fishing vessels' stability and resistance performance. This establishes a provisional hypothesis that the features of shallow seas around Java's north coast, particularly Semarang in Tambak Lorok, are described by design optimization. The same is true of earlier research on the form and design of ship optimization in particular fields. Overall, the problem in this paper is limited to stability calculations from conditions 0^0 to 90^0, ship resistance based on the resistance encountered, displacement calculations on fully loaded ship conditions, and the use of data from three comparison ships. The goal of this development design of fin for traditional community activities is to develop traditional fishing boat models with different standard sizes fin in comparison to earlier research in an attempt to meet the various criteria required with comparative data, design and calculate criteria with computing software, and produce optimal design outputs. With its ability to float on water and its ability to load people or cargo, the ship is a construction model whose speed is dependent on the kind of water it passes [11], [12]. One of the primary design requirements for all floating devices is stability, but since fishing boats must always operate with a reasonably high stability load, stability is more crucial for them than for other types [13][14], [15], [16]. The capacity of a ship to regain its initial position (upright) following tilting caused by internal and external forces or following a temporal moment is known as ship stability [17]. Ship stability values calculated from several ship model development variants are compared.

METHOD

Metode The main dimensions of the ship are as follows, see table 1.

Table 1. Principal Dimention.

Dimension	Value
Lwl	12,28 m

Dimension	Value
B	3,0 m
T	1,7 m
Wetted Area	183,358 m^2
Displacement	34,05 ton
Volume (Displacement)	33,20 m^3
CB	0,54
L/B	4,09
B/T	1,76

Given the rather small hull design of this fishing boat, stability is an issue that must be taken into account. The comparison's findings will be used to compare ship stability outcomes based on the best circumstances for the shipping region [18], [19]. In order to calculate the ship's turning arm approach, as shown in equation 1, it is required to consider the ship's weight in addition to the stability calculation findings.

$$\mathrm{GM} = (\mathrm{BB}' + \mathrm{MB}) - (\mathrm{GG}') \quad \text{..... (1)}$$

Where GM is the distance between the ship's point of gravity and Metasentra, w is its displacement weight, MB is the distance between Metasentra and Bouyancy (upward buoyancy), GG' is the distance between the ship's keel point (Keel) and its point of gravity, BB' is the distance between the ship's keel point (Keel) and the Bouyancy point, and x is the angle created from the ship's roll angle. Further calculations can be made regarding the value of the connection arm or arm that allows the ship to return to its initial location. The Coupling Moment (Inertia Stability Moment), which is modified to account for the degree of rollout of each condition aboard the ship, is calculated. Therefore, if expressed as in equation 2:

$$S(n^0) = w \,.\, GM \sin(n^0) \quad \text{.....(2)}$$

Where w is the weight of the ship's displacement, GM is the distance between the Gravity point and the Metasentra point, n^0 is the angle generated from the angle of the ship's roll, and $S(n^0)$ is the righting arm/returning moment for a specific angle. The flow of this research is based on the previous design then development is carried out by calculating its CSA. Furthermore, ship displacement data for ship stability is used for development, see Figure 2.

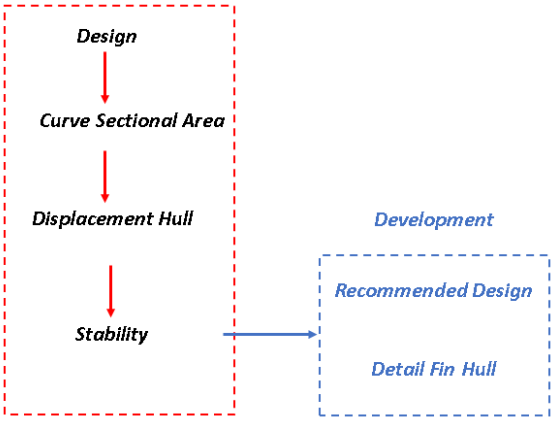


Figure 2. Flow Diagram Method

The development was carried out based on the results of the calculation recommendations of several models [20], [21], then the construction of the ship's hull fin was added to later become a reference for the ship's fin design.

RESULT AND DISCUSSION

Based on the results of the calculation analysis to obtain the area value of each section of the ship. The widest value was obtained in the section of the ship in the midship section of 3.93 m^2. This shows that the design of traditional fishing boats has the characteristics of the stern and bow sections having identical shapes, see Figure 3.

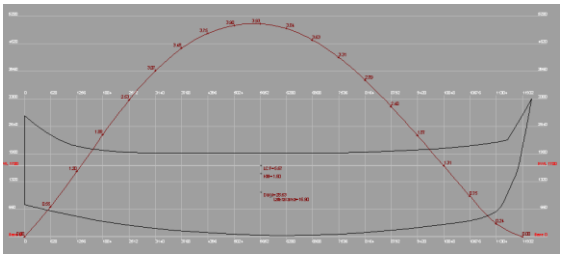


Figure 3. CSA traditional fishing vessels

Furthermore, hydrostatic data can be used to calculate the stability characteristics of a ship, the data used is the ship's displacement in tons. It can be seen that the ship's design with the addition of fins provides a shape on the right and left side of the hull bilge, see figure 4.

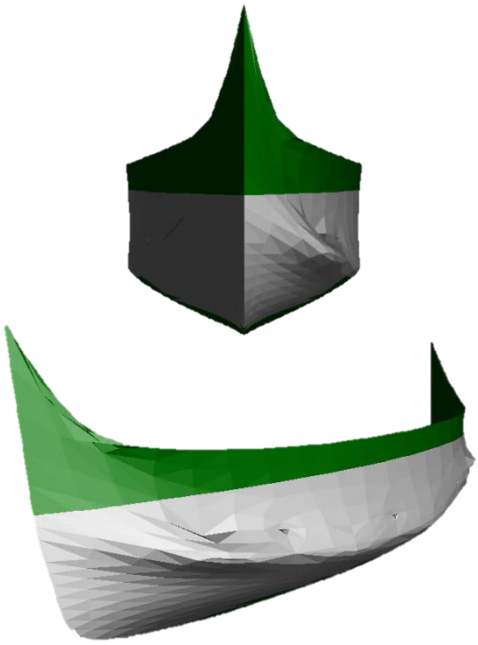


Figure 4. Addition Fin to ship design

Traditional fishing vessels with the addition of fins do not experience changes in the main dimensions of the ship. Modifications to the addition of fins still consider the overall width of the ship. With the presence of fins on the hull of this ship, it adds to the ship's ability to return to its original position to be more comfortable or not too stiff. The moment of stability of the ship can be calculated using equation 2, so that the results of the cross curve are obtained using the numerical method, as in Figure 5.

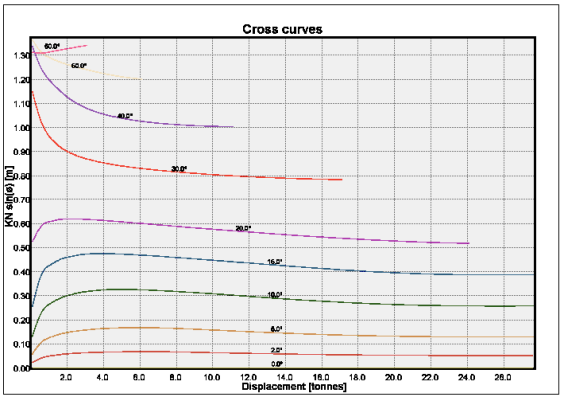


Figure 5. Cross Curve in Fishing Boat Fin Design

From the results of the cross curve calculation, it can be seen that the ship experiences the largest righting arm distance when the ship experiences a roll starting at an angle of 50 degrees. This makes ships using this fin quite comfortable for the waters of the northern coast of Java because they only have an average wave height in cloudy conditions of around 1-3 meters.

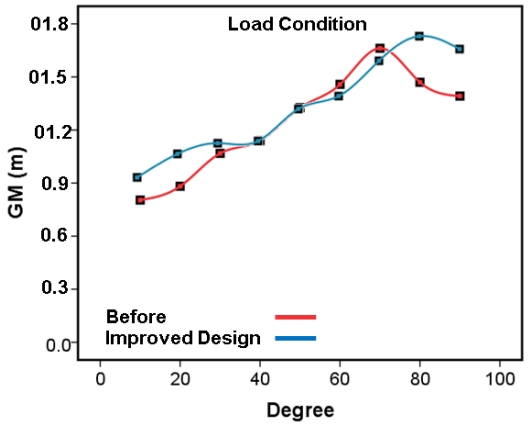


Figure 6. Comparison of ship on Load Conditions

And then, for each condition of the calculation analysis results, we group them and then form a trend as seen in table 6. Where the difference occurs in each ship condition where the critical angle of maximum roll is at 60 degrees and the value of the upper equilibrium point to the force of gravity in each ship condition has a difference. There is an 11% difference in the distance of the upper equilibrium point when the ship is fully loaded. In the condition of the maximum roll angle, both ships without fins and ships with fins each experience a decrease in the distance of the upper equilibrium point to the ship's gravity point.

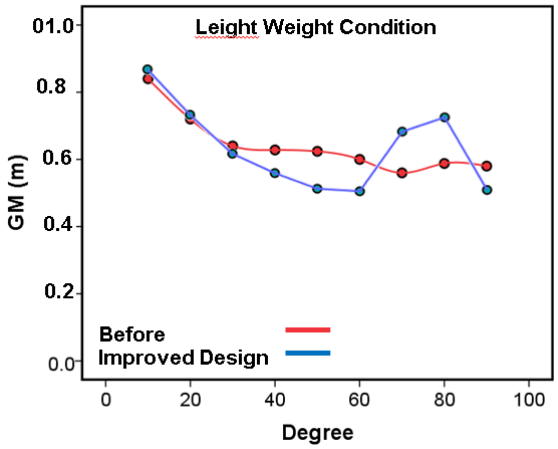


Figure 7. Comparison when Leight Weight Condition

However, in the condition of the ship without a load, it means that only the load of fishing gear and the ship's motor has a downward trend for each condition of the ship's roll. This means that the distance of the center of gravity to the upper

equilibrium point of the ship has a decreasing value, which causes the movement of the ship when it receives external force to have rigid stability. In the design of a ship that has fins that tend to have a roll angle above 60 degrees, the distance from the center of gravity to the upper equilibrium is quite large. This shows that the stability value is good and the level of comfort of using the ship is more stable or not rigid.

CONCLUSION

Additional information on the ship's development can be obtained by estimating the ship's stability by calculating the force points that are present while the ship is in operation. You can compare the findings and analysis of ship stability and the connection between resistance and ship speed by looking at earlier studies. The picture illustrates that while designing a ship with fin for shallow waters, there are a number of elements to take into account, including the ship's maximum speed and stability, useful for fishing operations. According to the hull's design, pre-planning costs are not excessively expensive and demonstrate the efficiency of production time. The impact of different representative hull construction types on shallow seas, particularly the stability and resistance of conventional fishing boats, must therefore be understood. The findings demonstrated that the engine's effective power and the stability diagram may forecast the ship's performance and offer an optimization model to forecast the design of conventional ships in shallow waters.

Ships will encounter disruptions, particularly when operations take place at an angle greater than 15 degrees. This can, at the very least, impact fishermen's ability to locate fish and support themselves. For the purpose of optimizing current fishing boats, this study focuses on static stability and a proposal for an optimal design in terms of hull form, within the constraints of the challenge. Although the method used is not very thorough, it can nonetheless serve as a source of information for authors conducting further research.

REFFERENCES

[1] B. W. Ziliwu, "STUDI KONSUMSI BAHAN BAKAR SOLAR PADA MESIN INDUK KM. FORTUNA," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2 SE-, Oct. 2022, doi: 10.33019/jm.v8i2.3015.

[2] W. Xu, J. Jiao, G. Xu, M. Zhang, and Y. Zou, "Intelligent control of flap-type fin stabilizer for ship roll motion reduction," *Ocean Eng.*, vol. 323, p. 120630, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.120630

[3] M. Koričan, N. Vladimir, N. Hadžić, and V. Ložar, "Life-cycle cost assessment of hull protection technologies considering their effect on the environmental friendliness of fishing vessels," *Mar. Pollut. Bull.*, vol. 209, p. 117137, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2024.117137.

[4] S. Ma'arif, M. A. Budiyanto, Sunaryo, and G. Theotokatos, "Progress in hybrid and electric propulsion technologies for fishing vessels: An extensive review and prospects," *Ocean Eng.*, vol. 316, p. 120017, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.120017

[5] M. Gil, J. Montewka, and P. Krata, "Predicting a passenger ship's response during evasive maneuvers using Bayesian Learning," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 256, p. 110765, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110765.

[6] S. F. Khristyson, Jamari, and A. P. Bayuseno, "Design of Fishing Vessel 5 GT for Traditional Fishing Community Activities," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1096, no. 1, p. 12030, 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1096/1/012030.

[7] S. Bairami-Khankandi, V. Bolbot, A. BahooToroody, and F. Goerlandt, "A systems-theoretic approach using association rule mining and predictive Bayesian trend analysis to identify patterns in maritime accident causes," *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 258, p. 110911, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.ress.2025.110911.

[8] S. Sulaiman, S. D. Said, S. F. Khristyson, and I. D. Cahyo, "Desain Konstruksi Bar Keel Pada Kapal Kayu Nelayan," *J. Pengabdi. Vokasi*, vol. 1, no. 3, pp. 153–158, Jun. 2020, Accessed: Aug. 09, 2020. [Online]. Available: https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jpv/article/view/5382.

[9] S. Liu, X.-J. Cui, and C. Lyu, "Analysis and prediction of fishing capacity of marine fishing vessels based on generalized additive models," *Fish. Res.*, vol. 282, p. 107268, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.fishres.2025.107268.

[10] M. Sun, H. Ye, J. Liu, T. Luan, and H. Lian, "Analysis of lift-drag characteristics and design

of collaborative anti-rolling control system for variable-diameter Magnus rotating roll stabilizer," *Ocean Eng.*, vol. 324, p. 120713, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.120713

[11] H. Bao, Y. Wang, H. Zhu, X. Li, and F. Yu, "Numerical and experimental analysis of motion control of offshore fishing unmanned underwater vehicle in ocean environment," *Ocean Eng.*, vol. 295, p. 116886, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.116886

[12] D. Yang, X. Li, and L. Zhang, "A novel vessel trajectory feature engineering for fishing vessel behavior identification," *Ocean Eng.*, vol. 310, p. 118677, 2024, doi: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.118677

[13] Y. Zhang, X. Huang, X. Chen, B. Liu, X. Kong, and Q. Deng, "Optimal configuration and three-dimensional light field of fishing lights on a squid fishing boat obtained using a space matrix algorithm," *Fish. Res.*, vol. 281, p. 107223, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.fishres.2024.107223.

[14] S. F. Khristyson, S. Sugeng, M. Ridwan, and A. K. Yusim, "Improved Design 5 (GT) Boat for Traditional Community Activities," *Int. J. Eng. Invent.*, vol. 13, no. 1, pp. 50–57, 2024, [Online]. Available: http://www.ijeijournal.com/papers/Vol13-Issue1/13015057.pdf.

[15] S. F. Khristyson, M. Ridwan, and A. K. Yusim, "Analisis Pengaruh Pengguanan Alat Bantu Bending pada Proses Bending High Density Polietiline (HDPE) Sheet untuk Lambung Kapal Ikan dengan Metode Heat Treatment," *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 15, no. 2, pp. 1–10, 2024, [Online]. Available: https://jurnal.umk.ac.id/index.php/simet/article/view/11897.

[16] S. Sulaiman and S. F. Khristyson, "Analisa Sambungan Groove pada Pengelasan HDPE sebagai Material Alternatif Konstruksi Kapal Kayu Nelayan," *J. Inovtek Polbeng*, vol. 12, no. 1, pp. 9–14, 2022, doi: 10.35314/ip.v12i1.2295.

[17] M. Iqbal, M. Terziev, T. Tezdogan, and A. Incecik, "Hull form optimisation to minimise the total resistance and dynamic responses of small fishing vessels," *Ocean Eng.*, vol. 321, p. 120357, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2025.120357

[18] W. Xu, M. Li, G. Xu, J. Jiao, and H. Liu, "Study on the intelligent anti-roll control of a ship at zero speed based on flapping fins," *Ocean Eng.*, vol. 319, p. 120263, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.120263

[19] L. F. Calvo, M. E. Diego, and M. Astolfi, "Techno-economic analysis of a novel clc reactor-based system for energy storage and back-up power in a cruise ship," *Energy Convers. Manag. X*, vol. 26, p. 100885, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.100885.

[20] K. Kadriadi *et al.*, "Design And Construction Of Gear Wheel Alignment Setting Tools As A Learning Media In The Machine Repair And Maintenance Laboratory," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2 SE-, Nov. 2023, doi: 10.33019/jm.v9i2.4509.

[21] H. Tira and M. Zulfikar, "Design Of Tapered Wind Turbine Using Various Naca 24112 Airfoils In Semayan Village Central Lombok Regency," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 2 SE-, Nov. 2024, doi: 10.33019/jm.v10i2.4704.

ANALISIS *STATIC STRUCTURAL* RANGKA SEPEDA LISTRIK RODA TIGA BAGI TUNADAKSA MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA)

Muhamad Maulana Yusup [1], Raka Mahendra Sulistiyo [1], Faiz Listyanda [1]

[1] Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Kapten Suparman No.39, Potrobangsan, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah

muhamad.maulana.yusup@students.untidar.ac.id [1]

Abstrak

Tunadaksa termasuk disabilitas yang memiliki keterbatasan dalam mobilitas, sehingga membutuhkan sarana transportasi yang aman, stabil, dan mudah digunakan. Akan tetapi, aspek keselamatan dan keamanan pada kendaraan disabilitas kurang diperhatikan, khususnya pada kekuatan rangka sebagai komponen utama pendukung beban. Penelitian ini mengkaji mengenai perancangan dan analisis *static structural* sepeda listrik roda tiga bagi tunadaksa menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA). Rangka sepeda listrik roda tiga tersebut didesain dengan 3 variasi, yaitu bentuk *cruiser*, Y, dan T yang mengacu pada Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia No. 52 tahun 2024. Metode yang digunakan adalah kuantitatif komparatif dengan menggunakan metode numerik melalui *Finite Element Analysis* (FEA) pada *software* Ansys Workbench untuk menganalisis kekuatan struktur rangka sepeda listrik roda tiga berdasarkan variasi desain. Disisi lain, material yang digunakan pada ketiga variasi desain adalah *aluminium alloy* 6061-T6. Hasil simulasi menunjukkan bahwa geometri rangka berbentuk Y dapat menghasilkan nilai terbaik dibandigkan geometri rangka berbentuk *cruiser* dan T. Geometri rangka berbentuk Y tersebut dapat menghasilkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 110,85 MPa, *deformation* sebesar 1,4159 mm, dan *safety factor* sebesar 2,4808.

Kata kunci : *finite element analysis* (FEA), sepeda listrik roda tiga, tunadaksa.

Abstract

Physically disabled people are people with disabilities who have limitations in mobility, so they need a means of transportation that is safe, stable, and easy to use. However, the safety and security aspects of disability vehicles are less considered, especially the strength of the frame as the main component supporting the load. This study examines the design and static structural analysis of a electric tricycle for physically disabled people using Finite Element Analysis (FEA). The electric tricycle frame is designed with 3 variations, namely the cruiser, Y, and T shapes referring to the Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia No. 52 tahun 2024. The method used is comparative quantitative using numerical methods through Finite Element Analysis (FEA) in Ansys Workbench software to analyze the structural strength of the electric tricycle frame based on design variations. On the other hand, the material used in all three design variations is aluminum alloy 6061-T6. The simulation results show that the Y-shaped frame geometry can produce the best value compared to the cruiser and T-shaped frame geometries. The Y-shaped frame geometry can produce a maximum von mises stress value of 110.85 MPa, deformation of 1.4159 mm, and a safety factor of 2.4808.

Key words : *finite element analysis (FEA), electric tricycle, physically disabled.*

PENDAHULUAN

Tunadaksa merupakan salah satu jenis disabilitas yang ditandai dengan adanya kelainan gerak atau cacat fisik. Berdasarkan data, penyandang disabilitas tunadaksa di Indonesia pada tahun 2024 mencapai 317.062 jiwa [1]. Pada umumnya, penyandang disabilitas tunadaksa memiliki keterbatasan dalam melakukan mobilitas sehari-hari. Hal ini menjadikan beberapa penyandang disabilitas tunadaksa melakukan modifikasi pada kendaraan yang disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan [2].

Modifikasi kendaraan bagi penyandang disabilitas tunadaksa dapat dilakukan dengan memenuhi peraturan Undang-Undang Nomor 22 tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan dan melakukan pengujian kendaraan untuk

memastikan kelayakan kendaraan [3]. Akan tetapi, kendaraan yang digunakan para penyandang disabilitas umumnya tidak dilakukan pengujian keamanan dalam menjamin dapat digunakan secara aman dan mudah digunakan.

Salah satu alternatif kendaraan yang dapat digunakan bagi penyandang disabilitas tunadaksa adalah sepeda listrik roda tiga. Secara umum, sepeda listrik memiliki kecepatan rata-rata sebesar 28 km/jam yang termasuk ke dalam kategori kecepatan sedang [4]. Disisi lain, sepeda listrik yang menggunakan tiga roda memiliki tingkat kestabilan yang lebih baik dibandingkan kendaraan roda dua, sehingga dapat membantu dalam melakukan mobilitas [5]. Akan tetapi, keamanan kendaraan juga harus memperhatikan aspek keselamatan dengan penggunaan rangka yang kuat dan kokoh sebagai komponen utama penopang beban.

Rangka sepeda listrik yang kuat dan kokoh dapat ditentukan berdasarkan penggunaan materialnya. Material *aluminium alloy* 6061-T6 termasuk salah satu logam bukan *ferro* yang memiliki kekuatan tinggi, namun memiliki massa jenis yang rendah [6]. Kekuatan tarik dari *aluminium alloy* 6061-T6 dapat mencapai 310 MPa, sedangkan kekuatan luluhnya sebesar 275 MPa. Disisi lain, massa jenis dari *aluminium alloy* 6061-T6 sebesar 2,7 g/cm^3. Material *aluminium alloy* 6061-T6 juga memiliki lapisan oksidasi yang berfungsi mengurangi korosi Oleh karena itu, penggunaan material *aluminium alloy* 6061-T6 pada rangka sepeda listrik dapat menghasilkan kualitas rangka yang kuat, ringan, dan tidak mudah korosi [7].

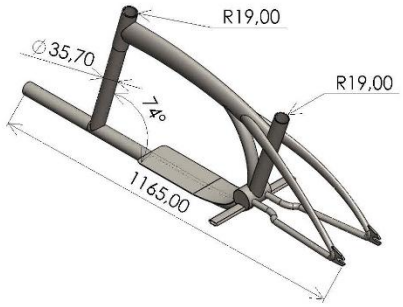
Penerapan bentuk geometri juga dapat mempengaruhi kekuatan pada rangka sepeda listrik. Pada Peraturan Menteri Perindustrian Republik Indonesia No. 52 tahun 2024 menegaskan bahwa geometri rangka sepeda diklasifikasikan menjadi 7 jenis, diantaranya *diamond*, bentuk V, bentuk U, bentuk H, bentuk T, bentuk *cruiser*, dan Y [8]. Geometri rangka yang berbeda tersebut semestinya memiliki karakteristik respon yang berbeda, sehingga mempengaruhi jalur distribusi beban dan titik konsentrasi tegangan yang dapat menghasilkan perbedaan kekuatan.

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan material dan geometri pada rangka sepeda listrik roda tiga dapat mempengaruhi kekuatannya. Oleh sebab itu, diperlukan penelitian mengenai variasi desain pada rangka sepeda listrik roda tiga bagi tunadaksa dengan perbedaan geometri. Pada penelitian ini menggunakan 3 variasi desain, yaitu bentuk *cruiser*, bentuk Y, dan bentuk T dengan material *aluminium alloy* 6061-T6. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai *von mises stress*, *deformation*, dan *safety factor* melalui metode *Finite Element Analysis* (FEA). Hasil yang diharapkan pada penelitian ini adalah memperoleh geometri rangka sepeda yang memiliki nilai *von mises stress* dan *deformation* terendah, serta *safety factor* tertinggi.

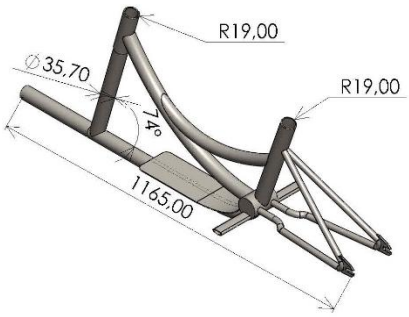
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif komparatif dengan pendekatan menggunakan metode numerik melalui *Finite Element Analysis* (FEA) pada *software* Ansys Workbench. Penggunaan penelitian kuantitatif komparatif bertujuan untuk menganalisis kekuatan struktur rangka sepeda listrik roda tiga berdasarkan variasi desain. Jenis simulasi yang digunakan adalah *static structural* untuk menganalisis kekuatan struktur rangka sepeda roda tiga bagi tunadaksa dalam keadaan statis. Disisi lain, material yang digunakan pada rangka sepeda roda tiga tersebut adalah *aluminium alloy* 6061-T6.

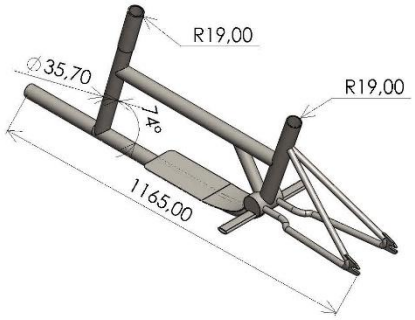
Penelitian ini menggunakan 3 variasi desain, yaitu bentuk *cruiser*, bentuk Y, dan bentuk T seperti pada Gambar 1 – Gambar 3.



Gambar 1 Dimensi Variasi Desain 1 (dalam mm)

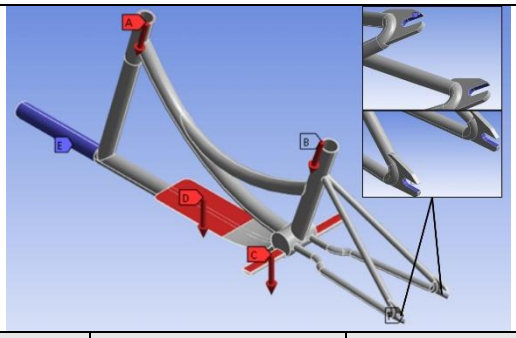


Gambar 2 Dimensi Variasi Desain 2 (dalam mm)



Gambar 3 Dimensi Variasi Desain 3 (dalam mm)

Pembebanan yang diterapkan pada ketiga variasi desain rangka sepeda menggunakan massa pengendara sebesar 100 kg dan baterai sebesar 10 kg. Berdasarkan standar ISO:4210, pembebanan pada rangka sepeda dikenakan pada tiga area, yaitu *head tube* sebesar 11,1%, *seat tube* sebesar 33,3%, dan *bottom bracket* sebesar 55,5% dari total massa pengendara [9]. Disisi lain, lokasi tumpuan pada rangkas sepeda listrik roda tiga dialokasikan pada bagian *tilting* dan *rear end* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Kode	Nama Bagian	Nilai Gaya
A	*Head Tube*	108,89 Newton
B	*Seat Tube*	326,67 Newton
C	*Bottom Bracket*	544,46 Newton
D	Dudukan Baterai	98,1 Newton
E	*Tilting*	-
F	*Rear End*	-

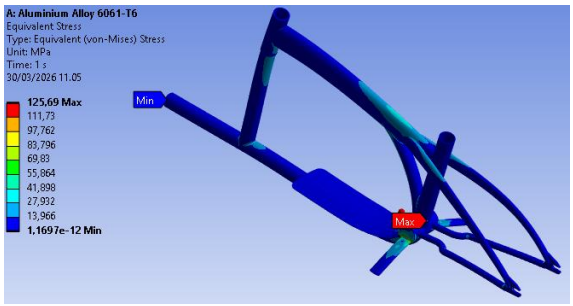
Gambar 4 Lokasi Pembebanan dan Tumpuan

HASIL DAN PEMBAHASAN

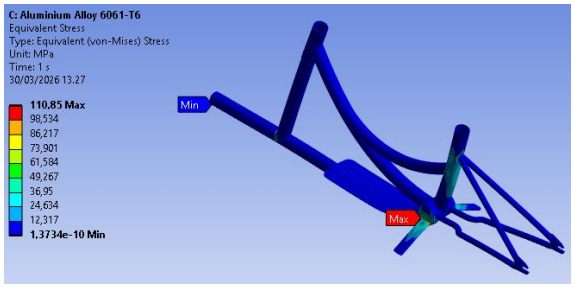
Hasil yang didapat dari simulasi *static structural* pada rangka sepeda listrik roda tiga menggunakan material *aluminium alloy* 6061-T6 meliputi nilai *von mises stress, deformation,* dan *safety factor* dari tiap variasi desain.

Analisis *Von Mises Stress*

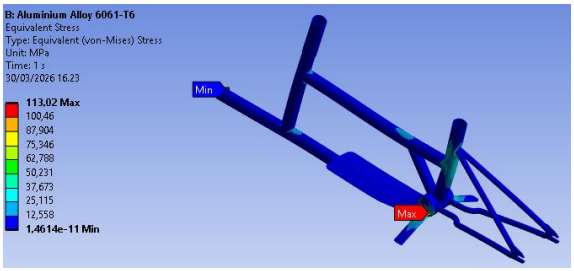
Von mises stress atau tegangan *von mises* digunakan untuk mengetahui nilai dan distribusi tegangan maksimum yang terjadi pada komponen akibat pembebanan yang diberikan [10]. Pada Gambar 5 – Gambar 7 ditunjukkan hasil *von mises stress* yang terjadi pada ketiga variasi desain.



Gambar 5 Hasil *Von Mises Stress* Variasi Desain 1



Gambar 6 Hasil *Von Mises Stress* Variasi Desain 2



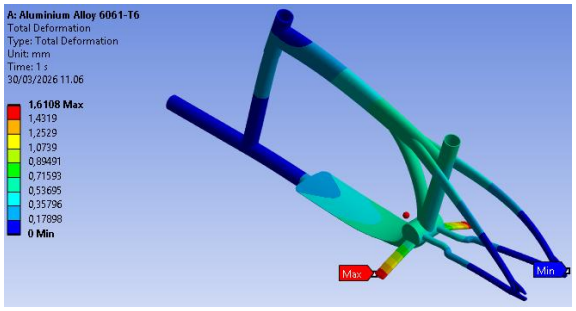
Gambar 7 Hasil *Von Mises Stress* Variasi Desain 3

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, variasi desain 1 dengan geometri rangka berbentuk *cruiser* menghasilkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 125,69 MPa, sedangkan nilai minimum dari *von mises stress* sebesar 1,1697 x10^{-12} MPa. Variasi desain 2 dengan geometri rangka berbentuk Y menghasilkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 110,85 MPa, sedangkan nilai minimum dari *von mises stress* sebesar 1,3734 x10^{-10} MPa. Variasi desain 3 dengan geometri rangka berbentuk T menghasilkan nilai maksimum *von mises stress* sebesar 113,02 MPa, sedangkan nilai minimum dari *von mises stress* sebesar 1,4614 x10^{-12} MPa.

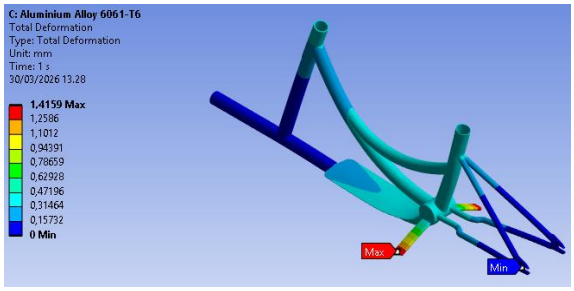
Analisis *Deformation*

Deformation atau deformasi dilakukan untuk mengetahui nilai perubahan bentuk yang terjadi pada komponen akibat adanya pembebanan

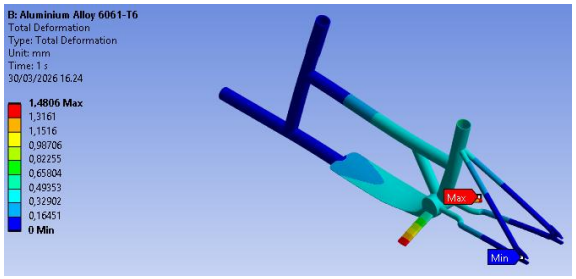
[11]. Pada Gambar 8 – Gambar 10 ditunjukkan hasil *deformation* yang terjadi pada ketiga variasi desain.



Gambar 8 Hasil *Deformation* Variasi Desain 1



Gambar 9 Hasil *Deformation* Variasi Desain 2

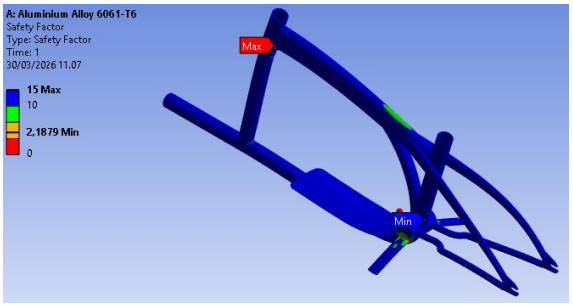


Gambar 10 Hasil *Deformation* Variasi Desain 3

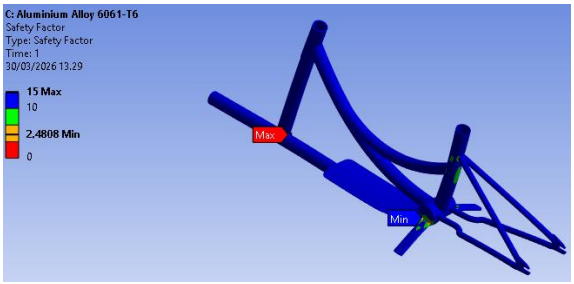
Berdasarkan simulasi yang dilakukan, variasi desain 1 dengan geometri rangka berbentuk *cruiser* menghasilkan nilai maksimum *deformation* sebesar 1,6108 mm, sedangkan nilai minimum dari *deformation* sebesar 0 mm. Variasi desain 2 dengan geometri rangka berbentuk Y menghasilkan nilai maksimum *deformation* sebesar 1,4159 mm, sedangkan nilai minimum dari *deformation* sebesar 0 mm. Variasi desain 3 dengan geometri rangka berbentuk T menghasilkan nilai maksimum *deformation* sebesar 1,4806 mm, sedangkan nilai minimum dari *deformation* sebesar 0 mm.

Analisis Safety Factor

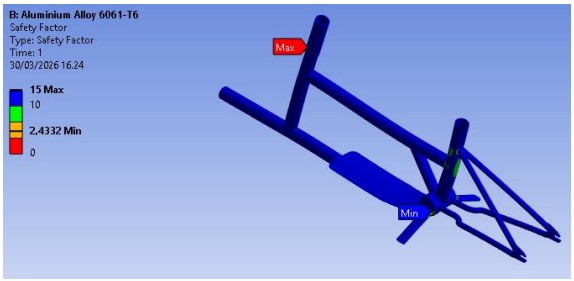
Safety factor atau faktor keamanan adalah parameter yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan suatu komponen terhadap kegagalan. Nilai *safety factor* diperoleh dari perbandingan nilai kekuatan luluh material dengan nilai maksimum *von mises stress*. Nilai *safety factor* yang dapat digunakan pada komponen harus memiliki nilai > 1 [12]. Pada Gambar 11 – Gambar 13 ditunjukkan hasil *safety factor* yang terjadi pada ketiga variasi desain.



Gambar 11 Hasil *Safety Factor* Variasi Desain 1



Gambar 12 Hasil *Safety Factor* Variasi Desain 2



Gambar 13 Hasil *Safety Factor* Variasi Desain 3

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, variasi desain 1 dengan geometri rangka berbentuk *cruiser* menghasilkan nilai minimum *safety factor* sebesar 2,1879, sedangkan nilai maksimum dari *safety factor* sebesar 15. Variasi desain 2 dengan geometri rangka berbentuk Y menghasilkan nilai minimum *safety factor* sebesar 2,4808, sedangkan nilai maksimum dari *safety factor* sebesar 15. Variasi desain 3 dengan geometri rangka berbentuk T menghasilkan nilai minimum *safety factor* sebesar 2,4332, sedangkan nilai maksimum dari *safety factor* sebesar 15. Nilai minimum yang dihasilkan dari ketiga variasi desain tersebut menunjukkan nilai lebih dari 1, sehingga penggunaan *aluminium alloy* 6061-T6 pada ketiga variasi desain aman ketika diberikan massa pengendara 100 kg dan massa baterai sebesar 10 kg.

Analisis Perbandingan Antar Variasi Desain

Analisis perbandingan antar variasi desain dilakukan untuk mengevaluasi hasil simulasi berdasarkan nilai *von mises stress*, *deformation*, dan *safety factor*. Pada Tabel 1 ditunjukkan perbandingan hasil simulasi dari ketiga variasi desain.

Tabel 1 Perbandingan Hasil Simulasi

	Von Mises Stress (MPa)	*Deformation* (mm)	*Safety Factor*
Variasi Desain 1	125,69	1,6108	2,1879
Variasi Desain 2	110,85	1,4159	2,4808
Variasi Desain 3	113,02	1,4806	2,4332

Berdasarkan Tabel 1, variasi desain 2 menunjukkan nilai tegangan *von mises* paling rendah, yaitu sebesar 110,85 MPa. Nilai ini lebih kecil dibandingkan variasi desain 1 dan desain 3 yang masing-masing sebesar 125,69 MPa dan 113,02 MPa. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa variasi desain 2 memiliki distribusi tegangan yang lebih merata, sehingga mampu mengurangi konsentrasi tegangan pada titik tertentu yang berpotensi menyebabkan kegagalan struktur.

Variasi desain 2 juga menghasilkan nilai *deformation* paling kecil, yaitu 1,4159 mm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa geometri rangka berbentuk Y memiliki tingkat kekakuan yang lebih tinggi dibandingkan geometri rangka berbentuk *cruiser* dan T. Maka dari itu, variasi desain 2 dapat lebih sulit mengalami perubahan bentuk akibat pembebanan.

Nilai *safety factor* pada variasi desain 2 juga memiliki nilai tertinggi sebesar 2,4808 yang diikuti oleh variasi desain 3 sebesar 2,4332 dan variasi desain 1 sebesar 2,1879. Nilai *safety factor* pada variasi desain 2 tersebut menunjukkan bahwa struktur geometri rangka berbentuk Y memiliki margin keamanan yang lebih besar terhadap kemungkinan kegagalan material.

Secara keseluruhan, variasi desain 2 memiliki nilai *von mises stress* dan *deformation* terendah serta *safety factor* tertinggi dibandingkan variasi desain 1 dan desain 3. Perbedaan nilai tersebut menjadikan variasi desain 2 dengan geometri rangka berbentuk Y memiliki desain terbaik. Oleh karena itu, penggunaan geometri rangka berbentuk Y pada sepeda listrik roda tiga bagi tunadaksa direkomendasikan karena mampu memberikan kinerja struktural yang lebih optimal, sehingga dapat mendukung kenyamanan dan keselamatan pengguna.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi geometri rangka dan penggunaan material *aluminium alloy* 6061-T6 berpengaruh terhadap kinerja struktural rangka sepeda listrik roda tiga bagi tunadaksa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ketiga variasi desain, yaitu bentuk *cruiser*, Y, dan T memiliki nilai *safety factor* lebih dari 1, sehingga seluruh desain dinyatakan aman dalam menahan massa pengendara sebesar 100 kg dan baterai sebesar 10 kg. Akan tetapi, variasi desain 2 dengan geometri rangka berbentuk Y dapat menghasilkan desain yang terbaik berdasarkan nilai *von mises stress* terendah sebesar 110,85 MPa, *deformation* terkecil sebesar 1,4159 mm, dan *safety factor* tertinggi sebesar 2,4808. Oleh karena itu, geometri rangka berbentuk Y direkomendasikan sebagai desain optimal untuk rangka sepeda listrik roda tiga bagi tunadaksa.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tidar beserta semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian serta penyusunan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Pusdatinkesos, "Tahukah kamu jika ada sebanyak 1.033.073 penyandang disabilitas yang sudah terdaftar di DTKS.," 13 Maret 2024. [Online]. Available: https://www.instagram.com/p/C4dR1RVJO7M/. [Diakses 10 April 2026].

[2] A. Swandhani dan D. Wahjudi, "Perancangan Tuas Pada Kursi Roda Untuk Membantu Mobilitas Penyandang Difabel Beraktivitas di Luar," *Gorga : Jurnal Seni Rupa*, pp. 558-565, 2023.

[3] A. Dywanada dan Z. Chumaida, "Pengaturan Kendaraan Modifikasi Untuk Difabel dalam Pengoperasian Lalu Lintas dalam Prespektif Hukum Transportasi," *Media Iuris*, vol. 7, no. 1, pp. 51-68, 2024.

[4] M. Saputra, E. Fitriani, N. Paramyta dan T. Ariyadi, "*Update* Sepeda Biasa Menjadi Sepeda Listrik Menggunakan Arduino Untuk Monitoring Kapasitas Baterai," *Jurnal*

Pendidikan Tambusai, vol. 8, no. 1, pp. 8828-8841, 2024.

[5] N. Jati, G. Prayogo, Y. Silalahi, M. Fikri dan G. Kiswanto, "Stabilitas Manuver Sepeda Roda Tiga: Simulasi dan Analisis," *Prosiding SNTTM XXII 2024*, vol. 22, pp. 446-452, 2024.

[6] M. Ikhsannudin, A. Gamayel dan M. Zaenudin, "Desain dan Analisa Velg Mobil 15 Inch Tipe *Aluminium Alloy* 6061 Melalui Simulasi Pengujian *Dynamic Cornering Fatigue* Sesuai Standar SAE J 328," *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, pp. 6-13, 2024.

[7] Suyitno, Bahan teknik untuk rekayasawan : logam bukan ferro, D.I.Yogyakarta: Pustaka Pranala, 2022.

[8] Menperin, "Permenperin No. 52 Tahun 2024," 15 Oktober 2024. [*Online*]. Available: https://peraturan.bpk.go.id/Details/307968/permenperin-no-52-tahun-2024. [Diakses 10 April 2026].

[9] N. Putra dan A. Harijono, "Analisis Ketahanan Rangka Sepeda MTB Berbahan AISI 4130 Terhadap Variasi Beban dan Ketebalan," *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, vol. 9, no. 6, pp. 1-11, 2025.

[10] Fakhri, S. Mulyono dan I. Nuriskasari, "Analisis Beban Struktur Pada Perancangan Pressure Vessel Separator Untuk Menampung Hydrocarbon Gas/Liquid Dengan Tekanan Desain 80,1 [psi] di PT.X," *Prosiding A Seminar Nasional Teknik Mesin*, pp. 482-491, 2023.

[11] R. Ardika, F. Awalludin, K. Winangun, R. Arifin, Fadelan, Munaji dan Y. Winardi, "Analisa Desain Chassis Mobil Listrik Satu Penumpang Dengan Finite Element Methode," *AutoMech*, vol. 5, no. 2, pp. 68-75, 2025.

[12] D. Wigenaputra, A. Ramdan dan F. Akbar, "Meningkatkan Kapasitas Produksi Susu Kemasan Kaleng Melalui Perancangan Mesin Palletizing," *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 31-37, 2023.

PENGARUH DIAMETER PISTON TERHADAP PERUBAHAN TEMPERATUR SUHU KERJA MESIN PADA MOTOR 4 TAK

Naufal Anwaruddin [1], Imam Prasetyo [1*]

[1] Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Pekajangan Pekalongan

Jl. Raya Pahlawan No.10 Kajen, Kabupaten Pekalongan, Jawa Tengah 51161

imamprasetyo@umpp.ac.id [1]

ABSTRAK

Piston merupakan salah satu komponen utama motor bakar yang berperan dalam menentukan volume silinder, proses kompresi dan ekspansi, serta karakteristik beban termal mesin. Modifikasi diameter piston (*oversize piston*) dapat meningkatkan volume langkah dan memengaruhi proses pembakaran serta temperatur kerja mesin. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi diameter piston terhadap perubahan temperatur kerja mesin sepeda motor. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimental dengan membandingkan piston diameter standar dan piston diameter 58,5 mm pada kondisi operasi yang sama. Pengukuran temperatur dilakukan pada beberapa titik pengamatan selama waktu pengujian 5, 10, dan 15 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa temperatur rata-rata piston standar berturut-turut sebesar 58,84°C, 69,90°C, dan 92,92°C, sedangkan piston diameter 58,5 mm menghasilkan temperatur rata-rata sebesar 66,38°C, 81,47°C, dan 93,50°C. Pada waktu 5 menit, piston 58,5 mm menghasilkan temperatur 7,54°C lebih tinggi dibandingkan piston standar, sedangkan pada 10 menit perbedaannya mencapai 11,57°C. Pada menit ke-15, perbedaan temperatur menurun menjadi 0,58°C. Distribusi temperatur juga menunjukkan perbedaan antar titik pengukuran, dengan temperatur tertinggi pada piston 58,5 mm pada titik B sebesar 99,57°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan diameter piston cenderung meningkatkan temperatur kerja pada fase awal dan menengah pengujian, namun perbedaannya semakin kecil seiring tercapainya kondisi temperatur yang lebih stabil. Temuan ini menunjukkan bahwa modifikasi diameter piston perlu mempertimbangkan aspek performa dan beban termal mesin.

Kata kunci : diameter piston, over size, temperatur mesin, motor 4 tak.

Abstract

The piston is one of the main components of an internal combustion engine that plays an important role in determining cylinder volume, compression and expansion processes, and the thermal load characteristics of the engine. Modification of piston diameter (oversize piston) can increase the swept volume and affect the combustion process and engine operating temperature. This study aims to analyze the effect of piston diameter variation on changes in the operating temperature of a motorcycle engine. An experimental method was employed by comparing a standard piston with a 58.5 mm diameter piston under the same operating conditions. Temperature measurements were conducted at several observation points at testing times of 5, 10, and 15 minutes. The results showed that the average temperatures of the standard piston were 58.84°C, 69.90°C, and 92.92°C, respectively, while the 58.5 mm piston produced average temperatures of 66.38°C, 81.47°C, and 93.50°C. At 5 minutes, the 58.5 mm piston exhibited a temperature 7.54°C higher than the standard piston, while at 10 minutes, the difference reached 11.57°C. At 15 minutes, the temperature difference decreased to 0.58°C. The temperature distribution also varied among the measurement points, with the highest temperature recorded for the 58.5 mm piston at Point B, reaching 99.57°C. The results indicate that increasing the piston diameter tends to increase the engine operating temperature during the initial and intermediate stages of testing; however, the temperature difference decreases as a more stable thermal condition is reached. These findings indicate that piston diameter modification should consider both engine performance and thermal load aspects.

Key words : *piston diameter, over size, engine temperature, 4-stroke motor.*

PENDAHULUAN

Motor bakar merupakan salah satu teknologi konversi energi yang banyak digunakan sebagai penggerak kendaraan karena mampu menghasilkan daya mekanis dari energi kimia bahan bakar melalui proses pembakaran di dalam silinder [1]. Kinerja motor bakar dipengaruhi oleh berbagai parameter, seperti volume langkah, rasio kompresi, jumlah bahan bakar dan udara, putaran mesin, serta karakteristik perpindahan panas selama proses pembakaran. Salah satu komponen utama yang menentukan karakteristik kerja mesin adalah piston atau torak karena gerakannya secara langsung menentukan volume ruang silinder dan berhubungan dengan proses kompresi serta ekspansi gas hasil pembakaran [2]. Perubahan dimensi piston, khususnya diameter piston, menyebabkan perubahan volume langkah dan karakteristik geometris ruang bakar sehingga berpotensi memengaruhi tekanan dan temperatur selama siklus kerja mesin [3]. Oleh karena itu, kajian mengenai pengaruh perubahan diameter piston tidak hanya penting ditinjau dari aspek daya dan torsi, tetapi juga dari aspek temperatur kerja mesin.

Modifikasi diameter piston atau *oversize piston* telah banyak dilakukan dalam pengembangan dan peningkatan performa kendaraan [4]. Perubahan diameter piston dapat meningkatkan volume langkah sehingga jumlah campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke ruang bakar menjadi lebih besar. Kondisi tersebut dapat memengaruhi proses pembakaran, tekanan gas di dalam silinder, dan beban termal komponen mesin. Pratama [5] dalam penelitian melakukan eksperimental dengan variasi diameter piston 52,5 mm, 53 mm, dan 53,5 mm pada sepeda motor Honda Supra X 125. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan diameter piston berpengaruh terhadap torsi, daya, dan konsumsi bahan bakar. Diameter 53,5 mm menghasilkan peningkatan torsi sebesar 12,49%, daya sebesar 7,02%, dan konsumsi bahan bakar sebesar 17,15% dibandingkan kondisi standar. Temuan tersebut menunjukkan bahwa perubahan diameter piston memberikan konsekuensi terhadap karakteristik operasi mesin, tetapi penelitian tersebut belum memasukkan temperatur sebagai parameter utama yang diamati. Selain itu, Mahendra [6] menemukan bahwa penggunaan piston oversize dapat meningkatkan suhu kerja mesin. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi diameter piston tidak hanya berdampak pada performa, tetapi juga pada kondisi termal mesin yang harus diperhatikan untuk menjaga keandalan.

Dari perspektif termal, temperatur piston dan dinding silinder merupakan parameter penting karena berkaitan dengan perpindahan panas, efisiensi termal, tegangan termal, deformasi, dan keandalan komponen mesin [7]. Sharma [8] melakukan analisis termal secara eksperimental pada piston dan dinding silinder mesin diesel empat langkah menggunakan termokopel serta pemodelan *Finite Element Method* (FEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa temperatur piston dan dinding silinder meningkat seiring bertambahnya beban mesin, sedangkan distribusi temperatur pada piston juga berhubungan dengan beban termal yang diterima selama proses pembakaran. Penelitian tersebut menegaskan pentingnya pengukuran temperatur komponen mesin untuk memahami karakteristik perpindahan panas dan menjaga ketahanan piston serta dinding silinder terhadap beban termal.

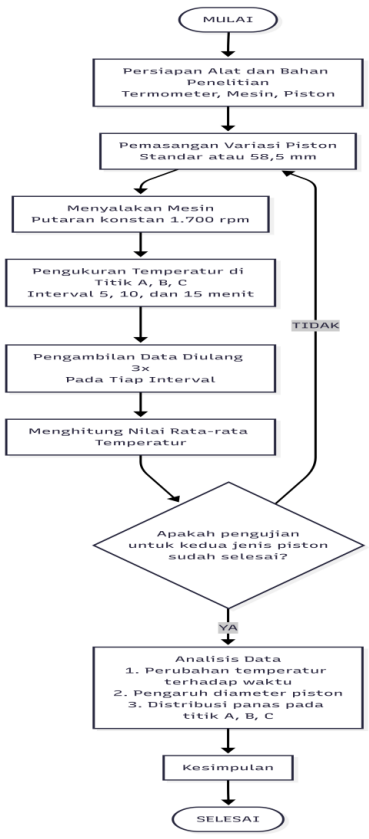
Kajian mengenai perubahan dimensi mesin juga menunjukkan bahwa aspek termal perlu menjadi pertimbangan dalam modifikasi geometri motor bakar. Sroka [9] menganalisis pengaruh *downsizing* terhadap parameter termodinamika dan beban termal mesin, termasuk perubahan diameter silinder. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa perubahan diameter silinder merupakan salah satu bentuk perubahan geometri mesin yang dapat memengaruhi temperatur maksimum campuran udara-bahan bakar, perpindahan panas konveksi, tekanan efektif rata-rata, konsumsi bahan bakar, serta beban termal piston. Bahkan, penelitian tersebut menekankan bahwa optimasi perubahan dimensi mesin harus mempertimbangkan kemungkinan peningkatan beban termal pada piston. Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut terlihat adanya research gap, yaitu penelitian variasi diameter piston pada sepeda motor lebih banyak diarahkan pada parameter performa seperti daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar, sedangkan keterkaitan langsung antara variasi diameter piston dengan perubahan temperatur kerja mesin belum dikaji secara komprehensif dalam penelitian eksperimental yang sama.

Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini menawarkan kebaruan berupa analisis eksperimental hubungan antara variasi diameter piston dan perubahan temperatur kerja mesin, dengan mempertahankan kondisi operasi mesin agar pengaruh perubahan diameter piston dapat diamati secara lebih terukur. Temperatur dapat diamati pada beberapa titik yang representatif, seperti kepala silinder, blok silinder, piston atau area sekitar ruang bakar, serta temperatur gas buang, kemudian dikaitkan dengan perubahan diameter piston dan parameter kinerja mesin. Pendekatan ini diharapkan menghasilkan pemahaman yang lebih menyeluruh mengenai hubungan diameter piston–volume silinder–proses pembakaran–beban termal–kinerja mesin. Dengan demikian, kontribusi penelitian

bukan hanya pada pembuktian pengaruh modifikasi *oversize* terhadap performa, tetapi juga menghasilkan informasi mengenai konsekuensi termal dari perubahan diameter piston. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah dalam menentukan ukuran modifikasi piston yang mampu meningkatkan kinerja mesin tanpa menyebabkan peningkatan temperatur yang berlebihan sehingga mendukung pengembangan teknologi motor bakar yang efektif, efisien, dan memiliki keandalan termal yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen laboratoris [10]. Pendekatan kuantitatif digunakan karena data penelitian berupa data numerik hasil pengukuran temperatur dan parameter kinerja mesin yang selanjutnya dianalisis secara statistik. Metode eksperimen digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan diameter piston terhadap temperatur kerja melalui pemberian perlakuan berupa penggunaan piston dengan diameter yang berbeda, sementara variabel lain dikendalikan agar perubahan hasil pengujian dapat dikaitkan dengan perlakuan tersebut. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilaksanakan menggunakan mesin bensin empat langkah dengan kondisi mesin yang sama untuk setiap perlakuan. Diameter piston menggunakan 2 variasi yaitu diameter standar dan diameter 58,5 mm dengan menyesuaikan spesifikasi mesin. Setiap variasi diuji pada kondisi operasi beban yang beda. Pengukuran temperatur dilakukan menggunakan termometer inframerah *(infrared thermometer)* pada tiga titik pengukuran di kepala silinder, yaitu titik A, titik B, dan titik C seperti pada gambar 2. Pengambilan data dilakukan setelah mesin dihidupkan pada putaran tetap 1.700 rpm, dengan interval waktu pengujian selama 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Untuk memperoleh karakteristik perubahan temperatur dan kinerja mesin secara menyeluruh.

Dalam pelaksanaan penelitian, variasi diameter piston ditempatkan sebagai variabel bebas, sedangkan temperatur kepala silinder menjadi variabel terikat yang diamati. Variabel bebas terdiri atas piston berdiameter standar dan piston berdiameter 58,5 mm. Adapun putaran mesin dan waktu pengamatan ditetapkan sebagai kondisi pengujian yang dijaga agar tetap, yaitu putaran mesin 1.700 rpm serta pengamatan pada menit ke-5, ke-10, dan ke-15. Penetapan kondisi tersebut dimaksudkan agar data dari kedua variasi piston dapat dibandingkan berdasarkan tahapan waktu pengoperasian yang sama.

Sebelum pengambilan data, mesin disiapkan dengan memasang piston sesuai variasi yang akan diuji. Pemeriksaan kondisi pemasangan dilakukan untuk memastikan komponen terpasang sebagaimana mestinya sehingga proses pengujian dapat berlangsung. Setelah persiapan selesai, mesin dioperasikan dan putaran dijaga pada 1.700 rpm. Pengamatan temperatur dilakukan ketika mesin bekerja pada kondisi putaran tersebut. Prosedur yang sama diterapkan pada masing-masing variasi piston agar proses pengumpulan data memiliki alur yang konsisten.

Pengukuran temperatur menggunakan termometer inframerah dilakukan pada tiga titik di bagian kepala silinder, yaitu titik A, titik B, dan titik C. Penentuan beberapa titik pengamatan ini bertujuan untuk memperoleh gambaran distribusi temperatur, karena panas pada kepala silinder tidak selalu tersebar secara merata. Setiap titik diukur pada interval waktu yang telah ditentukan. Dengan demikian, data yang diperoleh tidak hanya menunjukkan perubahan temperatur terhadap lamanya mesin beroperasi, tetapi juga memperlihatkan perbedaan temperatur pada lokasi pengukuran yang berbeda.

Untuk menjaga keterbandingan hasil, pengamatan pada piston standar dan piston berdiameter 58,5 mm dilakukan dengan urutan waktu pengukuran yang sama. Pada setiap variasi,

temperatur dicatat pada menit ke-5, ke-10, dan ke-15. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan sebagaimana diterapkan dalam pengujian, kemudian nilai rata-rata digunakan sebagai data yang mewakili setiap kondisi pengukuran. Penggunaan nilai rata-rata tersebut membantu mengurangi pengaruh variasi pembacaan pada setiap pengulangan dan memudahkan perbandingan ant variasi piston.

Data hasil pengukuran selanjutnya dikelompokkan berdasarkan diameter piston, titik pengukuran, dan waktu pengujian. Pengelompokan ini diperlukan agar perubahan temperatur dapat ditelusuri secara sistematis, baik berdasarkan lamanya mesin beroperasi maupun berdasarkan lokasi pengukuran pada kepala silinder. Data numerik kemudian disusun dalam tabel dan digunakan untuk membuat grafik perbandingan. Penyajian tersebut memudahkan pengamatan terhadap pola kenaikan temperatur serta selisih temperatur antara penggunaan piston standar dan piston berdiameter 58,5 mm.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai temperatur rata-rata pada setiap variasi diameter piston dan setiap interval waktu. Analisis diarahkan untuk melihat kecenderungan kenaikan temperatur dari menit ke-5 hingga menit ke-15, mengidentifikasi titik pengukuran dengan temperatur relatif lebih tinggi, serta mengetahui besar perbedaan temperatur antara kedua variasi piston. Hasil analisis kemudian diinterpretasikan dengan memperhatikan perubahan diameter piston dan kondisi pengoperasian mesin. Pendekatan ini digunakan untuk menjelaskan kecenderungan hasil pengujian berdasarkan data yang diperoleh, tanpa menarik kesimpulan di luar cakupan pengukuran temperatur kepala silinder.



Gambar 2. Titik Pengukuran Suhu

Kemudian untuk analisis data dilakukan secara analisis deskriptif digunakan untuk mengetahui kecenderungan perubahan temperatur dan kinerja mesin akibat perubahan diameter piston. Data disajikan dalam bentuk tabel dan grafik hubungan antara diameter piston dengan temperatur kepala silinder.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian temperatur kepala silinder (*cylinder head*) dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan piston standar dan piston berdiameter 58,5 mm. Pengujian suhu dilakukan dengan putaran mesin stasioner stabil pada angka 1.700 rpm. Dengan menggunakan termometer inframerah, temperatur dipindai pada titik A, B, dan C yang berada di area kepala silinder. Untuk melihat tren perubahan panas, data diambil setiap interval 5, 10, dan 15 menit. Setiap sesi pengambilan data dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Angka rata-rata dari pengulangan inilah yang kemudian dicatat sebagai hasil akhir, sehingga akurasi data lebih terjamin dan margin kesalahan ukur dapat direduksi. Data perbandingan pengukuran temperatur disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Rata-Rata Pengujian Temperatur Mesin

Diameter Piston	Waktu	Titik A	Titik B	Titik C
Diamater Standar	5	38,77 °C	65,97 °C	71,77 °C
	10	48,80 °C	74,83 °C	86,07 °C
	15	83,50 °C	97,43 °C	97,83 °C
Diameter 58,5 mm	5	56,80 °C	74,23 °C	68,10 °C
	10	74,57 °C	84,47 °C	85,37 °C
	15	82,27 °C	99,57 °C	98,67 °C

4. Analisis perubahan temperatur terhadap waktu

Pada piston standar, terlihat bahwa temperatur kepala silinder meningkat seiring bertambahnya waktu pengoperasian mesin. Rata-rata temperatur meningkat dari 58,84°C pada menit ke-5**,** menjadi 69,90°C pada menit ke-10, dan mencapai 92,92°C pada menit ke-15. Dengan demikian, terjadi peningkatan rata-rata sebesar 34,08°C atau sekitar 57,93% dari menit ke-5 sampai menit ke-15. Peningkatan paling besar terjadi pada titik A, yaitu dari 38,77°C menjadi 83,50°C atau meningkat sekitar 115,37%**.** Kondisi ini menunjukkan bahwa semakin lama mesin beroperasi, akumulasi panas pada kepala silinder semakin besar.

Pada piston diameter 58,5 mm, pola yang sama juga terlihat. Rata-rata temperatur meningkat dari 66,38°C pada menit ke-5, menjadi 81,47°C pada menit ke-10, kemudian mencapai 93,50°C pada menit ke-15. Peningkatan rata-rata dari menit ke-5 hingga menit ke-15 adalah 27,13°C atau sekitar 40,87%. Pada variasi ini, peningkatan temperatur relatif lebih merata pada ketiga titik pengukuran

dibandingkan piston standar. Titik A mengalami peningkatan dari 56,80°C menjadi 82,27°C, titik B dari 74,23°C menjadi 99,57°C, sedangkan titik C dari 68,10°C menjadi 98,67°C.

5. Analisis pengaruh diameter piston

Jika dibandingkan pada waktu pengujian yang sama, penggunaan piston 58,5 mm menghasilkan temperatur rata-rata lebih tinggi daripada piston standar pada menit ke-5 dan ke-10. Pada menit ke-5, rata-rata temperatur piston 58,5 mm mencapai 66,38°C, sedangkan piston standar sebesar 58,84°C, sehingga terdapat selisih 7,54°C atau sekitar 12,82%. Pada menit ke-10, selisih semakin besar, yaitu 11,57°C, dengan temperatur rata-rata piston 58,5 mm sebesar 81,47°C dibandingkan 69,90°C pada piston standar. Hal ini menunjukkan adanya kecenderungan bahwa peningkatan diameter piston menyebabkan temperatur kerja kepala silinder meningkat pada fase awal hingga pertengahan pengujian.

Namun, pada menit ke-15, perbedaan temperatur rata-rata kedua variasi piston menjadi sangat kecil. Piston standar menghasilkan temperatur rata-rata 92,92°C, sedangkan piston 58,5 mm mencapai 93,50°C, dengan selisih hanya 0,58°C. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa setelah mesin beroperasi lebih lama, temperatur kedua variasi piston cenderung mendekati kondisi temperatur yang relatif stabil atau menuju keseimbangan termal.

6. Analisis pada setiap titik pengukuran

Perbedaan temperatur antar titik menunjukkan adanya distribusi panas yang tidak seragam pada kepala silinder. Pada piston standar, titik C merupakan lokasi dengan temperatur tertinggi pada menit ke-5 dan ke-10, masing-masing sebesar 71,77°C dan 86,07°C. Namun pada menit ke-15, temperatur tertinggi berada pada titik C sebesar 97,83°C, sangat dekat dengan titik B sebesar 97,43°C.

Pada piston 58,5 mm, titik B menjadi lokasi dengan temperatur tertinggi pada menit ke-15, yaitu 99,57°C, diikuti titik C sebesar 98,67°C dan titik A sebesar 82,27°C. Perbedaan temperatur antar titik ini dapat dipengaruhi oleh posisi masing-masing titik terhadap ruang pembakaran, saluran pendinginan, aliran panas, dan karakteristik perpindahan panas pada kepala silinder.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan piston berdiameter 58,5 mm memberikan pengaruh terhadap peningkatan temperatur kerja mesin dibandingkan piston standar, terutama pada fase awal hingga pertengahan pengoperasian mesin. Peningkatan temperatur tersebut merupakan akibat langsung dari bertambahnya volume silinder yang memungkinkan lebih banyak campuran udara dan bahan bakar masuk ke ruang bakar sehingga menghasilkan energi panas yang lebih besar pada setiap siklus pembakaran. Namun demikian, setelah mesin mencapai temperatur operasi normal, perbedaan temperatur antara kedua mesin menjadi sangat kecil. Hal ini mengindikasikan bahwa modifikasi piston lebih berpengaruh terhadap laju kenaikan temperatur (*rate of heating*) daripada terhadap temperatur operasi maksimum mesin.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa temperatur kepala silinder pada kedua variasi piston meningkat seiring bertambahnya waktu pengoperasian mesin. Pada piston standar, temperatur rata-rata meningkat dari 58,84°C pada menit ke-5 menjadi 92,92°C pada menit ke-15, sedangkan pada piston diameter 58,5 mm meningkat dari 66,38°C menjadi 93,50°C. Peningkatan tersebut menunjukkan adanya akumulasi panas selama mesin beroperasi hingga mendekati kondisi keseimbangan termal. Piston diameter 58,5 mm menghasilkan temperatur rata-rata lebih tinggi pada menit ke-5 dan ke-10 dibandingkan piston standar, masing-masing dengan selisih 7,54°C dan 11,57°C. Namun, pada menit ke-15 perbedaannya hanya 0,58°C, sehingga temperatur kedua variasi cenderung mendekati kondisi yang sama setelah pengoperasian lebih lama.

Selain itu, distribusi temperatur pada kepala silinder tidak seragam pada setiap titik pengukuran. Pada piston standar, temperatur tertinggi cenderung terjadi pada titik C, sedangkan pada piston diameter 58,5 mm temperatur tertinggi pada menit ke-15 terjadi di titik B sebesar 99,57°C. Perbedaan temperatur antar titik dipengaruhi oleh karakteristik distribusi panas pada kepala silinder, terutama kedekatan terhadap ruang pembakaran dan mekanisme perpindahan panas. Dengan demikian, peningkatan diameter piston 58,5 mm menunjukkan kecenderungan meningkatkan temperatur kepala silinder pada tahap awal hingga pertengahan pengujian, tetapi pengaruh tersebut semakin kecil setelah mesin mencapai kondisi temperatur yang relatif stabil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Pekajangan Pekalongan, khususnya Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Penulis

juga menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama proses persiapan, pelaksanaan pengujian, pengambilan data, hingga penyusunan artikel penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang teknik mesin, khususnya terkait karakteristik termal dan modifikasi komponen motor bakar empat langkah.

DAFTAR PUSTAKA

[1] T. J. Saputra, R. Irawan, P. Studi, S. Teknik, dan F. Teknik, "Pengaruh Suhu Terhadap Tenaga Mesin Honda BEAT FI K81," vol. 2, no. 3, hal. 88–93, 2023.

[2] R. F. Saepuddin, Ahmad Tjiptady, Bella Cornelia Pradhana, Candra Rohman, Mojibur Meditama, "Pengaruh Modifikasi Knalpot Terhadap Performa dan Suhu Mesin Pada Sepeda Motor Satria F150," *G-Tech J. Teknol. Terap.*, vol. 7, no. 1, hal. 280–288, 2023, doi: 10.33379/gtech.v7i1.1928.

[3] B. C. Purnomo dan S. Munahar, "Pengaruh Tekanan Kompresi Terhadap Daya Dan Torsi Pada Engine Single Piston," *J. Quantum Tek.*, vol. 1, no. 1, hal. 14–18, 2019, doi: 10.18196/jqt.010103.

[4] F. Fatra, J. Suwignyo, dan A. Aziz, "Efektivitas Pergantian Diameter Piston Terhadap Performa Mesin Sepeda Motor 4 Tak," *J. Automot. Technol. Vacat. Educ.*, vol. 04, no. 1, hal. 40–52, 2023.

[5] I. G. Billy, A. Pratama, I. G. Wiratmaja, dan N. A. Wigraha, "Pengaruh Variasi Diameter Torak terhadap Performansi Sepeda Motor Bertransmisi Manual," *QUANTUM Tek.*, vol. 5, no. 1, hal. 14–20, 2023.

[6] E. R. A. Mahendra, I. M. Mara, dan R. Sutanto, "Analisis Eksperimental Pengaruh Variasi Ketinggian Dome Piston terhadap Performa Mesin 4-Tak," *IRA J. Tek. Mesin dan Apl.*, vol. 4, no. 2, hal. 73–81, 2025.

[7] M. Z. Zakhroni dan I. A. Pahlawan, "Analisis Pengaruh Perubahan Ukuran Piston Oversize Dari Standar Pabrik Pada Sepeda Motor Matic Vario 150 CC," *J. Teknol. dan Manaj. Ind. Terap. (JTMIT*, vol. 5, no. 2, hal. 1155–1161, 2026.

[8] S. K. Sharma, P. K. Saini, dan N. K. Samria, "Experimental Thermal Analysis of Diesel Engine Piston and Cylinder Wall," *J. Eng.*, vol. 2015, hal. 1–10, 2015, doi: 10.1155/2015/178652.

[9] Z. J. Sroka, "Some Aspects of Thermal Load and Operating Indexes After Downsizing For Internal Combustion Engine," *J Therm Anal Calorim*, hal. 51–58, 2012, doi: 10.1007/s10973-011-2064-x.

[10] A. Jedun, "Metodologi Penelitian Eksperimen," Yogyakarta: Fakultas Teknik dan Lembaga Penelitian Universitas Negeri Yogyakarta (UNY), 2011, hal. 38–47.

PENGARUH KOMPOSISI PENGUAT DAN TEKANAN KOMPAKSI TERHADAP KEKERASAN DAN DENSITAS KOMPOSIT ALUMINIUM KAMPAS REM

Sukanto [1], Samukri [2*], Harwadi [1], Mego Wahyudi [1]

[1] Jurusan Rekaya Mesin, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

[2] Program Studi D-IV Teknik Mesin dan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Kawasan Industri Air Kantung, Sungailiat, Bangka, Kepulauan Bangka Belitung

samukridamar19@gmail.com [1]

Abstrak

Pengembangan kampas rem non-asbes memerlukan material yang memiliki kekerasan memadai dengan densitas yang tetap dapat dikendalikan. Penelitian ini mengevaluasi komposit matriks aluminium yang diperkuat campuran serbuk kuningan, serbuk besi, dan *coconut shell ash* (CSA) melalui proses metalurgi serbuk. Fraksi penguat divariasikan sebesar 5%, 11%, dan 17%, sedangkan tekanan kompaksi dua arah ditetapkan pada 5600, 6000, dan 6400 psi. Pemaduan mekanik dilakukan menggunakan *horizontal ball mill* selama 4 jam pada 90 rpm dengan *ball-to-powder ratio* 10:1. Sebanyak 27 spesimen diuji; kekerasan diukur dengan alat uji portabel mengacu ASTM E110-14, sedangkan densitas ditentukan menggunakan prinsip Archimedes mengacu ASTM B962-17. Perhitungan kembali data mentah menunjukkan rerata kekerasan berdasarkan tekanan meningkat dari 91,11 HB pada 5600 psi menjadi 123,04 HB pada 6000 psi dan 137,33 HB pada 6400 psi. Rerata kombinasi tertinggi sebesar 144,67 HB diperoleh pada penguat 17% dan tekanan 6400 psi. Respons densitas bersifat tidak linier, dengan rerata kombinasi tertinggi 1,431 g/cm³ pada penguat 5% dan tekanan 6400 psi. Hasil ini menunjukkan bahwa tekanan kompaksi memiliki hubungan yang lebih jelas dengan kekerasan dibandingkan densitas, sedangkan fraksi penguat dan distribusi partikel tetap memengaruhi respons material.
.

Kata kunci : *coconut shell ash*, kampas rem, kekerasan, komposit matriks aluminium, tekanan kompaksi.

Abstract

Non-asbestos brake-pad development requires materials with adequate hardness while retaining a controllable density. This study evaluates aluminum-matrix composites reinforced with a mixture of brass powder, iron powder, and coconut shell ash (CSA) produced by powder-metallurgy processing. The reinforcement fraction was varied at 5%, 11%, and 17%, while two-direction compaction pressure was set at 5600, 6000, and 6400 psi. Mechanical alloying was carried out in a horizontal ball mill for 4 h at 90 rpm with a ball-to-powder ratio of 10:1. Twenty-seven specimens were evaluated; hardness was measured using a portable tester referring to ASTM E110-14, while density was determined by the Archimedes method referring to ASTM B962-17. Recalculation of the raw data showed that mean hardness across pressures increased from 91.11 HB at 5600 psi to 123.04 HB at 6000 psi and 137.33 HB at 6400 psi. The highest combination mean was 144.67 HB at 17% reinforcement and 6400 psi. Density showed a non-linear response, with the highest combination mean of 1.431 g/cm³ at 5% reinforcement and 6400 psi. These results indicate that compaction pressure has a clearer relationship with hardness than with density, while reinforcement fraction and particle distribution still influence the final response.

Key words : *aluminum matrix composite, brake pad, coconut shell ash, compaction pressure, hardness.*

PENDAHULUAN

Kampas rem bekerja melalui kontak gesek untuk menurunkan kecepatan kendaraan, sehingga karakter material penyusunnya perlu mendukung ketahanan terhadap deformasi dan pemakaian berulang. Pengembangan material *non-asbestos* mendorong penggunaan komposit yang mampu memadukan matriks logam dengan penguat berbasis serbuk. Komposit matriks aluminium menjadi salah satu pilihan karena aluminium relatif ringan, mudah diproses, dan dapat dikombinasikan dengan penguat untuk mengubah kekerasan maupun karakter fisiknya [1], [2].

Metode metalurgi serbuk banyak digunakan pada pengembangan komposit matriks aluminium karena komposisi bahan dapat diatur sejak tahap pencampuran, kemudian campuran dipadatkan untuk membentuk specimen [3]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa tekanan kompaksi dapat memengaruhi densitas dan kekerasan material, walaupun besar pengaruhnya dapat berbeda bergantung pada jenis penguat, ukuran partikel, homogenitas campuran, dan kondisi proses [2], [4].

Pemanfaatan limbah pertanian sebagai penguat juga berkembang karena dapat menambah nilai guna material yang sebelumnya kurang dimanfaatkan [5]. *Coconut shell ash* (CSA) mengandung fase mineral yang dapat berperan sebagai partikel penguat atau pengisi pada matriks aluminium [6]. Kajian pada komposit aluminium-CSA melaporkan perubahan kekerasan dan densitas setelah penambahan CSA, tetapi responsnya dipengaruhi oleh kadar penguat dan proses fabrikasi yang digunakan [7], [8].

Penelitian ini menggunakan alumunium sebagai matriks dengan campuran serbuk kuningan, serbuk besi, dan CSA sebagai penguat. Kebaruan praktis penelitian terletak pada penggunaan tiga jenis penguat secara bersamaan dengan variasi fraksi total 5%, 11%, dan 17% serta tekanan kompaksi 5600, 6000, dan 6400 psi. Tujuan penelitian adalah menganalisis kecenderungan perubahan kekerasan dan densitas akibat variasi komposisi penguat dan tekanan kompaksi, serta menentukan kombinasi yang menghasilkan respons tertinggi pada data pengujian yang tersedia.

METODE PENELITIAN

1. Rancangan Penelitian

Penelitian menggunakan rancangan faktorial dengan dua faktor. Faktor pertama adalah fraksi total penguat, yaitu 5%, 11%, dan 17%, sedangkan faktor kedua adalah tekanan kompaksi, yaitu 5600, 6000, dan 6400 psi. Masing-masing kombinasi dibuat tiga spesimen sehingga diperoleh 27 spesimen. Fraksi aluminium yang bersesuaian dengan variasi penguat adalah 95%, 89%, dan 83%. Rancangan perlakuan ditunjukkan pada Tabel 1.

2. Bahan dan Proses Pembuatan

Bahan utama yang digunakan adalah serbuk aluminium pasaran sebagai matriks, sedangkan serbuk kuningan (CuZn), serbuk besi (Fe), dan *Coconut Shell Ash* (CSA) digunakan sebagai penguat. CSA yang digunakan pada penelitian ini disiapkan pada ukuran *mesh* 80. Serbuk aluminium, kuningan, dan CSA ditunjukkan berturut-turut pada Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3.

Tabel 1. Rancangan faktorial penelitian

Komposisi Al:penguat	Tekanan (psi)
95% : 5%	5600
95% : 5%	6000
95% : 5%	6400
89% : 11%	5600
89% : 11%	6000
89% : 11%	6400
83% : 17%	5600
83% : 17%	6000
83% : 17%	6400



Gambar 1. Serbuk Aluminium



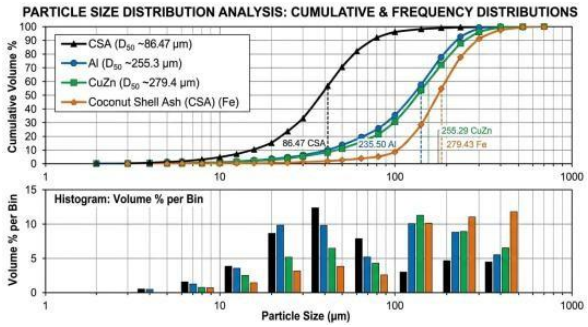
Gambar 2. Serbuk Serbuk Kuningan (CuZn)

Pemaduan mekanik dilakukan menggunakan *horizontal ball mill* pada kecepatan 90 rpm selama 4 jam dengan *Ball-to-Powder Ratio* (BPR) 10:1. Berdasarkan hasil *Particle Size Analysis* pada laporan penelitian, ukuran median partikel (D50) CSA sebesar 86,47 µm, CuZn 255,29 µm, aluminium 235,50 µm, dan Fe 279,43 µm.



Gambar 3. Serbuk *Coconut Shell Ash* (CSA) *mesh* 80

Gambar 4 menunjukkan distribusi kumulatif dan frekuensi ukuran partikel bahan penyusun komposit. Nilai D50 menunjukkan bahwa CSA memiliki ukuran median partikel paling kecil, yaitu 86,47 µm, diikuti aluminium 235,50 µm, CuZn 255,29 µm, dan Fe 279,43 µm. Perbedaan ukuran partikel tersebut memungkinkan partikel CSA yang lebih halus mengisi sebagian celah di antara partikel logam yang lebih besar, sehingga distribusi ukuran partikel berpotensi memengaruhi kerapatan dan homogenitas campuran [9].



Gambar 4 Distribusi ukuran partikel bahan penyusun komposit

Campuran serbuk dipadatkan dengan sistem penekanan dua arah menggunakan cetakan berbentuk cincin, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Variasi tekanan yang digunakan adalah 5600, 6000, dan 6400 psi dengan waktu tahan 15 menit. Pembahasan pada artikel ini difokuskan pada data pra-sintering yang tersedia pada laporan proyek akhir, sehingga hasil yang dibahas merupakan karakter awal hasil pencampuran dan kompaksi, bukan validasi akhir performa kampas rem pada kondisi operasi.



Gambar 5. Hasil cetakan spesimen komposit

3. Pengujian dan Pengolahan Data

Kekerasan diukur pada tiga titik permukaan setiap spesimen menggunakan alat uji kekerasan portabel dengan acuan ASTM E110-14 [10]. Nilai tiga titik kemudian dirata-ratakan untuk mewakili kekerasan satu spesimen. Untuk menghindari kesalahan penyalinan pada kolom rerata di laporan, rerata pada artikel ini dihitung kembali dari tiga nilai pengukuran mentah setiap specimen.

Densitas ditentukan dengan prinsip Archimedes mengacu ASTM B962-17 [11]. Massa spesimen diukur dalam kondisi kering dan saat tersuspensi di dalam air. Densitas dihitung dengan Persamaan (1), dengan m_s sebagai massa kering, m^g sebagai massa tersuspensi, dan ρH_2O sebagai densitas air.

$$\rho = m_s / (m_s - m^g) \times \rho H_2O \quad \text{..... (1)}$$

Data selanjutnya dikelompokkan berdasarkan sembilan kombinasi perlakuan. Setiap nilai pada Tabel 2 merupakan rerata dari tiga spesimen pada kombinasi yang sama. Pengolahan ini digunakan untuk memperjelas kecenderungan pengaruh komposisi penguat dan tekanan kompaksi terhadap dua respons yang diamati.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Kekerasan Komposit

Hasil Hasil pengolahan ulang menunjukkan bahwa tekanan kompaksi memberikan kecenderungan yang paling jelas terhadap kekerasan. Jika seluruh komposisi dirata-ratakan, kekerasan meningkat dari 91,11 HB pada 5600 psi menjadi 123,04 HB pada 6000 psi dan 137,33 HB pada 6400 psi. Kecenderungan ini sejalan dengan

penelitian AMC lain yang menunjukkan bahwa peningkatan tekanan kompaksi dapat memperbesar kontak antarpartikel dan menaikkan kekerasan setelah serbuk dipadatkan [2], [12].

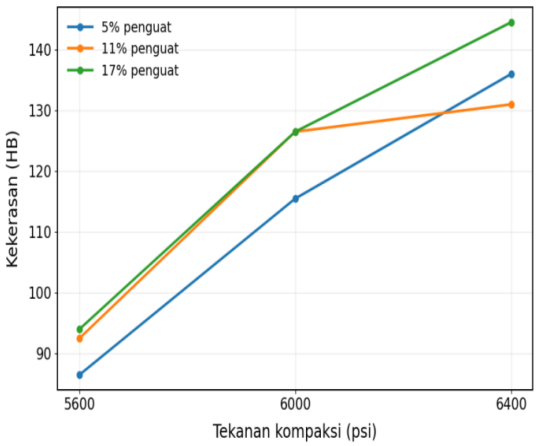
Tabel 2. Rerata hasil pengujian pada setiap kombinasi perlakuan

Penguat / tekanan	Kekerasan (HB)	Densitas (g/cm³)
5% / 5600	86,67	1,277
5% / 6000	115,78	1,253
5% / 6400	136,22	1,431
11% / 5600	92,44	1,224
11% / 6000	126,89	1,197
11% / 6400	131,11	1,289
17% / 5600	94,22	1,260
17% / 6000	126,44	1,260
17% / 6400	144,67	1,332

Pada level komposisi, rerata kekerasan seluruh tekanan meningkat bertahap dari 112,89 HB pada penguat 5%, menjadi 116,81 HB pada 11%, dan 121,78 HB pada 17%. Meskipun demikian, kenaikannya tidak selalu seragam pada setiap tekanan. Hal ini menunjukkan bahwa fraksi penguat tidak bekerja secara terpisah dari proses kompaksi; distribusi partikel, ukuran partikel, dan keseragaman campuran ikut menentukan respons lokal permukaan terhadap penetrasi [4].

Kombinasi dengan rerata kekerasan tertinggi adalah penguat 17% pada 6400 psi sebesar 144,67 HB. Pada data per spesimen, nilai tertinggi mencapai 155 HB pada salah satu spesimen penguat 11%–6000 psi dan salah satu spesimen penguat 17%–6400 psi. Perbedaan antara nilai maksimum spesimen dan rerata kombinasi penting diperhatikan karena satu nilai tinggi belum selalu menunjukkan kestabilan proses. Penelitian sejenis pada AMC juga memperlihatkan bahwa komposisi dan tekanan dapat menghasilkan perubahan kekerasan yang berbeda akibat kondisi distribusi penguat [13], [14].

Nilai kekerasan yang tinggi belum cukup untuk menyatakan material langsung layak sebagai kampas rem. Beberapa penelitian kampas rem komposit menggunakan kekerasan sebagai salah satu indikator, tetapi tetap memerlukan pengujian lain seperti keausan, koefisien gesek, dan stabilitas termal untuk mengevaluasi performa pada kontak pengereman [1], [15]. Oleh karena itu, hasil kekerasan penelitian ini lebih tepat digunakan sebagai tahap penyaringan komposisi untuk pengujian lanjutan.



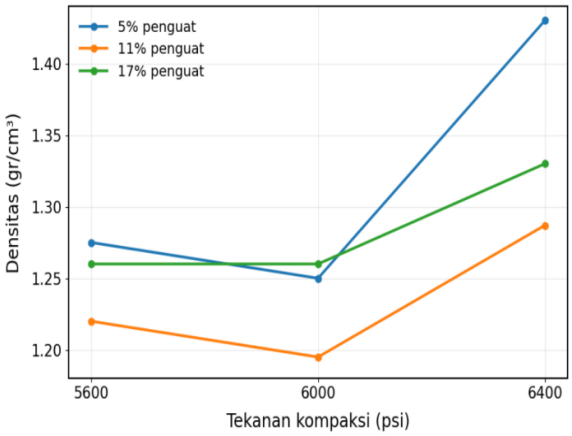
Gambar 6 Pengaruh tekanan kompaksi terhadap rerata kekerasan

2. Densitas Komposit

Berbeda dengan kekerasan, respons densitas tidak menunjukkan kenaikan yang benar-benar linier. Rerata densitas berdasarkan tekanan adalah 1,254 g/cm³ pada 5600 psi, turun sedikit menjadi 1,236 g/cm³ pada 6000 psi, kemudian meningkat menjadi 1,351 g/cm³ pada 6400 psi. Nilai ini menunjukkan bahwa penambahan tekanan dapat membantu pemadatan, tetapi hasil akhirnya tetap dipengaruhi oleh rongga, distribusi partikel, serta perbedaan densitas masing-masing bahan penyusun. [16], [17].

Jika dilihat berdasarkan fraksi penguat, densitas rata-rata adalah 1,320 g/cm³ pada 5%, 1,237 g/cm³ pada 11%, dan 1,284 g/cm³ pada 17%. Respons tidak linier tersebut sesuai dengan karakter komposit yang mengandung CSA karena penambahan partikel berbasis abu dapat menurunkan densitas bulk, sedangkan porositas dan kualitas dispersi dapat mengubah selisih antara densitas teoritis dan densitas aktual [17], [18].

Rerata kombinasi densitas tertinggi diperoleh pada penguat 5% dan tekanan 6400 psi sebesar 1,431 g/cm³, sedangkan nilai spesimen tertinggi pada kombinasi yang sama mencapai 1,658 g/cm³. Hasil ini memperlihatkan bahwa tekanan 6400 psi mampu menghasilkan densitas tertinggi pada sebagian kondisi, tetapi fraksi penguat yang lebih besar tidak otomatis menghasilkan material yang lebih rapat. Ukuran CSA yang lebih kecil dibandingkan serbuk Fe, CuZn, dan aluminium berpotensi membantu pengisian celah, namun penggumpalan atau distribusi yang tidak seragam tetap dapat membentuk pori.



Gambar 7 Pengaruh tekanan kompaksi terhadap rerata densitas

3. Implikasi terhadap Kandidat Material Kampas Rem

Secara keseluruhan, tekanan 6400 psi menghasilkan rerata kekerasan dan densitas tertinggi jika seluruh variasi komposisi digabungkan. Namun, komposisi yang memberikan kekerasan tertinggi berbeda dengan komposisi yang menghasilkan densitas tertinggi. Penguat 17% pada 6400 psi memberikan rerata kekerasan terbesar, sedangkan penguat 5% pada 6400 psi memberikan rerata densitas terbesar. Kondisi ini menunjukkan adanya kompromi antara peningkatan kekerasan dan perubahan kerapatan material.

Temuan tersebut sejalan dengan prinsip pengembangan komposit hibrid bahwa penambahan penguat tidak selalu memberikan satu arah perubahan pada seluruh sifat material. Penelitian berbasis CSA melaporkan bahwa penambahan abu tempurung kelapa dapat menaikkan kekerasan sekaligus mengubah densitas, sedangkan besarnya perubahan sangat dipengaruhi oleh kadar penguat dan kondisi proses [7], [8]. Dengan demikian, pemilihan komposisi untuk kampas rem sebaiknya tidak hanya didasarkan pada nilai kekerasan tertinggi, tetapi dilanjutkan dengan uji keausan, koefisien gesek, ketahanan panas, serta pengamatan struktur mikro. [18], [19].

4. Hasil Perbandingan Penelitian Terdahulu

Hasil penelitian ini menunjukkan pola yang berbeda jika dibandingkan dengan beberapa penelitian komposit matriks aluminium untuk kampas rem. Ridani dkk. [1] melaporkan kekerasan tertinggi 73,66 HB dan densitas 2,498 g/cm³ pada komposit yang diperkuat pasir silika hibrid. Penelitian Asep dkk. [12] juga menunjukkan peningkatan sifat setelah proses sintering, dengan kekerasan mencapai 71,8 HB dan densitas 2,368 g/cm³. Nilai tersebut tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan penelitian ini karena jenis penguat, kondisi kompaksi, tahapan proses, dan kondisi pengujiannya berbeda.

Tabel 3. Perbandingan hasil utama dengan penelitian terdahulu.

Studi	Kekerasan (HB)	Densitas (g/cm3)
Ridani dkk, [1]	73,66	2,498
Asep dkk, [5]	71,8	2,368
Penelitian ini*	144,67	1,431

**Nilai penelitian ini merupakan rerata kombinasi perlakuan tertinggi pada data pra-sintering.*

Rerata kekerasan tertinggi pada penelitian ini lebih besar dibandingkan angka yang dilaporkan pada dua penelitian tersebut, sedangkan densitasnya lebih rendah. Perbedaan ini tidak serta-merta menunjukkan material yang lebih baik atau lebih buruk. Kekerasan hanya menggambarkan ketahanan permukaan terhadap penetrasi, sedangkan densitas berkaitan dengan kerapatan material dan keberadaan pori. Komposisi serbuk kuningan dan besi yang digunakan bersama CSA juga memberikan karakter yang berbeda dari penguat berbasis silika, SiC, atau abu pertanian pada penelitian lain [1],[12].

Selain itu, data yang dianalisis pada artikel ini merupakan data pra-sintering yang tersedia pada laporan proyek akhir. Karena sintering dapat meningkatkan ikatan antarpartikel, mengurangi sebagian porositas, dan mengubah respons mekanik, hasil pra-sintering lebih tepat diposisikan sebagai gambaran awal dari pengaruh komposisi dan tekanan kompaksi. Dengan demikian, tahap berikutnya yang paling penting bukan hanya mencari nilai kekerasan yang lebih tinggi, tetapi memverifikasi konsistensi hasil setelah sintering serta menghubungkannya dengan laju keausan dan koefisien gesek yang merupakan parameter utama dalam aplikasi kampas rem.

KESIMPULAN

Variasi komposisi penguat dan tekanan kompaksi menghasilkan perubahan kekerasan dan densitas komposit matriks aluminium. Tekanan kompaksi menunjukkan kecenderungan yang paling jelas terhadap kekerasan, dengan rerata keseluruhan meningkat dari 91,11 HB pada 5600 psi menjadi 137,33 HB pada 6400 psi. Kombinasi penguat 17% dan tekanan 6400 psi menghasilkan rerata kekerasan tertinggi sebesar 144,67 HB, sedangkan nilai spesimen tertinggi mencapai 155 HB. Densitas menunjukkan respons yang tidak linier; rerata kombinasi tertinggi sebesar 1,431 g/cm³ dan nilai spesimen tertinggi 1,658 g/cm³ sama-sama diperoleh pada penguat 5% dan tekanan 6400 psi. Hasil ini

menunjukkan bahwa tekanan tinggi dapat mendukung pemadatan dan peningkatan kekerasan, tetapi fraksi penguat, homogenitas, serta distribusi partikel tetap menentukan karakter material. Komposit yang dihasilkan dapat dijadikan kandidat awal untuk pengembangan kampas rem *non-asbestos*, namun kelayakan aplikasinya masih memerlukan pengujian tribologi dan termal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Pimpinan Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah mendanai penelitian ini melalui BIMA 2025 dengan Surat Keputusan: 059/C/DT.50.00/KPA/ 2025, tertanggal 08 Juli 2025, dengan kontrak: 161/C3/DT.05.00/PL-BATCHII/2025.

DAFTAR PUSTAKA

[1] H. N. Ridani, S. Sukanto, and R. Rodika, "Kajian Komposit Matrik Alumunium Untuk Kampas Rem Sepeda Motor Diperkuat Pasir Silika Hibrid (SiO2/BA/RHA) Dengan Metode Metalurgi Serbuk," Jurnal Inovasi Teknologi Terapan, vol. 3, no. 1, pp. 36–42, 2025, doi: 10.33504/jitt.v3i1.245.

[2] Sukanto, S., Wahyudie, I. A., Erwanto, E., Oktriadi, Y., Rodika, R., Irwansyah, R., … Algaza, H. T. (2024). Fabrication of Aluminium Matrix Composite Powder Reinforced with Silicon Dioxide Tailings for Non-Asbestos Brake Pads (NOB). Jurnal Penelitian Pendidikan IPA, 10(10), 7696 7704.https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i10.9208.

[3] V. Chak, H. Chattopadhyay, and T. L. Dora, "A review on fabrication methods, reinforcements and mechanical properties of aluminum matrix composites," Journal of Manufacturing Processes, vol. 56, pp. 1059–1074,2020, doi: 10.1016/j.jmapro.2020.05.042.

[4] Sukanto, R. Soenoko, W. Suprapto, and Y. S. Irawan, "Characterization of aluminium matrix composite of Al-ZnSiFeCuMg alloy reinforced with silica sand tailings particles," *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, vol. 14, no. 3, pp. 7094–7108, 2020, doi: 10.15282/jmes.14.3.2020.11.0556.

[5] Sukanto, W. Suprapto, R. Soenoko, and Y. S. Irawan, "The effect of milling time on the alumina phase transformation in the AMCs powder metallurgy reinforced by silica-sand-tailings," *Eureka: Physics and Engineering*, no. 1, pp. 103–117, 2022, doi: 10.21303/2461-4262.2022.001906.

[6] A. P. Murali, K. R. Kannan, K. V. Shankar, K. G. Krishnan, S. Kannan, B. Sankar, R. Kumar, and S. Karuppaiah, "Influence of ageing time on the microstructural and mechanical behaviour of Al-Si-Mg/coconut shell ash metal matrix composite," Scientific Reports, vol. 16, art. no. 6629, 2026, doi: 10.1038/s41598-026-35796-9.

[7] L. J. Kumar, V. J. S., J. P. Ganjigatti, G. Irfan, and R. Thara, "Investigation of mechanical properties of Al6061 with reinforcement of coconut shell ash and graphene metal matrix composites," Materials Today: Proceedings, vol. 92, pt. 1, pp. 413–417, 2023, doi: 10.1016/j.matpr.2023.05.529.

[8] S. Tejyan, A. K. Tiwari, N. Kumar, V. Singh, and B. Gangil, "Influence of coconut shell ash and cow dung ash reinforcement on the mechanical properties of aluminum alloy composites synthesized by stir casting," Materials Today: Proceedings, 2024, doi: 10.1016/j.matpr.2024.05.099.

[9] G. T. Sudha, B. Stalin, M. Ravichandran, and M. Balasubramanian, "Mechanical properties, characterization and wear behavior of powder metallurgy composites – A review," Materials Today: Proceedings, vol. 22, pp. 2582–2596, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.03.389.

[10] ASTM International, ASTM E110-14, Standard Test Method for Rockwell and Brinell Hardness of Metallic Materials by Portable Hardness Testers. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2023, https://store.astm.org/e0110-14.html.

[11] ASTM International, ASTM B962-17, Standard Test Methods for Density of Compacted or Sintered Powder Metallurgy (PM) Products Using Archimedes' Principle. West Conshohocken, PA, USA: ASTM International, 2017, https://doi.org/10.1520/B0962-17.

[12] M. Asep, Sugiyarto, Somawardi, A. Rusdy, and Sukanto, "Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Panas Terhadap Densitas Dan Kekerasan AMC Diperkuat SiO2," Machine: Jurnal Teknik Mesin, vol. 9, no. 1, pp. 1–7, 2023, doi: 10.33019/jm.v9i1.3606.

[13] J. M. Torralba, C. E. da Costa, and F. Velasco, "P/M aluminum matrix composites: An overview," Journal of Materials Processing Technology, vol. 133, no. 1–2, pp. 203–206, 2003, doi: 10.1016/S0924-0136(02)00234-0.

[14] K. Maclin John Vasanth, P. S. Lokendar Ram, V. Pon Anand, M. Prabu, and S. Rahul, "Experimental investigation of mechanical and tribological properties of Aluminium metal matrix composites fabricated by powder metallurgy route – A review," Materials Today: Proceedings, vol. 33, pp. 1058–1072, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.07.057.

[15] Sukanto, Erwanto, Husman, Erwansyah, Rodika, Y. Oktriadi, E. Yudo, and Ardiansyah, "Evaluation of hardness and dry sliding wear performance of Al/BA-silica sand composites as brake friction materials," *Jurnal Polimesin*, vol. 24, no. 3, pp. 482–488, Jun. 2026, https://doi.org/10.30811/jpl.v24i3.8952.

[16] U. K. Annigeri and G. B. Veeresh Kumar, "Effect of reinforcement on density, hardness and wear behaviour of aluminium metal matrix composites: A review," Materials Today: Proceedings, vol. 5, no. 5, part 2, pp. 11233–11237,2018, doi:10.1016/j.matpr.2018.02.002.

[17] S. Tejyan, A. K. Tiwari, N. Kumar, V. Singh, and B. Gangil, "Influence of coconut shell ash and cow dung ash reinforcement on the mechanical properties of aluminum alloy composites synthesized by stir casting," Materials Today: Proceedings, 2024, doi: 10.1016/j.matpr.2024.05.099.

[18] K. K. Sadhu, N. Mandal, and R. R. Sahoo, "SiC/graphene reinforced aluminum metal matrix composites prepared by powder metallurgy: A review," Journal of Manufacturing Processes, vol. 91, pp. 10–43, 2023, doi: 10.1016/j.jmapro.2023.02.026.

[19] A. M. Sankhla, K. M. Patel, M. A. Makhesana, K. Giasin, D. Y. Pimenov, S. Wojciechowski, and N. Khanna, "Effect of mixing method and particle size on hardness and compressive strength of aluminium based metal matrix composite prepared through powder metallurgy route," Journal of Materials Research and Technology, vol. 18, pp. 282–292, 2022, doi: 10.1016/j.jmrt.2022.02.094.

[20] A. H. Fikri, S. Wiryono, and M. Subhan, "Penyelidikan Kampas Rem Komposit Matriks Aluminium Diperkuat Boiler-Fly-Ash dan Silika Terhadap Nilai Densitas dan Kekerasannya," Infotekmesin, vol. 16, no. 2, pp. 477–484, 2025, doi: 10.35970/infotekmesin.v16i2.2561.

Petunjuk Umum

Panjang maksimal sebuah jurnal ilmiah adalah 6 - 8 halaman dengan penulisan spasi tunggal, *justify*, huruf Times New Roman ukuran 10 point *reguler* dan format penulisan kolom *double*. Artikel ilmiah menggunakan kertas ukuran A4 (210 x 297 mm) dengan penulisan batas tepi kiri, atas, kanan, dan bawah, secara berurutan masing-masing adalah 3 cm, 2.5 cm, 2.5 cm, dan 2.5 cm. Batas kepala dan kaki area tulisan (*header* dan *footer*) adalah 1.5 cm dan 1.3 cm. Permulaan alinea ditulis menjorok ke dalam 1 cm. Semua istilah asing dicetak miring (*italic form*).

Petunjuk Penulisan

Petunjuk penulisan antara lain sebagai berikut:

1. **Judul Jurnal Ilmiah**
   Memberi gambaran penelitian yang telah dilakukan. Berisi maksimal 15 kata. Times New Roman 11, spasi 1, spacing after 6 pt dan ditebalkan (*Bold*) (Style Judul)
2. **Nama penulis**
   - Nama penulis tanpa menggunakan gelar, ditulis di bawah judul. Jarak antara judul dan nama penulis diberi satu spasi kosong, dengan ukuran huruf Times New Roman 11 pt, Bold (Style Penulis)
   - Nama program studi dan fakultas (nama lembaga) ditulis di bawah nama penulis. Jarak antara nama penulis dan lembaga diberi satu spasi kosong, dengan ukuran huruf Times New Roman 11 pt, spacing after 6 pt (Style Keterangan Penulis).
   - Email penulis pertama ditulis di bawah nama lembaga. Email ditulis dengan ukuran huruf Times New Roman 10 pt dan dicetak miring (italics). Jarak antara nama lembaga dan email spacing after 6 pt., dengan ukuran huruf Times New Roman 11 pt (Style Keterangan Penulis)..
3. **Abstrak**
   Abstrak hanya satu paragraf maksimum 250 kata, memuat uraian singkat mengenai masalah dan tujuan penelitian, metode yang digunakan, dan hasil penelitian. Tekanan penulisan abstrak terutama pada hasil penelitian. Abstrak ditulis dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris. Kata kunci perlu dicantumkan untuk menggambarkan ranah masalah yang diteliti dan istilah-istilah pokok yang mendasari pelaksanaan penelitian. Kata-kata kunci dapat berupa kata tunggal atau gabungan kata. Jumlah kata kunci 3-5 kata. Kata kunci ini diperlukan untuk komputerisasi. Pencarian judul penelitian dan abstraknya dipermudah dangan kata-kata kunci tersebut. Pengetikan abstrak dilakukan dengan spasi tunggal, huruf Times New Roman 10, spacing before 12 pt, after 2 pt (Style Abstrak).
4. **Pendahuluan**
   Pendahuluan memuat latar belakang penelitian secara ringkas dan padat, dan tujuan. Dukungan teori tidak perlu dimasukkan pada bagian ini, tetapi penelitian sejenis yang dilakukan dapat dinyatakan. Pengetikan menggunakan huruf Times New Roman 10, spasi 1, spacing before 12 pt, after 2 pt.
5. **Metode penelitian**
   Pada dasarnya bagian ini menjelaskan bagaimana penelitian itu dilakukan. Materi pokok bagian ini adalah : (1) rancangan penelitian; (2) populasi dan sampel (sasaran penelitian); (3) teknik pengumpulan data dan pengembangan instrumen; (4) dan teknik analisis data. Untuk penelitian menggunakan alat dan bahan, perlu dituliskan spesifikasi alat dan bahannya. Spesifikasi alat menggambarkan kecanggihan alat yang digunakan sedangkan spesifikasi bahan menggambarkan bahan yang digunakan.
   Untuk penelitian kualitatif seperti penelitian tindakan kelas, etnografi, fenomenologi, studi kasus dan lain-lain, perlu ditambahkan kehadiran peneliti, subjek penelitian, informan yang ikut membantu beserta cara-cara menggali data-data penelitian, lokasi dan lama penelitian serta uraian mengenai pengecekan keabsahan hasil penelitian.
6. **Hasil dan Pembahasan**
   Bagian ini memuat data (dalam bentuk ringkas), analisis data dan interpretasi terhadap hasil. Pembahasan dilakukan dengan mengaitkan studi empiris atau teori interpretasi. Jika dilihat dari proporsi tulisan, bagian ini harusnya mengambil proporsi terbanyak bisa mencapai 50% atau lebih.
7. **Penutup**
   Bagian ini memuat kesimpulan dan saran. Kesimpulan dan saran dapat dibuat dalam sub bagian terpisah. Kesimpulan menjawab tujuan, bukan mengulang teori, berarti menyatakan hasil penelitian secara ringkas. Saran merupakan penelitian lanjutan yang dirasa masih diperlukan untuk penyempurnaan hasil penelitian supaya berdaya guna. Penelitian tentunya tidak selalu berdaya guna bagi masyarakat dalam satu kali penelitian, tapi merupakan rangkaian penelitian yang berkelanjutan.

8. Daftar Pustaka

Bagian ini hanya memuat referensi yang benar-benar dirujuk. Dengan demikian, referensi yang dimasukkan pada bagian ini akan ditemukan tertulis pada bagian-bagian sebelumnya. Sistematika penulisannya adalah mengikuti format Mendeley dengan menggunakan style IEEE dengan menggunakan style daftar pustaka.

9. Penulisan persamaan

Penulisan persamaan dalam *font* Times New Roman atau *font* Symbol menggunakan ukuran 11 point dengan menuliskan Nomor Persamaan yang diletakkan di dalam kurung pada akhir marjin kanan yaitu (1), (2) dan seterusnya. Nomor persamaan harus berurutan. Penulisan persamaan diberi jarak satu spasi pada sebelum dan sesudah penulisannya.

10. Penyajian Gambar dan Tabel

Nama Tabel ditulis di atas tabel pada sisi kiri dan bernomor urut dengan huruf tebal (*bold*). Antara Nama Tabel dan tabel tidak ada spasi. Tabel dibuat rata tengah, hanya terdiri dari tiga garis horisontal dengan ketentuan satu garis di atas tulisan kepala tabel dan satu garis yang mengapitnya, serta satu garis lagi berada pada bagian paling bawah dari isi tabel. Antara tabel dengan teks dibawahnya diberi jarak satu spasi, demikian juga sebelumnya.

Gambar dibuat rata tengah dengan Nomor Urut dan Nama Gambar diletakkan di bawah gambar. Jarak gambar dengan Nama Gambar adalah satu spasi, demikian juga dengan jarak antara Nama gambar dengan teks dibawahnya. Penulisan Nama Gambar dengan huruf tebal dan rata tengah. Jika Tabel atau Gambar diambil dari sumber lain atau bukan hasil penelitian penulis, harus dicantumkan sumber kutipannya.

Template Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Bangka Belitung

JUDUL (Style Judul)

<Style normal **:** font 10 point, Line Spacing Single>

Nama penulis [1], nama penulis[2] (Style Penulis)

[1] Program Studi, Fakultas, Universitas (Style Keterangan)

Alamat Universitas

[2] Program Studi, Fakultas, Universitas

Alamat Universitas

Email penulis [1]

<Style normal>

Abstrak (Style Abstrak: 10 pt, Bold)

<Style normal>

Abstrak ditulis dalam Bahasa Indonesia, terdiri dari satu paragraf, memuat tujuan, metode penelitian yang digunakan dan hasil (Style Isi Abstrak :10 pt, Line Spacing Single)

<Style normal>

Kata kunci : maksimum lima kata kunci. aaaa, bbbb, cccc, dddd, eeee. (Style Isi Abstrak :10 pt, Line Spacing Single)

<Style normal>

Abstract (10 pt, Bold) **(Style Abstrak: 10 pt, Bold, Italic)**

<Style normal>

Abstrak ditulis dalam Bahasa Inggris, satu paragraf, memuat tujuan, metode penelitian yang digunakan dan hasil. (Style Isi Abstrak :10 pt, Italic, Line Spacing Single)

<Style normal>

Key words : *maksimum lima kata kunci. aaaa, bbbb, cccc, dddd, eeee.* (Style Isi Abstrak :10 pt, Line Spacing Single)

<Style normal>

PENDAHULUAN (Semua judul bab menggunakan (Style Judul Bab))

Pendahuluan memuat latar belakang penelitian secara ringkas dan padat, dan tujuan. Dukungan teori tidak perlu dimasukkan pada bagian ini, tetapi penelitian sejenis yang sudah dilakukan dapat dinyatakan. (Isi jurnal menggunakan (Style Isi Jurnal))

METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan prosedur dan teknik penelitian. Antara satu penelitian dengan penelitian yang lain, prosedur dan tekniknya akan berbeda. Kalau tidak berbeda, berarti penelitian itu hanya mengulang penelitian yang sudah ada sebelumnya. Tapi bukan berarti harus berbeda semuanya. Untuk penelitian sosial misalnya, populasi penelitian mungkin saja sama, tapi teknik samplingnya berbeda, teknik pengumpulan datanya berbeda, analisis datanya berbeda, dan lain-lain. Mohon diuraikan dengan jelas, bukan hanya mengopi dari penelitian lain. Kalau mau disertakan penelitian yang dilakukan termasuk ke dalam kategori penelitian yang mana, mohon diperhatikan dengan baik, jangan asal mengopi. Bagian ini bisa dibagi menjadi beberapa sub bab, dengan mencantumkan penomorannya menggunakan style sub bab.

1. Perumusan masalah (Style Sub Bab)
   (Style isi jurnal) Penjelasan menggunakan style isi jurnal.
2. Metode penelitian (Style Sub Bab)

HASIL DAN PEMBAHASAN

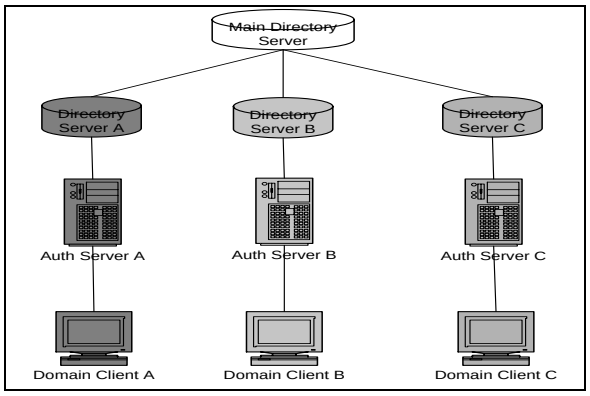
Bagian ini memuat data (dalam bentuk ringkas), analisis data dan interpretasi terhadap hasil. Pembahasan dilakukan dengan mengkaitkan studi empiris atau teori untuk interpretasi. Jika dilihat dari proporsi tulisan, bagian ini harusnya mengambil proporsi terbanyak, bisa mencapai 50% atau lebih. Bagian ini bisa dibagi menjadi beberapa sub bab, tetapi tidak perlu mencantumkan penomorannya.

Jika menggunakan tabel, maka penulisannya seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Nama Tabel (Style Captiom)

Kolom 1	Kolom 2	Kolom 3	Kolom 4

Sumber : xxxxxxxx
<Style normal>
Jika menggunakan gambar, maka penggambarannya dibuat sebagai berikut:
<Style normal>



(Style Posisi Gambar)
Gambar 1 Nama Gambar (Style Caption)

Rumus menggunakan (style Rumus) dengan bentuk sebagai berikut:

$$Y=ax+bx \quad \text{..... (1)}$$

1. Sitasi dan Daftar Referensi (style sub bab)

(Style isi jurnal) Penunjukan sitasi dengan menggunakan style IEEE. Tanda baca kalimat mengikuti tanda kurung [2]. Berbagai referensi [2], [3] masing-masing diberi nomor dengan kurung terpisah [1] - [3]. Saat mengutip bagian dalam buku, tolong berikan nomor halaman yang relevan. Dalam kalimat, merujuk hanya ke nomor referensi, seperti pada [3]. Jangan gunakan "Ref. [3]" atau "referensi [3]" kecuali pada awal kalimat: "Hossain [3] menunjukkan ..."

2. Catatan Kaki (style sub bab)

(Style isi jurnal) Cobalah untuk menghindari catatan kaki. Berikan semua nama penulis; jangan gunakan "et al." Gunakan spasi setelah inisial penulis. Makalah telah dikirimkan untuk publikasi atau yang belum diterima atau dipublikasikan tidak perlu dikutip. Makalah yang telah diterima untuk publikasi, tetapi belum ditentukan untuk masalah ini harus terdaftar sebagai "Dalam pers" [5]. Referensi adalah lekukan gantung 5mm.

KESIMPULAN

Berisikan kesimpulan hasil dari pembahasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diperkenankan bagi penulis dengan memberikan ucapan terima kasih kepada lembaga yang membiayai penelitian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Moghal A. A. B., Dafalla M. A., Elkady T. Y., and Al-Shamrani M.A., Lime Leachability Studies on Stabilized Expansive Semi-Arid Soil. International Journal of GEOMATE, Vol. 9, Issue 18, 2015, pp.1467-1471.

[2] Awal A.S.M.A, Hosseini H. and Hossain M.Z., Strength, Modulus of Elasticity and Shrinkage Behaviour of Concrete Containing Waste Carpet Fiber, International Journal of GEOMATE, Vol. 9, Issue 17, 2015, pp. 1441-1446.

[3] Hossain M.Z., For Chapter in a Book, Soil Mechics, 4th ed. Vol. 2, Sakai, Ed. Sankeisha Publisher's Name, Year, pp. 11–60.

[4] Author H., A Book New York Publisher, Year, pp.1-200.

[5] Annnn B., Unpublished Work but Accepted, Vol., Issue, Year.

[6] Kimura S., Journal Paper Title, J. of Computer Science, Vol. 1, Issue 2, 1987, pp. 23-49.

[7] Islam M.R., Conference proceedings, in Proc. 2nd Int. Conf. on GEOMATE, 2011, pp. 8-13.

[8] Hossain M.Z. and Awal A.S.M.A., Experimental Validation of a Theoretical Model for Flexural Modulus of Elasticity of Thin Cement Composite, Const. Build. Mat., Vol.25, No.3, 2011, pp.1460-1465.

MACHINE Jurnal Teknik Mesin

Alamat Redaksi :
Gedung Babel IV - Program Studi Teknik Mesin
Jurusan Teknologi Industri dan Rekayasa Pertambangan
Fakultas Sains dan Teknik UBB
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung, Balunijuk,
Bangka, Prov. Bangka Belitung
Laman : https://mesin.ubb.ac.id
E-mail : teknikmesinunivbabel@gmail.com

9 772502 204248