

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

MACHINE

JURNAL TEKNIK MESIN

Vol. 11 No. 1 April 2025

Jurnal
Teknik Mesin

Vol. 11

No. 1

Hal

April 2025

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

TERKREDITASI BERDASARKAN KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL PENGUATAN RISET DAN PENGEMBANGAN KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI REPUBLIK INDONESIA NO. NOMOR 21/E/KPT/2018 TENTANG PERINGKAT AKREDITASI JURNAL ILMIAH PERIODE I TAHUN 2018



Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Sains dan Teknik
Universitas Bangka Belitung

SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Redaktur:

Saparin, S.T., M.Si.

Editor:

Ir. Yudi Setiawan, S.T., M.Eng.

Ir. Suhdi, S.S.T., M.T., Ph.D.

Ir. Rodiawan, S.T., M.Eng. Prac., Ph.D

Dr. Franto, S.T., M.Si.

Ir. Eka Sari Wijianti, S.Pd., M.T.

Jeri Ariksha, S.Pd., M.T.

Rudi Kurniawan Arief, S.T., M.T., Ph.D.

Abdul Gafur, S.Si., M.T.

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

Firlya Rosa, S.ST., M.T (UBB)

Scopus ID: 57212376084

Sekretariat:

Nia Erawati, S.I.Pust.

Laman Jurnal:

<http://journal.ubb.ac.id/index.php/machine>

Alamat Redaksi:

Gedung Babel IV

Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Sains dan Teknik

Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung

Balunujuk, Kabupaten 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

PERANCANGAN SAMBUNGAN BAUT RANGKA VERTIKAL PADA MESIN CNC MILLING MINI	1
Ganjar Pramudi ¹ , Umar Hafidz ² , Alga Aji Santoso ²	1
OPTIMIZATION OF MAIN ENGINE COOLING SYSTEM MAINTENANCE FOR MITSUBISHI 6UEC52LS ON MT. PRINCESS NAOMI	8
Waris Wibowo ¹ , Ningrum Astriawati ² , Angga Primagani ³	8
EFEK PENAMBAHAN GASKET KEPALA SILINDER DAN VARIASI OKTAN BENSIN TERHADAP PERFORMA MESIN SILINDER TUNGAL	16
Bahtiar Rahmat ¹ , Mohammad Burhan Rubai Wijaya ² , Fahmy Zuhda Bahtiar ³ , Katiko Imamul Muttaqin ⁴ , Yuris Bahadur Wirawan ⁵	16
PENGARUH VARIASI FRAKSI PENGUAT DAN SUHU SINTERING AMC TERHADAP NILAI DENSITAS DAN KEKERASAN DENGAN SIO₂/RHA/BA	25
Fahrian Hasbi ¹ , Sukanto ^{1*} , Erwanto ¹	25
ANALISIS PARAMETER PEMESINAN MESIN CNC LASER DENGAN CONTROLLER ARDUINO UNO PADA BENDA KERJA AKRILIK DENGAN TEBAL 3 MM	30
Jandri Fan HT Saragi ¹ , Eka Putra Dairi Boangmanaalu ^{2*} , Angga Bahri Pratama ³ , Sahat ¹	30
ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR ALKOHOL TERHADAP PELEPASAN PANAS DAN KINERJA MESIN PEMBAKARAN	36
Tri Susilo Wirawan ¹	36
UJI KARAKTERISTIK PELET REFUSE DERIVED FUEL (RDF) HASIL PROSES PENGOLAHAN SAMPAH MENGGUNAKAN PELLETIZER	43
Rany Puspita Dewi ¹ , Trisma Jaya Saputra ² , Nurmala Dyah Fajarningrum ³ , Hidayat Agung ⁴ , Irfan Maulana ⁵	43
ANALISA EFISIENSI ISENTROPIK PADA ASH REMOVAL COMPRESSOR DENGAN SOFTWARE COMPUTER AIDED THERMODYNAMICS TABLE 3	50
Muhammad Nizar Ramadhan ¹ , Muhammad Roby ²	50
PREDIKSI TITIK LAS BAJA TULANG KING CROSS MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI	57
Raden Muhammad Rafi Hadiriyanto ¹ , Reza Setiawan ² , Aa Santosa ³	57
PRESTASI POMPA SENTRIFUGAL TIPE OVERHUNG UNTUK APLIKASI INDUSTRI DENGAN METODE REVERSE ENGINEERING DAN CFD	64
Mohamad Yamin ¹ , Rudi Irawan ¹ , Cokorda Prapti Mahandari ¹ , Rian Dwi Ariandi ¹ , Riyan Firmansyah ¹ , Muhammad Zidan Alfasha ² , Suharto ²	64
RANCANG BANGUN PENDINGIN OTOMATIS PADA SAMBUNGAN PLAT BAJA GULUNGAN (HOT ROLL COIL) PASCA PENGELASAN	73
Abdul Haris Mubarak ¹ , Moh. Afandy ² , Kadriadi ³	73
ANALISA KARAKTERISASI KOMPOSISI CAMPURAN TANAH LIAT, ALUMINA, KANJI SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN ISOLATOR	79
Sallolo Suluh ¹ , Inggrid Selly Alfrianty ¹	79
THE ANALYSIS OF ELVIRA EV-1 CHASSIS MECHANICAL PERFORMANCE WITH VARIOUS BEAM CROSS-SECTION	84
Eka Sari Wijianti ¹ , Agus Sarwono ¹ , Jeri Ariksha ¹ , Saporin ¹ , Adam Zuyyinal Adib ^{1*}	84

PERANCANGAN SAMBUNGAN BOUT RANGKA VERTIKAL PADA MESIN CNC MILLING MINI

Ganjar Pramudi ¹, Umar Hafidz ², Alga Aji Santoso ²

¹ Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir Sutami No.36A, Ketingan, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah

² Program Studi Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir Sutami No.36A, Ketingan, Jebres, Surakarta, Jawa Tengah

ganjar.pramudi@staff.uns.ac.id¹

Abstrak

Printed Circuit Board (PCB) adalah sebuah medium berbentuk papan yang dilapisi tembaga yang berfungsi untuk menghubungkan dan menyalurkan listrik antar komponen elektronik. Pembuatan jalur PCB dengan kualitas bagus maka perlu penggunaan Mesin CNC Milling Mini agar memudahkan pembuatan jalur PCB yang teliti dan presisi. Mesin CNC Milling Mini merupakan pengembangan dari mesin *milling* konvensional, yang terdiri dari 3 sumbu *axis* yaitu *X axis*, *Y axis*, dan *Z axis* yang dapat digunakan untuk membuat jalur PCB. Mesin CNC Milling Mini berukuran 620 mm x 600 mm dan memiliki beberapa komponen antara lain *frame*, *stepper motor*, *poros*, *leadscrew*, *bearing*, *spindle motor*, *chuck*, *endmill*, *kopling*, *kotak kontroler*, *bed*. Pada sambungan mesin menjadi komponen penting dalam perancangan mesin yang perlu diperhatikan. Dengan adanya sambungan yang tepat, maka pada perakitan Mesin CNC Milling Mini dapat menjadi kesatuan yang utuh, kuat dan presisi dalam penggunaannya. Perancangan Mesin CNC Milling Mini memerlukan sambungan baut untuk menggabungkan komponen mesin. Sambungan baut berperan penting dalam penerus beban antara rangka vertikal dengan komponen mesin. Pada komponen mesin untuk dipasang di rangka vertikal menggunakan ukuran baut M5 diameter 5 mm dengan kekuatan baut sudah dikatakan aman karena gaya yang bekerja 5.145 N kurang dari beban tarik baut 10.104,3 N.

Kata kunci : mesin CNC milling mini, perancangan, sambungan baut, PCB

Abstract

Printed Circuit Board (PCB) is a medium in the form of a board coated with copper that functions to connect and distribute electricity between electronic components. The manufacture of PCB strips with good quality requires the use of Mini CNC Milling Machines to facilitate the manufacture of meticulous and precise PCB strips. The Mini CNC Milling Machine is a development of a conventional milling machine, which consists of 3 axes, namely *X axis*, *Y axis*, and *Z axis* which can be used to make PCB strips. The Mini CNC Milling Machine measures 620 mm x 600 mm and has several components including *frame*, *stepper motor*, *shaft*, *leadscrew*, *bearing*, *spindle motor*, *chuck*, *endmill*, *clutch*, *controller box*, *bed*. The machine connection is an important component in machine design that needs to be considered. With the right joints, the assembly of the Mini CNC Milling Machine can be a whole, strong and precise unit in its use. The design of the Mini CNC Milling Machine requires the connection of bolts to join the machine components. Bolt connections play an important role in the load successor between the vertical frame and the machine components. In the machine components to be installed in the vertical frame using a bolt size of M5 with a diameter of 5 mm with a bolt strength, it is said to be safe because the working force of 5,145 N is less than the tensile load of a bolt of 10,104.3 N.

Key words : mini CNC milling machine, design, bolt connection, PCB.

PENDAHULUAN

Perkembangan dalam bidang teknologi yang semakin pesat merupakan aspek sebuah pengetahuan dan teknologi yang mengharuskan untuk meningkatkan kemampuan dalam penguasaan teknologi, terutama pada teknologi otomasi [1]. Perkembangan teknologi otomasi berbasis komputer telah menghasilkan mesin perkakas yang mampu menangani berbagai pekerjaan yang rumit dalam jangka waktu kerja yang singkat. Salah satu mesin otomasi yang mulai banyak digunakan adalah Computer Numerical Control (CNC). CNC merupakan pengembangan dari mesin milling konvensional, pada awalnya mesin CNC Milling terdiri dari 3 sumbu yaitu XYZ yang bisa membuat produk pembuatan jalur Printed Circuit Board (PCB) [2].

Pada pembuatan jalur PCB masih banyak di jumpai membuat dengan cara manual dengan cara membuat gambar lalu di print, setelah selesai menggambar jalur, PCB polos siap untuk dilarutkan cairan kimia *Hydrogen Chloride* (HCL) dan *Hydrogen Peroxide* (H_2O_2) [3]. Proses ini bagian yang paling krusial karena ketika campurannya tidak sesuai maka PCB akan rusak atau gagal. Namun ada juga kekurangan membuat jalur PCB dengan cara manual adalah hasilnya yang tidak terlalu bagus [4]. Maka agar menghasilkan PCB dengan kualitas bagus perlu penggunaan Mesin CNC Milling Mini agar memudahkan pembuatan jalur PCB yang teliti dan presisi. Pada tahap pembuatan Mesin CNC Milling Mini di lakukan secara *Reverse engineering* pada mesin yang sudah ada [5].

Reverse engineering digunakan karena perancangan atau pembuatan ulang ini berbasiskan produk yang sudah ada sebelumnya. *Reverse engineering* adalah kegiatan untuk menganalisa sebuah produk yang sudah ada yang digunakan sebagai acuan untuk mendesain sebuah produk baru dengan pengembangan pada komponennya. Mesin CNC Milling Mini 3 axis masih ada beberapa masalah yang perlu dihadapi. Dari pemasarannya masih kurang terjangkau didalam negeri atau diluar negeri [2].

Peningkatan kualitas Mesin CNC Milling Mini ini dilakukan dengan menghindari permasalahan yang terjadi, terutama harga Mesin CNC Milling Mini masih tergolong sangat mahal [6]. Masalah harga yang mahal, bisa dengan menciptakan Mesin CNC Milling Mini dengan harga yang lebih murah. Tetapi, tidak mengurangi kualitas bagian-bagian mesin ini, justru harus bisa mengungguli kualitas mesin CNC lainnya, dan

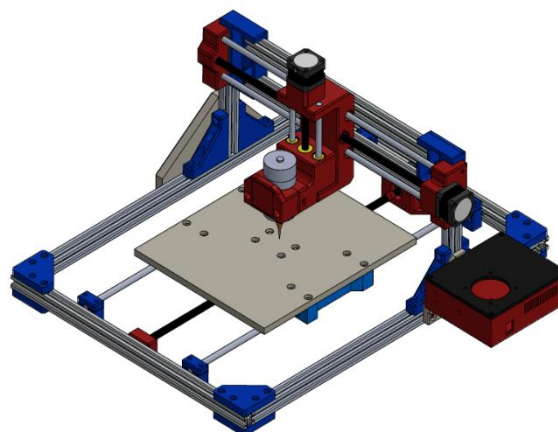
berani bersaing pemasarannya Mesin CNC Milling Mini [4].

Pada perancangan Mesin CNC Milling Mini, sambungan baut menjadi komponen penting dalam perancangan mesin [7, 8]. Dengan adanya sambungan baut yang tepat, maka pada perakitan Mesin CNC Milling Mini dapat menjadi kesatuan yang utuh dan presisi dalam penggunaannya. Sambungan baut merupakan salah satu sambungan yang tidak tetap, karena sambungan tersebut dapat dipasang dan dilepas tanpa merusak konstruksi [9]. Sambungan baut pada Mesin CNC Milling Mini berperan penting dalam kekuatan antara rangka dengan komponen yang menopang rangka seperti spindle motor. Oleh karena itu, sambungan baut memerlukan perhitungan dalam perancangannya, sehingga mesin dapat bekerja dengan optimal [10].

Berdasarkan latar belakang tersebut, perancangan sambungan baut sangat penting untuk mengetahui dimensi dan beban tarik maksimal yang mampu ditahan oleh sambungan baut pada Mesin CNC Milling Mini. Oleh karena itu, diperlukan perancangan yang berfokus di perencanaan sambungan baut pada rangka vertikal sehingga didapatkan suatu rancangan perhitungan sambungan baut untuk menyatukan komponen dengan kuat dan aman.

METODE PENELITIAN

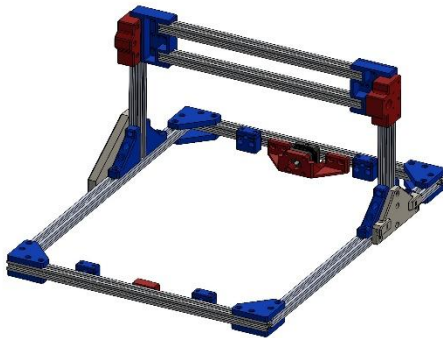
CNC Milling Mini dibuat untuk membantu pembuatan jalur PCB, agar waktu yang di butuhkan lebih cepat dan efisien, sehingga ketika mendapatkan pesanan yang banyak, tidak menyebabkan waktu yang lama. Berikut gambar desain mesin CNC Milling Mini ditunjukkan pada Gambar 1.



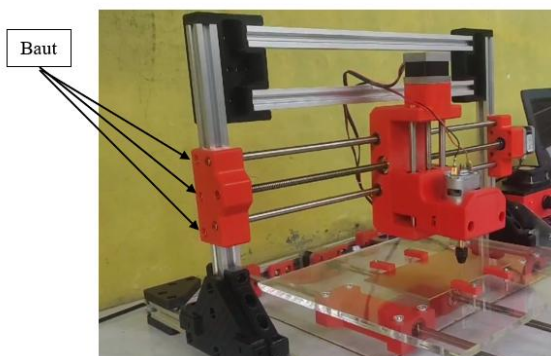
Gambar 1 Desain Mesin CNC Milling Mini

Mesin CNC Milling Mini ini beroperasi dengan gerakan vertikal dan horizontal, menggunakan koordinat pada sumbu X, Y, dan Z [11]. Penggeraknya berupa motor stepper yang terhubung ke poros ulir mesin. Adapun sumbu-sumbu yang digunakan pada Mesin CNC Milling Mini adalah sumbu X yang bergerak melintang, sumbu Y bergerak memanjang dan sumbu Z yang bergerak ke atas dan bawah [12]. Sumbu tersebut ditopang dengan rangka yang terbuat dari alumunium. Gambar rangka mesin CNC Milling Mini terlihat pada Gambar 2.

Terdapat 3 baut setiap sisi, jadi jumlahnya 6 baut karena ada 2 rangka vertikal yang berfungsi untuk menggabungkan komponen sehingga tergabung menjadi satu bagian yang memiliki sifat tidak permanen. Baut ini berukuran M5 yang berdiameter 5 mm dengan panjang 10 mm. Baut yang ada di rangka vertikal yang ditunjukkan Gambar 3.

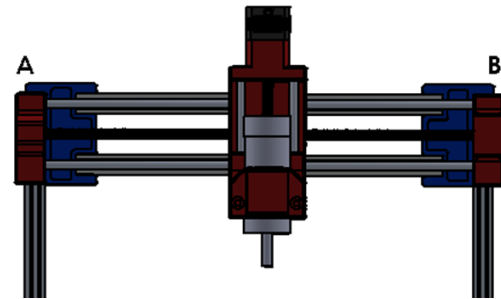


Gambar 2 Rangka Mesin CNC Milling Mini



Gambar 3 Letak Sambungan Baut Mesin CNC Milling Mini

Rangka vertikal pada sisi kiri diasumsikan sebagai tumpuan A dan sisi kanan sebagai tumpuan B. Sambungan baut rangka vertikal terkena beban pada sumbu z [13]. Skema rangka dan tumpuan A dan B disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Tumpuan A dan B Mesin CNC Milling Mini

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Perancangan Baut

Perancangan sambungan baut pada mesin CNC Milling mini terdapat pada bagian A dan B yang terlihat pada Gambar 4. Parameter yang diperlukan untuk menghitung pembagian beban pada rangka vertikal yaitu gaya tekanan (W) [14]. Gaya tekanan diasumsikan sebesar 2,5 kg, maka gaya tekanan diasumsikan menjadi 24,5 N. Diagram pembebanan dapat dilihat pada Gambar 5.

$$W = m \cdot g \dots\dots\dots (1)$$

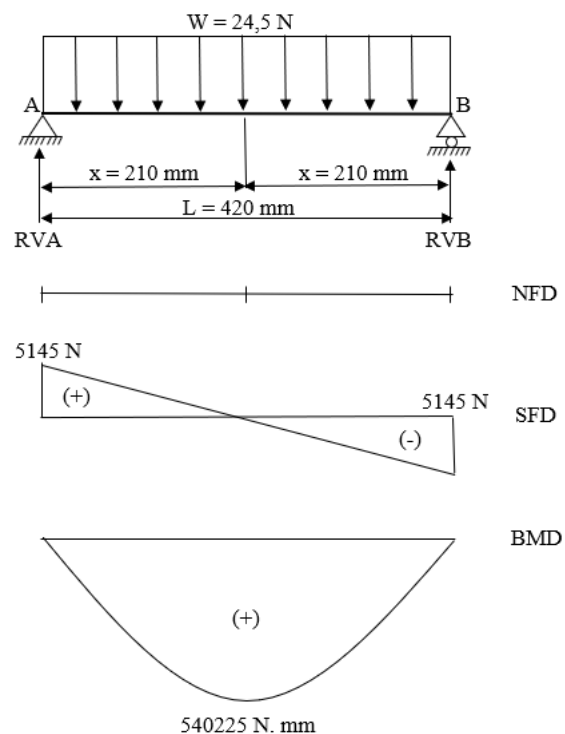
$$= 2,5 \times 9,8$$

$$= 24,5 \text{ N}$$

$$R = W \cdot L \dots\dots\dots (2)$$

$$= 24,5 \times 420$$

$$= 10,290 \text{ Nmm}$$



Gambar 5 Diagram NFD, SFD dan BMD

$$\Sigma MA = 0 \dots\dots\dots(3)$$

$$RVA . L - W . L . X = 0$$

$$RVA 420 - 24,5 . 420 . 210 = 0$$

$$RVA . 420 - 24,5 . 88200 = 0$$

$$420 . RVA - 2160900 = 0$$

$$RVA \frac{2160900}{420} = 5.145 \text{ N}$$

$$\Sigma MB = 0 \dots\dots\dots(4)$$

$$RVB . L - W . L . X = 0$$

$$RVB 420 - 24,5 . 420 . 210 = 0$$

$$RVB . 420 - 24,5 . 88200 = 0$$

$$420 . RVB - 2160900 = 0$$

$$RVB \frac{2160900}{420} = 5.145 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0 \dots\dots\dots(5)$$

$$RVA + RVB = W . L$$

$$5145 + 5145 = 24,5 \times 420$$

$$10.290 = 10.290$$

$$0 = 0$$

$$M_{max} = RVA . X - 0,5 W . X^2 \dots\dots\dots(6)$$

$$= 5145 . 210 - 12,25 . 210^2$$

$$= 1080450 - 540225$$

$$= 540.225 \text{ Nmm}$$

Berdasarkan perhitungan gaya pada rangka vertikal diperoleh gaya sebesar 5145 N. Gaya tersebut akan digunakan untuk perhitungan baut pada rangka vertikal. Baut yang akan digunakan berjumlah 6 buah. Langkah selanjutnya yaitu perhitungan Sambungan Baut dengan σ_t ijin bahan = 515 MPa = 515 N/mm², sehingga diameter core baut:

$$Dc = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{n \cdot \pi \cdot \sigma}} \dots\dots\dots(7)$$

$$Dc = \sqrt{\frac{4 \cdot 5145}{6 \cdot 3,14 \cdot 515}}$$

$$Dc = \sqrt{\frac{20580}{9702,6}}$$

$$Dc = \sqrt{2,12}$$

$$DC = 1,5 \text{ mm}$$

Kemudian diameter pitch:

$$Dp = 1,25 \cdot Dc \dots\dots\dots(8)$$

$$Dp = 1,25 \cdot 1,5$$

$$Dp = 1,87 \text{ mm}$$

Sehingga hasil perhitungan sambungan baut pada mesin CNC Milling Mini disajikan pada table 1.

Tabel 1 Perhitungan Sambungan Baut

Parameter dan Simbol	Persamaan	Data	Hasil
Diameter core (Dc)	$Dc = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{n \cdot \pi \cdot \sigma}}$	$F = 5145 \text{ N}$ $n = 6$ $\sigma = 515 \text{ N/mm}$	1,5 mm
Diameter pitch (Dp)	$Dp = 1,25 \cdot Dc$	$DC = 1,5 \text{ mm}$	1,87 mm

Jika Pada perhitungan diatas dapat disimpulkan baut yang digunakan menggunakan baut M5 dengan diameter 5 mm. Menentukan beban tarik aman untuk baut M5, dengan tegangan tarik aman 515 N/mm².

$$\text{Torsional shear stress } (\tau) \dots\dots\dots(9)$$

$$= \frac{16 T}{\pi (Dc)^2}$$

$$= \frac{16 \cdot 4520}{\pi \cdot (1,5)^2}$$

$$= 10.236,3 \text{ N/mm}^2$$

Pada perhitungan diatas dengan hasil 10.236,3 N/mm² untuk diaplikasikan sebagai torsi pengencangan pada baut.

$$\text{Bending stress bolt } (\sigma_b) \dots\dots\dots(10)$$

$$= \frac{x \cdot E}{2 \cdot L}$$

$$= \frac{0,01 \cdot 193000}{2 \cdot 12}$$

$$= 80 \text{ N/mm}^2$$

Pada perhitungan diatas dengan hasil 80 N/mm² untuk diaplikasikan sebagai tegangan bending pada baut.

$$\text{Shear stress threads } (\tau_s) \dots\dots\dots(11)$$

$$= \frac{P}{\pi \cdot Dc \cdot b \cdot n}$$

$$= \frac{5145}{\pi \cdot 1,5 \cdot 10 \cdot 12}$$

$$= \frac{5145}{565,2}$$

$$= 9,1 \text{ N/mm}^2$$

Pada perhitungan diatas dengan hasil 9,1 N/mm² untuk diaplikasikan sebagai tegangan geser pada ulir baut yang digunakan.

Stress area baut M5(12)

$$= 3,14 \times 2,5^2$$

$$= 3,14 \times 6,5 \text{ mm}^2$$

$$= 19,62 \text{ mm}^2$$

Pada perhitungan diatas dengan hasil 19,62 mm² untuk diaplikasikan sebagai tegangan area pada baut M5.

$$\text{Safe tensile load} = \text{stress area} \times \sigma_t. (13)$$

$$= 19,62 \text{ mm}^2 \times 515 \text{ N/mm}^2$$

$$= 10.104,3 \text{ N}$$

Pada sambungan baut untuk dipasang di rangka vertikal menggunakan ukuran baut M5 dengan gaya yang bekerja 5.145 N sedangkan beban tarik aman baut 10.104,3 N. Jadi, kekuatan baut sudah dikatakan **aman** karena gaya yang bekerja 5.145 N kurang dari beban tarik maksimal baut 10.104,3 N.

Berdasarkan perhitungan sambungan baut pada rangka vertikal didapat diameter *pitch* sebesar 1,87 mm sedangkan ukuran baut yang digunakan M5 dengan diameter baut 5 mm. Jadi, sambungan baut **aman**, karena memiliki ukuran diameter *pitch* lebih kecil daripada diameter baut yang digunakan. Pada sambungan baut untuk dipasang di rangka vertikal menggunakan ukuran baut M5 dengan gaya yang bekerja 5.145 N sedangkan beban tarik maksimal baut 10.104,3 N. Jadi, kekuatan baut sudah dikatakan **aman** karena gaya yang bekerja 5.145 N kurang dari beban tarik maksimal baut 10.104,3 N.

2. Hasil Pengujian

Hal ini memungkinkan produksi komponen yang komplek dengan konsistensi, kualitas, dan kecepatan, sehingga menggunakan G-code untuk pemrogramannya [15]. G-code adalah bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengontrol mesin CNC. Bahasa ini terdiri dari serangkaian perintah atau instruksi yang memberi tahu mesin CNC cara mengerjakan, memposisikan, dan mengoperasikan berbagai komponennya, seperti alat potong, spindel, dan fungsi tambahan. Perintah G-code biasanya diwakili oleh kombinasi huruf dan angka. Setiap perintah memiliki fungsi tertentu dan dijalankan secara berurutan oleh mesin CNC [16]. Perintah G-code mencakup berbagai macam operasi, termasuk gerakan pahat, kecepatan spindel, kecepatan pemakanan, pergantian pahat, dan kontrol cairan pendingin. Berikut ini G-code dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 G-code Pengujian CNC

Kode	X	Y	R	Z	F
------	---	---	---	---	---

T1					
G90					
S7000					
M03					
G00	0	0		10	
G01	0	0		-0,2	50
G01	0	30		-0,2	50
G01	30	30		-0,2	50
G01	30	0		-0,2	50
G01	0	0		-0,2	50
G00	25	15		10	
G01	25	15		-0,2	50
G03	5	15	10	-0,2	50
G03	25	15	10	-0,2	50
G00	25	15		10	
G00	0	0		10	
M05					
M30					

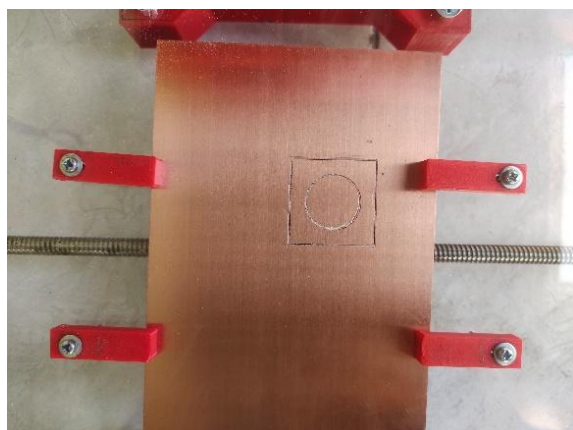
Pada pengujian dengan *endmill* dan dilakukan pemakanan sebesar 0,2 mm dengan digerakkan secara manual dengan *jog* pada komputer [17, 18]. Pengujian ini bertujuan apakah pergerakan dari *endmill* sudah sesuai dan pada saat pemakanan tidak terjadi kendala. Pengujian kedua menggunakan G-code sederhana dengan membuat kotak persegi dengan pemakanan 0,2 mm [15]. Pengujian ini bertujuan apakah mesin dapat membaca G-code yang sudah dibuat dan pergerakan dari sumbu x, y, dan z sudah sesuai [19]. Gambar pengujian menggunakan *endmill* dapat dilihat pada Gambar 6.



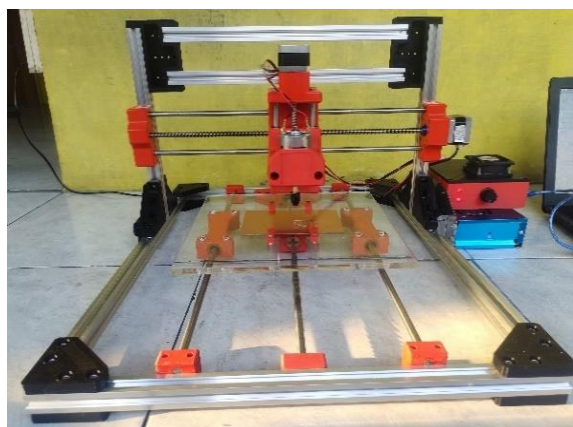
Gambar 6 Proses Pengujian dengan End Mill

Hasil pengujian pada PCB menunjukkan hasil pemakanan yang sudah sesuai dengan desain

dan pergerakan dari setiap sumbunya telah sesuai. Hasil Pengujian Menggunakan *Endmill* dapat dilihat pada Gambar 7. Dari hasil pengujian ini menunjukkan bahwa mesin CNC Milling Mini telah dapat beroperasi sesuai dengan program yang di jalankan [20]. Keseluruhan mesin CNC Milling Mini terlihat pada Gambar 8.



Gambar 7 Hasil Pengujian dengan End Mill



Gambar 8 Mesin CNC Milling Mini

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan sambungan baut pada rangka vertikal didapat diameter *pitch* sebesar 1,87 mm, diameter *pitch* ini adalah diameter minimal baut sedangkan ukuran baut yang digunakan M5 dengan diameter baut 5 mm. Jadi, sambungan baut **aman**, karena memiliki ukuran diameter *pitch* lebih kecil daripada diameter baut yang digunakan. Berdasarkan perhitungan gaya yang bekerja pada baut sebesar 5.145 N sedangkan beban tarik maksimal baut 10.104,3 N. Jadi, kekuatan baut sudah dikatakan **aman** karena gaya yang bekerja 5.145 N kurang dari beban tarik baut 10.104,3 N.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Universitas Sebelas Maret yang telah memberikan dukungan dan fasilitas dalam melaksanakan perancangan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Kurniawan, Syaifurrahman, and B. Jekky, "Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis," *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material* vol. 4, no. 2, 2020.
- [2] Z. Zoro and S. Syafri, "Proses Produksi Prototipe Mesin CNC Router 3-Axis," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 4, no. 2, pp. 1-6, 2017/10// 2017.
- [3] M. Jufrizaldy, I. Ilyas, and M. Marzuki, "Rancang Bangun Mesin CNC Milling Menggunakan System Kontrol GRBL untuk Pembuatan Layout PCB," *Jurnal Mesin Sains Terapan*, vol. 4, p. 37, 02/28 2020..
- [4] E. Gonul, M. Kılıç, and F. Karpaz, *A Study on Design and Manufacturing for the Side Wall of Large CNC Portal Milling Machine*. 2014.
- [5] S. Qasim, H. Mohammad, and M. Falah, "Accurate and Cost-Effective Mini CNC Plotter," *International Journal of Computer Applications*, vol. 178, pp. 10-15, 09/17 2019.
- [6] A. S. Lazuardi, "Perencanaan Sambungan Mur dan Baut pada Gerobak Sampah Motor," *Jurnal SPARK*, vol. 1, no. 1, pp. 21-26, 2018.
- [7] P. Ganjar, M. Riyadi, and S. Viki Alex, "Rancang Bangun Sistem Sambungan Baut Bracket Chamber dan Handle Bar Alat Press Kopi Espresso," *Jurnal Permadi : Perancangan, Manufaktur, Material dan Energi*, vol. 6, no. 02, 05/31 2024.
- [8] G. Pramudi, R. Muslim, and R. Hidayat, "Rancang Bangun Sambungan Baut pada Body dan Base Alat Press Kopi," *Teknobiz : Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin*, vol. 14, no. 2, 2024.
- [9] C. Eman, T. Budisetyono, and D. Ruslan, "Perbandingan Perencanaan Sambungan Kayu Dengan Baut Dan Paku Berdasarkan Pkpi 1961 Ni-5 Dan Sni 7973:2013," *Jurnal Dimensi*

- Pratama Teknik Sipil, vol. 4, no. 2, 2015/8/1/ 2015.
- [10] R. Gürbüz, "Mechatronics Approach for Desk-Top CNC Milling Machine Design," *Solid State Phenomena*, vol. 144, pp. 175-180, 09/26 2008.
- [11] H. Ikhlash Syukran, S. Syafri, and P. Adhy, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC Milling 3 Axis Menggunakan Close Loop System," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, vol. 4, no. 2, pp. 1-8, 2017/10// 2017.
- [12] D. T. Santoso, F. A. Saputra, and R. P. Sari, "Perancangan Mesin Extruder Filamen 3D Printing Berbahan Sampah Plastik Kapasitas 40 Kg/Jam," *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 58-64, 2024.
- [13] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *A Textbook of Machine Elements and Machines*. John Wiley & Sons, Inc., 2005.
- [14] P. Runwal, A. Shelke, P. Udavant, S. Rokade, and D. A. Baitule, "Design and Manufacturing of Mini CNC Plotter Machine," *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, vol. 5, no. 4, 2017.
- [15] a. yahya, i. malik, and a. zamheri, "Penerapan Metode Design For Manufacturing Pada Rancang Bangun CNC Milling 3 Sumbu," *MACHINERY Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 4, no. 2, pp. 67-75, 06/17 2023.
- [16] A. Muchlis, W. Ridwan, and I. Z. Nasibu, "Rancang Bangun Mesin CNC (Computer Numerical Control) Laser dengan Metode Design for Assembly," *JAMBURA : Jurnal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 3, no. 1, 2021.
- [17] A. A. S. T. A. S., M. Y. Diratama, and W. Daniswara, "Pengujian Cutter Endmill HSS Diameter 12 mm dengan Pemotongan Dept of Cut Terhadap Baja Amutit Di Mesin Milling Lagun FU 100 (LFR 25)," *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 81-89, 2024.
- [18] A. Pratama, Z. Kurniawan, Husman, and I. A. Wahyudie, "Variasi Sudut Potong dan Kecepatan Potong Terhadap Laju Pemakanan Material SCM 440," *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 45-50, 2023.
- [19] D. R. Zulkia, "Pemanfaatan Mesin Pencacah Dan Mesin Press Sebagai Alat Pengolah Sampah Menjadi Produk Bernilai Ekonomis," *Machine : Jurnal Teknik Mesin*, vol. 9, no. 1, pp. 23-29, 2023.

OPTIMIZATION OF MAIN ENGINE COOLING SYSTEM MAINTENANCE FOR MITSUBISHI 6UEC52LS ON MT. PRINCESS NAOMI

Waris Wibowo¹, Ningrum Astriawati², Angga Primagani³

^{1 2 3} Program Studi Permesinan Kapal, Sekolah Tinggi Maritim Yogyakarta

Jl. Magelang KM 4.4 Pos 42 Tromol, Kutu Dukuh, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman, DIY

ningrumastriawati@gmail.com¹

ABSTRACT

The purpose of the study is to optimize the cooling system maintenance on the Mitsubishi 6UEC52LS Main Engine on the MT. Princess Naomi that belongs to PT. Waruna Nusa Sentana. This research was conducted in the engine room of the MT. Princess Naomi. This research employed qualitative descriptive approach methods. Data collection techniques were obtained through field research by combining observation methods, documentation, in-depth interviews, and literature review. Data analysis was conducted in triangulation (combination). The results of the study showed that the maintenance of the diesel engine cooling system on the MT. Princess Naomi that belongs to PT. Waruna Nusa Sentana has been running optimally with an average after optimization treatment of 83.75%. The cooling system on the main engine of the MT. Princess Naomi applied a closed cooling system. Parts of the cooling system treated include: an expansion tank, centrifugal pump, fresh water cooler, and sea chest..

Kata kunci : cooling system, maintenance, main engine.

INTRODUCTION

The diesel engine was invented by Rudolph Christian Karl Diesel, who was born on March 18, 1858, in Paris. Diesel engines are also used as the main propulsion system on ships. The presence of diesel engines on board is crucial, as their operation ensures the smooth running of maritime activities.[1]. The ship's main propulsion engine must be able to operate continuously during its operation. To support its performance, several essential systems are required. These include the cooling system and the lubrication system, which function to dissipate heat from the engine[2]. During engine combustion, these systems must be properly maintained to ensure optimal performance and prevent disruptions [3]. Proper maintenance of the lubrication system, fuel system, and cooling system by skilled professionals can extend the lifespan of main engine components, reduce high operational costs, prevent severe damage, and minimize operational disruptions [4][5]. In the operation of a ship's engine, without a proper cooling system, the engine will quickly suffer damage due to overheating or excessive heat. Therefore, the maintenance of the cooling system in the main engine is essential and must be carried out according to the operational procedures outlined in the manual

book. To ensure that the diesel engine can operate continuously, safely, and with durability, the heat absorbed by its components, such as the cylinder liner, cylinder head, and exhaust valve, must be transferred to a cooling fluid. There are several options for cooling systems, but for ship diesel engines, freshwater is chosen as the cooling medium due to its lower corrosiveness and better temperature control compared to seawater. In other words, as long as a diesel engine is operating, it requires cooling. An open cooling system is a type of diesel engine cooling system that uses seawater directly as the cooling medium[6]. Seawater cooling is an open cooling system because the coolant is directly exposed to the external environment through seawater, which cools the cooling water, lubricating oil, air, and turbocharger within the cooling system. In this process, seawater directly cools the diesel engine[7]. The open cooling system has both advantages and disadvantages. Its advantages include a relatively simple design that does not require an expansion tank, making it more cost-effective and the continuous availability of seawater as a cooling medium. However, it also has several drawbacks, such as the formation of salt deposits at temperatures above 50°C, which can clog pipelines, a high risk of corrosion that accelerates engine wear, and difficulties in regulating seawater temperature in cold regions, where extremely low temperatures may

cause the cylinder liner to crack due to significant temperature differences[8]. Meanwhile, the closed cooling system cools the diesel engine using liquid coolant or fresh water, which is then cooled by seawater in a cooler. The cylinder jacket cooling system operates in a closed-loop flow, where after cooling the jacket, the coolant directly flows to other engine components, such as the cylinder cover and exhaust valve. To maintain adequate coolant pressure, the cooling water flow must remain full from the main tank[9].

The coolant temperature is regulated by controlling the flow of water through the cooler, which is adjusted by opening the bypass valve. The amount of freshwater flowing must remain constant, and if the coolant temperature is too low, it must be increased to the predetermined temperature by injecting hot steam into the cooling water pipes before the engine is started [10]. To increase the coolant temperature before starting the engine, this method is commonly used in cold regions such as European countries. However, in Indonesia, it is rarely used since the coolant temperature already meets the required standards. The advantages of a closed cooling system include (1) using fresh water as a coolant reduces or prevents corrosion risks, and (2) controlling the inlet and outlet coolant temperature is easier through the cooler. However, there are some disadvantages, such as (1) dependency on the availability of freshwater coolant, (2) a more expensive piping system due to the need for a cooler, expansion tank, and additional piping, and (3) the complexity of the cooling system in ships, as it consists of interconnected pipes, pumps, and coolers. This system often becomes intricate since both the main diesel engine and auxiliary engines, along with various auxiliary equipment, are connected to it [11] [3]. The cooling system for diesel engines primarily involves freshwater circulation, where the entire system consists of a seawater section outside the ship's hull and a freshwater section[12]. Inside the engine, the heat absorbed by the fresh water in a closed circuit is then transferred to seawater in the cooler. The amount of coolant must be sufficient to ensure that in tropical seawater conditions, the discharge temperature does not exceed normal limits. The flow of cooling water can be regulated using a control valve, which is crucial to maintaining the correct engine load. The temperature of the cooling water after heat exchange must not be too low, as previously discussed, and it is often maintained automatically at a specific value[13].

After undergoing these cooling processes, seawater is discharged through a discharge valve. By recirculating part of the heated cooling water through this valve, the coolant temperature entering

the cooler can be maintained at the minimum level specified in the manual book. In a water cooling system for diesel engines, several issues often arise, such as fluctuations in coolant temperature, pressure instability, and temperature blockages, which require corrective measures on some or all cylinders. Other operational issues must also be quickly identified to determine their root causes. During field observations on the Mitsubishi 6UEC52LS main engine of MT. Princess Naomi, only 45% of the procedures were carried out according to the manual book, indicating that some systems were not functioning optimally. This highlights the need for more intensive maintenance actions [14]. The objective of this study is to optimize the closed cooling system maintenance of the Mitsubishi 6UEC52LS main engine on MT. Princess Naomi, ensuring that the vessel remains seaworthy under all weather conditions and locations.

EXPERIMENTAL METHOD

The MT. Princess Naomi is a vessel owned by PT. Waruna Nusa Sentana, located at Jln. Boulevard Barat Raya, Kelapa Gading, North Jakarta. This ship is a type of tanker specifically designed for carrying product oil or refined petroleum products, featuring specialized specifications to ensure the safe and efficient transportation of these materials [15]. In its operations, the MT. Princess Naomi is chartered by Indonesia's state-owned oil and gas company, Pertamina. The ship's sailing routes are determined by Pertamina's charter agreements, as it transports refined petroleum products to various locations based on regional demand. This type of operation is known as tramp shipping, where the vessel's destinations are flexible and adjusted according to cargo requirements. The vessel's specifications are as follows:

<i>Name Of Vessel</i>	: MT. Princess Naomi
<i>Call Sign</i>	: YBEK 2
<i>Owner</i>	: Pt. Waruna Nusa Sentana
<i>Builder</i>	: Minaminippon Ship Building Co. Ltd. Japan
	Usuki
<i>IMO Number</i>	: 9126273
<i>Mmsi Number</i>	: 525020393
<i>Immarsat Number (Tlx)</i>	: 0722225193
<i>Builder / Year</i>	: 1995
<i>Gross Tonnage</i>	: 20024 Mt
<i>Netto Tonnage</i>	: 7644 Mt
<i>Dwt</i>	: 30.949 Mt
<i>Loa</i>	: 175.00 M
<i>Lbp</i>	: 166.00 M
<i>Breadth</i>	: 27.70 M

Depth	: 16.00 M
Air Draft	: 42.945 M
Main Engine	: Mitsubishi 6uec52ls
Auxiliary Engine	: 6135azcat / 138 Kw
Horse Power	: 10800 Hp



Figure 1 The MT. Princess Naomi

This research is a qualitative descriptive analysis, describing the optimization of the cooling system maintenance for the main engine, Mitsubishi 6UEC52LS, based on experiences during nearly a year of sailing aboard the MT. Princess Naomi. In this study, the researcher plays a crucial role. As stated by Sugiyono, qualitative research follows the post-positivist philosophy, which examines objects in their natural conditions. In this context, the researcher acts as the key instrument. Data collection techniques involve field research, combining observation, documentation, in-depth interviews, and literature review. Meanwhile, data analysis is conducted through triangulation (a combination of methods), not to seek absolute truth but to enhance the researcher's understanding of the collected data and facts [16]. Data analysis is inductive/qualitative, and the research results emphasize the meaning of generalization rather than statistical representation. [17].

RESULT AND DISCUSSION

The Main Engine of MT. Princess Naomi uses an MITSUBISHI 6UEC52LS engine. It is a two-stroke engine with six cylinders and operates with a closed cooling system. The closed cooling system uses fresh water as the cooling medium, which circulates from the expansion tank. The water is pumped through the main engine at a temperature of 80°C, then cooled in a cooler to 70°C before recirculating to cool the main engine again. Seawater is only used to cool the fresh water through the cooler before being discharged overboard. Theoretically, the fresh water in this closed system should not decrease in volume. However, in practice, the cooling water volume decreases due to sedimentation, evaporation, and leaks.

The circulation process of the freshwater cooling system in the main propulsion engine includes the Expansion Tank, Fresh Water (FW) Cooling Pump, Cylinder Liner, Cylinder Head, and

FW Cooler. Meanwhile, the seawater cooling system process in the freshwater cooler includes the Sea Chest, Filter/Strainer, FW Cooling Pump, Lubricating Oil (LO) Cooler, FW Cooler, and finally, the discharge overboard, as illustrated in Figure 2 below.

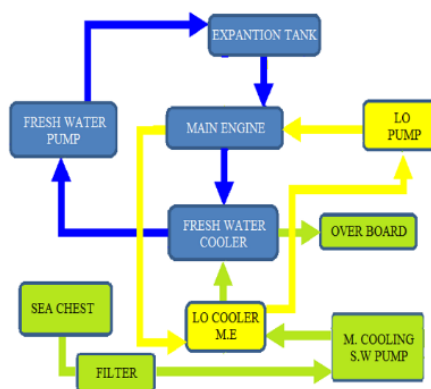


Figure 2 Cooling System Scheme of MT. PRINCESS NAOMI

Figure 2 Description:

- Blue = Fresh Water Flow
- Green = Seawater Flow
- Yellow = Lubricating Oil Flow

Fresh Water Cooling Circulation Process in the Main Engine

The components related to the freshwater cooling circulation system are:

Expansion Tank – A storage tank containing fresh water used to supply cooling needs in the engine room and other requirements. The expansion tank on MT. Princess Naomi has a capacity of 1000L. Regular maintenance is not performed, and only sediment removal is conducted. Complete maintenance is carried out during loading/discharging or when the expansion tank experiences issues such as failure to circulate water, leaks, low water levels, or discoloration. Maintenance includes checking water levels during each watch shift, refilling if necessary, draining excessive sediment, and cleaning the tank completely while docked. During cleaning, corrosion and rust are removed, and chemical treatment (Rocor NB Liquid) is added to slow down corrosion and sediment buildup.

Cylinder Liner – A cylinder bore where the piston moves up and down for compression. The freshwater cooling space is formed between the cylinder jacket and the cylinder liner.

Cylinder Head – Serves as a seal between the head and cylinder block, housing valves and manifolds, and facilitating cooling water and

lubrication flow. Fresh cooling water enters through four openings in the cylinder jacket, flows into the exhaust valve, and exits through the cooling water outlet pipe.

Fresh Water Cooler – A component where fresh water is cooled using seawater as the cooling medium. Seawater flows through the freshwater cooler, cooling the freshwater passing between the plates. Maintenance includes wiping the exterior with a cloth to detect leaks, regularly cleaning the expansion tank's cooling water surface (once a month or when abnormalities occur), inspecting for visible damages, and checking the internal filters of the freshwater cooler.

The procedure for cleaning the plate cooler is as follows: First, cover the cooling water pump with a tarp and close the inlet and outlet cooling water pipe valves. Next, remove the inlet and outlet cooling water pipes connected to the cooler. Then, loosen and remove the bolts securing the cooler and detach the plates one by one. The accumulated scale is cleaned by scrubbing or using Chemical OSD (Oil Spill Dispersant), followed by rinsing with fresh water. After cleaning, inspect the condition of the cooler plates and their partitions. Once the inspection is complete, reassemble the cooler components as they were originally. After reassembly, clean the entire exterior of the cooler. Finally, start the cooling water pump and check for leaks. If the system operates smoothly and no leaks are detected, it can be put back into operation. The design of the freshwater late cooler can be seen in Figure 3 below.

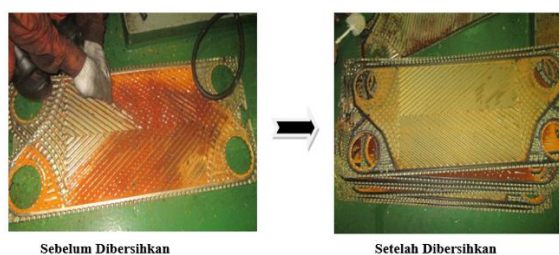


Figure 3 Fresh Water Plate Cooler of MT. PRINCESS NAOMI

Fresh Water Pump is a device used to transfer freshwater from one place to another. It operates using rotational energy derived from an engine or electric motor, utilizing a centrifugal mechanism where the liquid enters the impeller and flows within the casing. The MT. PRINCESS NAOMI is equipped with two freshwater cooling pumps that can be used alternately or as a backup in case of failure. Maintenance of centrifugal pumps is crucial to ensure optimal performance. If the pump fails to suction, the suction pressure gauge should be

checked, as possible causes include an abnormal drive motor, air leakage in the pipeline, faulty valve seating, or a clogged packing seal. Other potential issues include blocked valves or lines, causing vacuum pump failure, and clogged strainers preventing proper suction. If suction occurs but water output is minimal, possible causes include blockages in the suction pipe or filter, partially or fully obstructed impeller blades, or excessive wear on the impeller ring. Preventive maintenance includes lubricating the pump bearings, regularly cleaning the suction strainer and impeller, replacing gland packing in case of leaks, and performing an overhaul if the pump circulation is inadequate.

Process of Seawater Cooling Circulation in the Seawater Cooler

Components Related to the Circulation of the Seawater Cooling System

1. Sea Chest

The Sea Chest is an opening in the ship's hull used to draw seawater into the vessel with the help of a pump. This seawater is used for engine cooling, ballast, deck washing, and other onboard needs. The seawater intake filter is a crucial part of the cooling system as it directly interacts with external seawater. Since various debris and objects in the sea can enter the main engine, a filter or strainer is installed. The strainer plate often encounters issues such as clogging due to debris or waste being sucked in, which reduces the effectiveness of the cooling system. Therefore, the Sea Chest requires regular maintenance to ensure the ship's cooling system operates efficiently, allowing smooth sailing without issues. Signs of a clogged or obstructed Sea Chest include the cooler becoming hotter than normal, a drop in seawater pressure as indicated by the manometer, a weak seawater flow overboard, and the activation of the low-pressure seawater alarm, accompanied by its warning light turning on.

To clean and maintain the Sea Chest, the inlet and outlet valves must first be closed. The Sea Chest cover or deck sheet should then be marked, and all securing bolts loosened before carefully removing the deck sheet to avoid damaging the gasket. The seawater inside the Sea Chest should be drained to check for any trapped debris, which must be removed. The filter plate or strainer should then be inspected. If it is still in good condition, it can be cleaned by spraying with water and scrubbing with a wire brush. If it is damaged, it must be replaced with a new one.

After cleaning or replacing the filter, it should be reinstalled, ensuring the gasket is correctly

positioned before reassembling the deck sheet. All bolts should be reattached without fully tightening them. The seawater inlet valve should then be opened, and if water seeps from the gasket, two bolts should be tightened diagonally first, followed by evenly tightening all bolts in a crisscross pattern. The deck sheet should be cleaned, and grease should be applied to the securing bolts to prevent rust. The seawater outlet valve (overboard) should then be opened, and the pump should be started for a running test. If the system operates normally, the tools and surrounding area should be cleaned. Finally, all maintenance activities should be recorded in the engine room logbook.

2. Sea Water Pump

The Sea Water Pump (centrifugal) is a device used to transfer liquid from one place to another. It operates by utilizing rotational energy from an engine or electric motor to drive the pump. As the pump rotates, the liquid enters the impeller and flows within the casing, which directs the movement of the liquid.

The maintenance of the main cooling seawater pump includes regularly checking the seawater pressure through the pressure gauge and inspecting the gland packing for any leakage in the pump shaft. When the ship is underway and the pressure gauge indicates low pressure, the backup pump can be activated to assist in drawing seawater, ensuring the cooling of fresh water and lubricating oil remains effective.

3. Lubricating Oil Cooler

The Lubricating Oil Cooler is a component used to cool lubricating oil using seawater as the cooling medium. Seawater flows through designated passages within the zinc-plated plates, which are separated by barriers to prevent mixing between seawater and oil. This system ensures that the lubricating oil temperature is effectively reduced by seawater. For maintenance, it is essential to regularly check the temperature of both the Lubricating Oil Cooler and seawater at each watch shift. Additionally, every six months, the Lubricating Oil Cooler should be disassembled and cleaned by brushing the plates to remove any buildup, as illustrated in Figure 4.

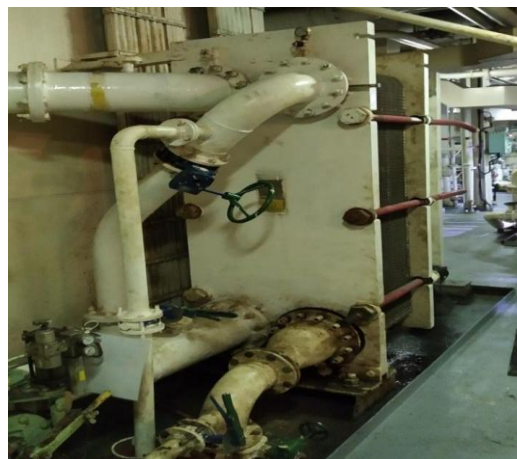


Figure 4 Lubricating Oil Cooler of MT. PRINCESS NAOMI

4. Over Board

The Overboard is an opening in the ship's hull used for discharging seawater from inside the vessel. Seawater that has been used to cool various engine components or wastewater from the ship is expelled through this outlet. On MT. Princess Naomi, some of the key components cooled by seawater include the Cylinder Jacket and Cylinder Liner. The Cylinder Jacket is the engine block that houses the Cylinder Liner and contains cooling water passages to regulate its temperature. Cooling water flows from an exhaust-side inlet and exits through four upper openings in the Cylinder Jacket, then enters the Cylinder Cover. The Cylinder Cover serves as the combustion chamber wall, sealing the cylinder bore within the engine block. The cooling passages in the Cylinder Cover direct water to the Exhaust Valve, which then flows into the cooling water outlet pipe.

Another essential cooled component is the Cylinder Liner, which is part of the Combustion Chamber. It is subjected to high pressure and significant friction due to the piston's continuous movement during compression. The cooling space is formed between the Cylinder Jacket and the Cylinder Liner, ensuring proper sealing. To maintain watertight integrity in the cooling water chamber surrounding the Cylinder, O-rings are fitted, with four cooling water inlet passages located at the lower section.

Effectiveness of Cooling System Maintenance Optimization

The cooling system on MT. Princess Naomi plays a crucial role in maintaining the optimal performance of the main propulsion engine. To ensure its effectiveness, a structured and thorough maintenance plan must be implemented. A detailed

schedule is essential for monitoring and maintaining key engine components, allowing for timely and efficient upkeep.

Periodic maintenance involves routine checks conducted daily during engine room watch shifts. Engineers inspect cooling water pressure using manometers, ensuring that seawater pumps operate at 2.8 bar, while freshwater pumps maintain a pressure of 2.8 – 3.0 bar. Visual inspections are carried out to detect potential leaks, and the flow of cooling water is observed before and after engine startup. Maintenance tasks every 50 – 250 hours include cleaning seawater strainers, lubricating pump shafts, and ensuring that all cooling pumps function properly. More extensive inspections, conducted every 500 – 1000 hours, focus on cleaning the cooler's interior, checking the zinc anode, and inspecting the expansion tank for any sediment buildup that could affect water quality.

In contrast, unscheduled maintenance is performed in response to unexpected failures. Engineers monitor pump pressure and cooler temperatures to identify any abnormalities. In the event of a leak, the affected area is traced and repaired promptly. If a seawater pump failure occurs, an alternative general service pump is activated to maintain cooling operations while repairs are underway.

Through intensive maintenance, significant improvements were observed in the Mitsubishi 6UEC52LS main propulsion engine. The study focused on four essential cooling system components:

Expansion Tank – Responsible for maintaining the balance of cooling water volume.

Centrifugal Pump – Ensures the continuous circulation of cooling water throughout the system.

Fresh Water Cooler – This cools the freshwater circuit by transferring heat to seawater.

Sea Chest – Functions as the intake for seawater, supplying the cooling system with an uninterrupted flow.

A comparative analysis before and after maintenance optimization, based on manual book guidelines, is presented in Figure 5. This highlights the impact of routine and corrective actions in sustaining the efficiency and reliability of the cooling system.

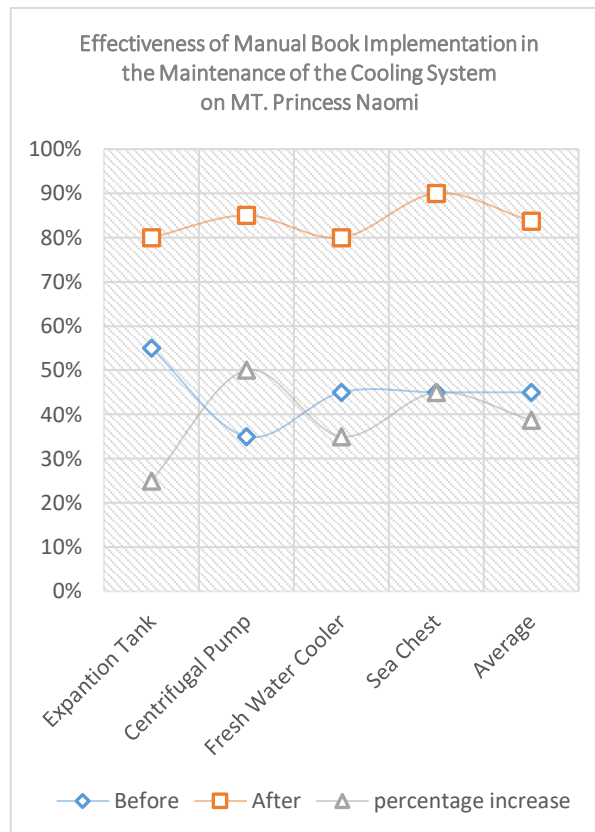


Figure 5 Graph of Cooling System Maintenance Optimization Effectiveness on MT. Princess Naomi

The graph above shows a significant increase in the effectiveness of manual book implementation for cooling system maintenance across all components. The expansion tank initially had an effectiveness of 55%, which increased by 25% after maintenance optimization, reaching 80%. Similarly, the centrifugal pump showed an improvement from 35% to 85%, with a 50% increase in effectiveness. Fresh water cooler experienced a 35% rise, from 45% to 80%, while the sea chest, which initially had an effectiveness rate of 45%, increased by 45%, reaching 90% after optimization.

Overall, before maintenance optimization, the average effectiveness of manual book implementation in the cooling system was approximately 45%. Following the structured implementation of manual book guidelines, the average effectiveness increased by 38.75%, resulting in an overall effectiveness of 83.75%. Based on these results, the closed cooling system maintenance for the main engine of MT. Princess Naomi, owned by PT. Waruna Nusa Sentana is proven to function optimally.

This finding aligns with Wibowo's research, which emphasizes that optimized cooling system maintenance ensures a vessel remains

seaworthy in all weather and sea conditions[18]. The results of this study were compared with previous research examining maintenance methods and engine performance efficiency in similar contexts. For instance, Ardianzah (2014) found that a predictive maintenance approach using vibration analysis was more effective in reducing failure frequency compared to the corrective maintenance methods still commonly used.

A key distinction between this study and previous research lies in the evaluation parameters. This study specifically focuses on four critical cooling system components: the expansion tank, centrifugal fresh water cooler, and sea chest. Furthermore, variations in operational conditions and engine types significantly influence the findings, making them essential factors in assessing the effectiveness of the applied maintenance methods.

CONCLUSION

Based on research conducted in the engine room of the MT. Princess Naomi, owned by PT. Waruna Nusa Sentana, particularly regarding the maintenance of the main engine cooling system, several conclusions can be drawn. The cooling system maintenance for the MITSUBISHI 6UEC52LS main engine on the MT. Princess Naomi has been carried out effectively. Optimization has reached 83.75%, aligning with the manual book implementation for the diesel engine cooling system components. The main engine cooling system on the MT. Princess Naomi operates using a closed cooling system. The cooling system components that undergo maintenance include the expansion tank, centrifugal pump fresh water cooler, and sea chest.

ACKNOWLEDGMENT

We would like to express our deepest gratitude to all those who have supported and contributed to the completion of this research. My sincere appreciation goes to PT. Waruna Nusa Sentana and the crew of MT. Princess Naomi for their cooperation and assistance during data collection. I am also thankful to my mentors, colleagues, and everyone who provided valuable insights and encouragement throughout this research process. Lastly, I extend my heartfelt thanks to my family and friends for their unwavering support and motivation.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. K. Kaharto, "Penyebab Kompresor Lambat Mengisi Udara Pada Botol Angin Di Mt. Althea Viii," In *Prosiding Seminar Nasional Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi*, 2021, Vol. 4, Pp. 493–501.
- [2] Purjiyono, N. Astriawati, And P. S. Santosa, "Perawatan Sistem Pelumasan Mesin Utama Pada Kapal Km. Mutiara Sentosa Ii," *J. Teknovasi J. Tek. Dan Inov.*, Vol. 6, No. 1, Pp. 74–80, 2019.
- [3] W. Wibowo, N. Astriawati, L. Kristianto, And R. Baskoro, "Aktivitas Perawatan Sistem Bahan Bakar Mesin Diesel Tipe 12 Pc4–2v," *Maj. Ilm. Gema Marit.*, Vol. 26, No. 1, Pp. 10–17, 2024.
- [4] A. A. Pratama, N. Astriawati, P. S. Waluyo, And R. Wahyudiyana, "Optimalisasi Perawatan Sistem Pendingin Mesin Utama Di Kapal Mv. Nusantara Pelangi 101," *Maj. Ilm. Bahari Jogja*, Vol. 20, No. 1, Pp. 1–11, 2022.
- [5] R. I. Yaqin, Z. Z. Zamri, J. P. Siahaan, Y. E. Priharanto, M. S. Alirejo, And M. L. Umar, "Pendekatan Fmea Dalam Analisa Risiko Perawatan Sistem Bahan Bakar Mesin Induk: Studi Kasus Di Km. Sidomulyo," *J. Rekayasa Sist. Ind.*, Vol. 9, No. 3, Pp. 189–200, 2020.
- [6] E. A. Handoyo And R. Tirtoatmodjo, "Pengaruh Temperatur Air Pendingin Terhadap Konsumsi Bahan Bakar Motor Diesel Stasioner Di Sebuah Huller," *J. Tek. Mesin*, Vol. 1, No. 1, Pp. 8–13, 1999.
- [7] E. Warsopurnomo And A. Muchlisin, "Faktor-Faktor Penyebab Retaknya Jacket Cooling Di Cylinder Main Engine Mt. Sei Pakning," *Din. Bahari*, Vol. 8, No. 2, Pp. 2029–2044, 2018.
- [8] E. Febry, "Pengaruh Kotornya Plate Pada Low Temperature Cooler Terhadap Diesel Generator Dengan Metode Fault Tree Analysis Dikapal Mv. Armada Purnama." Politeknik Ilmu Pelayaran Semarang, 2017.
- [9] N. Astriawati And W. Wibowo, "Perawatan Sistem Pendingin Mesin Diesel Pada Whell Loader Komatsu Wa120-3cs," *J. Teknovasi J. Tek. Dan Inov.*, Vol. 7, No. 2, Pp. 76–85, 2020.
- [10] M. Yando, S. Kusumaningrum, And N. R. Akbara, "Analisis Pengaruh Tekanan Pompa

Pendingin Air Laut Terhadap Fresh Water Cooler Mesin Induk Mv. Ibrahim Zahier,” *Meteor Stip Marunda*, Vol. 14, No. 1, Pp. 69–77, 2021.

[11]N. Astriawati, J. Subekti, And D. D. Prasetyo, “Perawatan Sistem Pelumasan Mesin Utama Akasaka K28fd Pada Kapal Mv. Intan 81,” *Maj. Ilm. Bahari Jogja*, Vol. 21, No. 2, Pp. 86–93, 2023.

[12]J. Subekti, W. Wibowo, N. Astriawati, And M. H. Fadholi, “Optimalisasi Perawatan Sistem Pendingin Mesin Utama Tipe Hansin Glu28ag Pada Kapal,” *Din. Bahari*, Vol. 3, No. 1, Pp. 60–68, 2022.

[13]D. W. Sroyer, M. Z. L. Abrori, And S. D. P. Sidhi, “Perawatan Fresh Water Cooler Pada Sistem Pendinginan Mesin Diesel Penggerak Generator Listrik Di Kapal Navigasi Milik Distrik Navigasi Kelas I Ambon,” *Aurelia J.*, Vol. 1, No. 1, Pp. 1–11, 2019.

[14]L. Kristianto, W. Wibowo, N. Astriawati, And N. Kristiawan, “Perawatan Mesin Diesel Generator Pada Kapal Kn. Sar Sadewa 231,” *J. Appl. Mech. Eng. Renew. Energy*, Vol. 3, No. 2, Pp. 45–50, 2023.

[15]A. Audi, Y. Setiyantara, N. Astriawati, And S. Suganjar, “Evaluasi Pelaksanaan Inert Gas System (Igs) Pada Kapal Tanker (Studi Kasus Di Kapal Mt. Winson No. 5 Milik Perusahaan Winson Oil Singapore),” *J. Sains Dan Teknol. Marit.*, Vol. 21, No. 2, Pp. 126–140, 2021.

[16]M. Rahardjo, “Triangulasi Dalam Penelitian Kualitatif,” 2010.

[17]H. Wijaya, “Analisis Data Kualitatif Model Spradley (Etnografi),” 2018.

[18]W. Wibowo And N. Astriawati, “Sistem Pendingin Tertutup Pada Mesin Diesel Tipe Diesel Mak 8m32 Sebagai Penggerak Utama Kapal Motor Lit Enterprise,” *J. Polimesin*, Vol. 19, No. 1, Pp. 28–34, 2021.

EFEK PENAMBAHAN GASKET KEPALA SILINDER DAN VARIASI OKTAN BENSIN TERHADAP PERFORMA MESIN SILINDER TUNGGAL

Bahtiar Rahmat¹, Mohammad Burhan Rubai Wijaya², Fahmy Zuhda Bahtiar³, Katiko Imamul Muttaqin⁴, Yuris Bahadur Wirawan⁵

¹ Program Studi Teknik Produksi Furnitur, Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu
Jalan Wanamarta Raya No. 20, Kabupaten Kendal, Indonesia

² Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang
Kampus Sekaran, Gunung Pati, Kota Semarang, Indonesia

³ Program Studi Pendidikan Vokasional Teknik Otomotif, Fakultas Teknik, Universitas Ivet
Jalan Pawiyatan Luhur IV No.16, Bendan Duwur, Kota Semarang, Indonesia

⁴ Program Studi Tata Operasi dan Pemeliharaan Prediktif Alat Berat, Politeknik Negeri Banjarmasin
Jalan Brigadir Jendral Hasan Basri, Kota Banjarmasin, Indonesia

⁵ Program Studi Teknik Mesin Produksi dan Perawatan, Politeknik Negeri Semarang
Jalan Profesor Soedarto, SH, Kota Semarang, Indonesia

bahtiar.rahmat@poltek-furnitur.ac.id¹

Abstrak

Jumlah penjualan kendaraan bermotor mencerminkan peningkatan mobilitas masyarakat. Seiring dengan hal ini, industri juga mengembangkan mesin dengan tekanan kompresi tinggi untuk menghasilkan performa yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk melihat efek penambahan gasket pada kepala silinder serta variasi dari angka oktan bensin yang digunakan pada sebuah motor bakar silinder tunggal. Pengujian dynamometer dilakukan untuk melihat perbedaan keluaran torsi dan daya yang dihasilkan. Hasil pengujian menunjukkan jika mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² yang disertai penggunaan bensin RON 100 menghasilkan daya paling tinggi, yaitu sebesar 7,90 kW, dengan torsi puncak mencapai 9,93 Nm. Di sisi lain, torsi paling kecil dihasilkan oleh mesin yang sama saat diberikan bensin RON 92 yakni sebesar 4,78 Nm dengan keluaran daya terendah sebesar 5,43 kW.

Kata kunci : unjuk kerja, kompresi, oktan, dynamometer

Abstract

The total motor vehicle sales reflected an increase in people's mobility. Alongside this, the industry also developed high compression engines to achieve optimal performance. This research aims to examine the effects of adding a cylinder head gasket and variations in the octane number of gasoline used in a single-cylinder internal combustion engine. Dynamometer testing was conducted to observe the differences in torque and power output. The test results indicate that an engine with a compression ratio of 11,8 Kg/cm², coupled with the use of RON 100 gasoline, produces the highest power output, which is 7.90 kW, with peak torque reaching 9.93 Nm. On the other hand, the smallest torque is generated by the same engine when supplied with RON 92 gasoline, at 4.78 Nm, with the lowest power output of 5.43 kW.

Key words : performance, compression, octane, dynamometer

PENDAHULUAN

Mesin pembakaran bekerja dengan mekanisme merubah energi kimia bahan bakar

menjadi energi termal melalui proses pembakaran atau oksidasi dengan udara di dalam mesin. Energi termal ini meningkatkan suhu dan tekanan dari gas di dalam mesin, dan gas bertekanan tinggi ini kemudian bergerak melawan mekanisme mekanik mesin [1]. Mesin yang digunakan pada kendaraan

bermotor beroperasi dengan mengandalkan gerakan bolak-balik dari sebuah torak di dalam silinder [2]. Mesin penyalan busi (*spark-ignition engine*) adalah jenis mesin yang umum digunakan pada kendaraan pribadi seperti mobil atau sepeda motor. Mesin ini membuat campuran awal (*premixed*) bahan bakar dan udara sebelum memasuki silinder mesin, menggunakan karburator maupun sebuah injektor bahan bakar [3].

Kinerja sebuah mesin bergantung pada efisiensi pembakaran campuran bahan bakar dan udara di dalam ruang bakar. Pada mesin dengan tekanan kompresi yang tinggi dan disertai dengan penggunaan bahan bakar berkualitas, maka hasilnya adalah kinerja mesin yang optimal [4]. Meningkatkan angka oktan pada bahan bakar memiliki efek yang terkait dengan menyederhanakan proses pembakaran dan mengurangi risiko terjadinya detonasi [5]. Zhou dkk melaporkan jika meningkatkan angka oktan (RON) secara signifikan meningkatkan efisiensi dari konsumsi bahan bakar [6].

Penggunaan bahan bakar dengan oktan tinggi juga meningkatkan *output* daya motor serta mempersingkat waktu akselerasi. Pemakaian bahan bakar dengan oktan tinggi juga akan mengurangi emisi gas buang, hal ini dikarenakan konsumsi dari bahan bakar yang semakin sedikit [7]. Menggunakan bahan bakar dengan angka oktan lebih tinggi dapat mengurangi efek dari detonasi (*knocking*) dan meningkatkan efisiensi termal pada mesin [8]. Pada saat terjadi detonasi, terjadi osilasi tekanan pada frekuensi tinggi yang bisa diamati [9].

Peggunaan bensin oktan rendah pada mesin dengan tekanan kompresi yang tinggi beresiko meningkatkan terjadinya detonasi. Detonasi adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan fenomena gelombang yang terjadi ketika sebagian campuran udara-bahan bakar menyala secara spontan sebelum adanya nyala api dari busi [3]. Fenomena detonasi berpotensi menyebabkan berbagai jenis kerusakan, seperti kerusakan kepala piston & kebocoran pada gasket kepala silinder [10].

Berdasarkan data dari Asosiasi Sepeda Motor Indonesia, Penjualan sepeda motor dalam negeri terus mengalami pertumbuhan pada tahun 2022 hingga 2024. Dengan total angka penjualan mencapai 5,221,470 unit, mengalami kenaikan sekitar 3,24% dibandingkan dengan tahun sebelumnya pada tahun 2022, pertumbuhan sebesar 19,44% pada tahun 2023 dan kenaikan total penjualan 1,54% pada tahun 2024 sebanyak 6.333.310 unit. Sedangkan pada Kuartal 1 2025 (Januari s/d. Maret) tercatat penjualan sepeda motor sebanyak 1.683.262 unit dimana sepeda motor terindikasi sebagai pengguna terbesar bahan bakar bensin [11]. Saat ini indonesia memiliki beberapa

jenis bensin yang dijual dengan varian jenis yang didasarkan pada nilai oktan (RON). Mulai dari RON 90, RON 92, RON 95, RON 98 bahkan RON 100 [12].

Data statistik terbaru dari Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi menunjukkan bahwa penjualan bensin RON 90 masih jauh lebih tinggi dibandingkan penjualan bensin RON 92 dan 95 [13]. Hal ini bermakna, jika masih banyak konsumen di Indonesia yang memilih bahan bakar dengan oktan rendah, meski pada mesin terbaru yang cenderung memiliki tekanan kompresi tinggi. Konsumsi bahan bakar bisa dikurangi secara efektif dengan meningkatkan tekanan kompresi [14]. Meningkatkan tekanan kompresi mesin juga bisa meningkatkan suhu pembakaran dalam silinder mesin, sehingga bisa meningkatkan persentase pembakaran yang sempurna, dimana hal ini secara aktif akan mengurangi emisi hidrokarbon [15].

Berdasarkan uraian di atas, kami akan melakukan pengujian unjuk kerja pada sebuah mesin satu silinder yang memiliki dua tingkat tekanan kompresi yang berbeda, yakni 11 Kg/cm² dan 11,8 Kg/cm² dengan menggunakan tiga jenis bensin yang berbeda, yakni bensin RON 92, RON 95, dan RON 100, dengan tujuan untuk mengamati perbedaan daya dan torsi yang dihasilkan dari setiap pengujian.

METODE PENELITIAN

Pengujian ini menggunakan sepeda motor dengan mesin silinder tunggal berkapasitas 125 cc. Pemilihan jenis mesin ini didasarkan pada popularitas kendaraan di Indonesia yang menggunakan mesin silinder tunggal berkapasitas 125 cc. Penambahan jumlah gasket pada kepala silinder dimaksudkan agar terjadi perubahan volume dari ruang bakar sehingga terjadi perubahan tekanan kompresi. Selama pengujian, pengaturan *main jet*, *pilot jet*, dan jumlah putaran *idle screw* pada karburator konstan. Agar diperoleh data yang akurat dan konsisten, maka masing-masing skema pengujian diulang sebanyak tiga kali. Data hasil pengujian kemudian dianalisis secara langsung untuk mendapatkan kesimpulan. Selain itu, data hasil pengujian akan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel untuk mempermudah pemahaman pembaca.

Keluaran torsi, serta daya atau tenaga yang dihasilkan oleh sebuah mesin diukur dengan dinamometer. Alat ini bekerja dengan cara mengukur gaya-gaya yang timbul dari mesin tersebut. Prinsip kerja dinamometer melibatkan memberikan beban resistansi pada mesin yang sedang diuji. Dalam pengujian unjuk kerja mesin, dinamometer akan mencatat data mengenai torsi

yang dihasilkan oleh mesin pada berbagai putaran mesin, dan data tersebut akan diolah untuk menghitung daya yang dihasilkan oleh mesin pada putaran tertentu. Prinsip dasar ini memberikan pemahaman yang lebih akurat tentang performa dan karakteristik mesin[16].

Tabel 1. Spesifikasi mesin untuk uji performa

Tipe mesin	4-langkah, SOHC
Isi silinder (cc)	124,8
Diameter*langkah (mm*mm)	52,4 x 57,9
Perbandingan kompresi	9,0 : 1
Sistem pengabutan	Karburator

Persamaan (1) digunakan untuk pengukuran unjuk kerja mesin, di mana (T) merupakan torsi, (F) adalah gaya yang diterapkan pada rotor, dan (r) adalah jarak yang digunakan sebagai faktor perkalian.

$$T = \int r \cdot F \delta r \dots\dots\dots(1)$$

Persamaan (2) digunakan untuk mengukur besarnya *output* daya yang dihasilkan, dimana N adalah kecepatan putaran *crankshaft*.

$$P = \frac{2 \pi N T}{60 \times 1000} \dots\dots\dots(2)$$

Tabel 2 menunjukkan spesifikasi bahan bakar yang dipakai pada pengujian. Beberapa peralatan pendukung seperti buret ukur, peralatan servis dan *timer* atau *stopwatch* juga digunakan. Sebelum pengujian dengan *dynamometer*, langkah pertama adalah menempatkan sepeda motor dengan benar sehingga roda belakang berada secara tepat berada di atas *roller dynamometer*. Selanjutnya, kabel *tachometer* dari *dynamometer* disambungkan dengan kabel dari koil yang menuju pada busi, dan melepaskan selang yang terhubung dengan karburator. Kemudian, selang dari buret ukur akan menggantikan selang yang menuju karburator. Buret ukur akan diisi secara bergantian dengan bensin RON 92, RON 95 dan RON 100.

Tabel 2. Spesifikasi bensin untuk uji performa

Unit	RON 92	RON 95	RON 100
RON	92	95	100
Nilai kalor (kj/kg)	43848	43920	47336
Destilasi			
10% evap. volume (°C)	70	68	62
50% evap. volume (°C)	110	103	105
90% evap. volume (°C)	180	165	151
Titik Didih Akhir (°C)	215	205	203
Berat Jenis (Kg/m ³)	770	760	721

Pengujian unjuk kerja mesin bisa dilakukan oleh dua orang, dimana satu orang akan mengoperasikan sepeda motor, sedangkan satu orang lain akan mengoperasikan perangkat lunak pengujian *dynamometer* yang sudah terpasang sebelumnya pada komputer pengujian. Skema pengujian dengan *dynamometer* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Skema uji *dynamometer*; (1) monitor, (2) *roller dynamometer*, (3) GPU (*graphic processing unit*), (4) kipas *blower*

HASIL DAN PEMBAHASAN

KOMPARASI *OUTPUT* TORSI

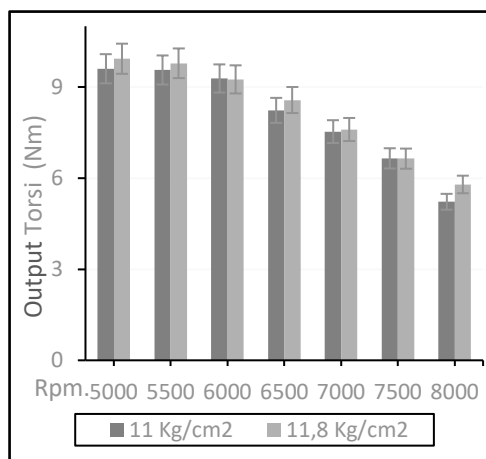
Pengujian *dynamometer* pada mesin silinder tunggal telah dilakukan untuk mengetahui besarnya keluaran torsi. Data yang tertera pada Tabel 3 menunjukkan hasil pengujian *output* torsi mesin yang diberikan bensin RON 100. Setiap data yang muncul merupakan nilai rata-rata dari tiga kali pengulangan. Secara umum, mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² mampu menghasilkan keluaran torsi yang lebih besar dibandingkan dengan mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm².

Tabel 3. *Output* torsi dengan bensin RON 100

<i>Output</i> torsi (Nm) pada variasi tekanan kompresi		
Rpm	11 Kg/cm ²	11,8 Kg/cm ²
5000	9,60	9,93
5500	9,56	9,78
6000	9,28	9,25
6500	8,23	8,57
7000	7,53	7,60
7500	6,65	6,64
8000	5,22	5,79

Penggunaan bensin dengan angka oktan tinggi pada mesin dengan tekanan kompresi tinggi akan menghasilkan keluaran torsi yang optimal [17].

Output torsi puncak sebesar 9,93 Nm diperoleh pada mesin tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² pada putaran 5000 Rpm. Di sisi lain, pada Rpm yang sama mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm² hanya mampu mencapai *output* torsi sebesar 9,60 Kg/cm². Hasil pengujian *output* torsi pada mesin yang diberikan bensin RON 100 bisa dicermati pada Gambar 2.

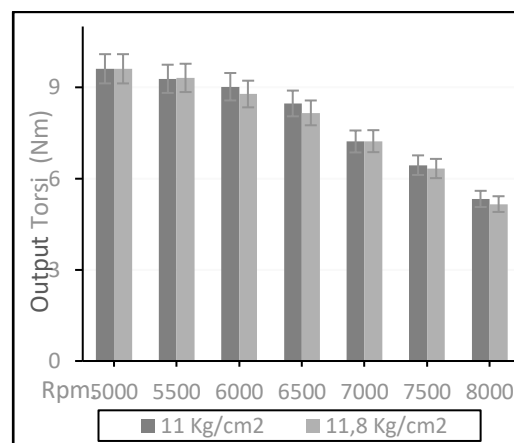


Gambar 2 *Output* torsi mesin dengan bensin RON 100 pada variasi tekanan kompresi

Rumus Nilai *output* torsi terendah dihasilkan oleh mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm² pada putaran 8000 Rpm, dimana hanya mampu mencatatkan torsi sebesar 5,22 Nm. Di sisi lain, mesin yang sama dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² mampu menghasilkan *output* torsi 10,9% lebih besar. Mesin dengan tekanan kompresi tinggi jika dikombinasikan dengan pemilihan bensin dengan oktan yang sesuai akan menghasilkan pembakaran yang efisien, dimana hasilnya adalah *output* torsi yang optimal pula [7].

Berdasarkan data dari Tabel 4, terlihat hasil pengujian torsi mesin yang menggunakan bensin RON 95. *Output* torsi puncak, yaitu 9,61 Nm, dicapai oleh mesin pada rentang putaran mesin sebesar 5000 Rpm. Sedangkan pada putaran mesin 6000 Rpm, mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm² mampu menghasilkan *output* torsi lebih besar, yakni sebesar 9,02 Nm. Pada Rpm yang sama, mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² justru menghasilkan *output* torsi lebih rendah yakni sebesar 8,78 Nm.

Gambar 3 menunjukkan perbedaan *output* torsi dari mesin satu silinder dengan variasi tekanan kompresi yang diberi bensin RON 95. *Output* torsi terendah, yakni 5,16 Nm, dihasilkan oleh mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² pada rentang putaran mesin 8000 Rpm. Pada rentang putaran mesin yang sama, mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm² mampu menghasilkan *output* torsi 0,17 Nm yang lebih besar.



Gambar 3 *Output* torsi mesin dengan bensin RON 95 pada variasi tekanan kompresi

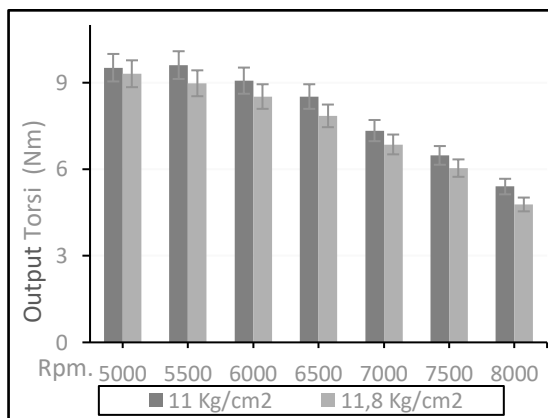
Hal yang sama juga terjadi saat mesin berputar pada 7500 Rpm, dimana mesin tekanan kompresi 11 Kg/cm² mampu menghasilkan *output* torsi hingga 6,44 Nm, di sisi lain, mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² hanya mencatatkan *output* torsi sebesar 6,33 Nm. Pengujian ini kembali membuktikan, jika Pemilihan oktan bensin yang sesuai dengan tekanan kompresi mesin akan menghasilkan *output* torsi yang ideal [9]. Berdasarkan pengujian ini, Nampak jika penggunaan bensin RON 95 paling ideal digunakan pada mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm².

Pengujian torsi telah dilakukan pada berbagai tingkat tekanan kompresi dengan menggunakan bensin RON 92, RON 95, dan RON 100. Hasil pengujian torsi pada mesin yang menggunakan bensin RON 92 telah ditampilkan dalam Tabel 4. Setiap nilai torsi ini diperoleh melalui tiga uji coba berulang, dan angka yang tercantum di Tabel 4 adalah nilai rata-rata. Secara keseluruhan, torsi yang lebih tinggi pada semua putaran mesin dihasilkan oleh mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm².

Tabel 4. *Output* torsi pada variasi tekanan kompresi dengan bensin RON 95 & RON 92

Rpm	<i>Output</i> torsi mesin (Nm)			
	RON 95		RON 92	
	11 Kg/cm ²	11,8 Kg/cm ²	11 Kg/cm ²	11,8 Kg/cm ²
5000	9,61	9,61	9,52	9,31
5500	9,28	9,31	9,61	8,98
6000	9,02	8,78	9,07	8,52
6500	8,47	8,16	8,52	7,85
7000	7,22	7,23	7,34	6,86
7500	6,44	6,33	6,48	6,04
8000	5,33	5,16	5,40	4,78

Pengujian torsi dengan bensin RON 92 mencatatkan *output* puncak torsi diperoleh pada mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm² pada putaran 5500 Rpm. Di sisi lain, mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² hanya mampu mencatatkan *output* torsi sebesar 8,98 Nm pada putaran mesin yang sama. Contoh lain, pada putaran 7000 Rpm, mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm² mampu menyemburkan torsi sebesar 7,34 Nm, dimana nilai ini 7,1% lebih besar jika dibandingkan dengan mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm². Dari pengujian ini, nampak jika bensin RON 92 sesuai jika digunakan pada mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm². Gambar 4 menunjukkan data hasil pengujian *output* torsi pada mesin yang diberi bensin RON 92 secara lebih jelas. Pengujian ini menegaskan bahwa mesin dengan tekanan kompresi tertentu yang diberikan bensin dengan oktan yang sesuai akan menghasilkan *output* torsi yang optimal [6].

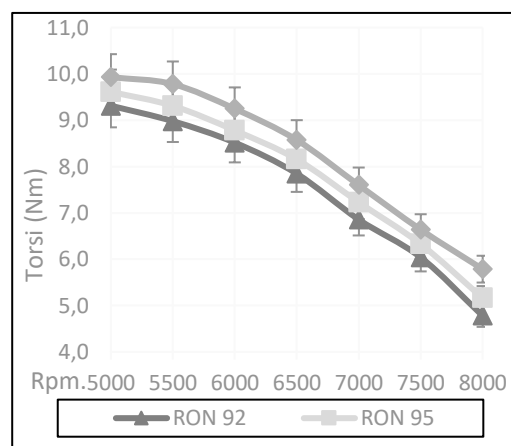


Gambar 4 *Output* torsi mesin dengan bensin RON 92 pada variasi tekanan kompresi

Perbandingan *output* torsi yang dihasilkan oleh mesin yang beroperasi pada tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² dengan tiga jenis bahan bakar, yaitu RON 92, RON 95, dan RON 100, ditampilkan dalam data pada Gambar 5. Dari kisaran putaran mesin 5000 Rpm hingga 8000 Rpm, terlihat bahwa *output* nilai torsi yang lebih besar terlihat pada mesin yang menggunakan bensin RON 100. Secara keseluruhan, *output* torsi yang dihasilkan oleh mesin yang diberi bensin RON 100 mencatatkan 5,5% dan 9,9% lebih besar dibandingkan dengan mesin yang menggunakan bensin RON 95 dan bensin RON 92 secara berurutan.

Gambar 5 bisa diamati, jika mesin yang diberi bensin RON 95 secara keseluruhan menghasilkan *output* torsi yang lebih besar daripada mesin yang diberi bensin RON 92, namun tidak mampu melebihi *output* torsi mesin yang diberi bensin RON 100. Hal ini kembali memperkuat

bahwa penggunaan bahan bakar dengan tingkat oktan yang tinggi pada mesin yang memiliki tekanan kompresi yang tinggi akan menghasilkan *output* torsi yang optimal [18]. Aplikasi dari bahan bakar dengan oktan yang lebih tinggi, selain mengurangi resiko terjadinya detonasi, juga mampu menurunkan kadar emisi karbon yang dihasilkan, karena mekanisme pembakaran yang optimal bisa tercapai [19].



Gambar 5 *Output* torsi dengan bensin RON 92, 95 & 100 pada kompresi 11,8 Kg/cm²

KOMPARASI OUTPUT DAYA

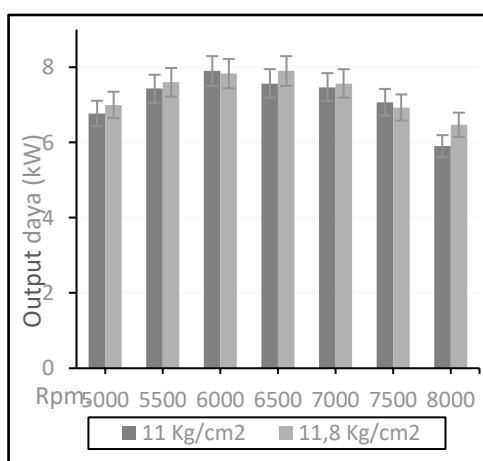
Berdasarkan informasi yang terdapat dalam Tabel 5, perbandingan *output* daya pada berbagai tingkat tekanan kompresi ketika mesin diberi bensin RON 100 selama uji coba dapat diamati. Setiap data *output* daya diperoleh melalui tiga percobaan berbeda, nilai yang tercatat di Tabel 5 adalah nilai rata-rata dari ketiga percobaan tersebut. Secara keseluruhan, *output* daya yang lebih tinggi pada berbagai putaran mesin (Rpm) dihasilkan oleh mesin dengan tekanan kompresi yang lebih tinggi, yaitu 11,8 Kg/cm². Tabel 5 mencatat jumlah *output* daya dalam satuan kiloWatt (kW) pada berbagai variasi tekanan kompresi.

Tabel 5. *Output* daya dengan bensin RON 100

<i>Output</i> daya (kW) pada variasi tekanan kompresi		
Rpm	11 Kg/cm ²	11,8 Kg/cm ²
5000	6,77	7,00
5500	7,43	7,60
6000	7,90	7,83
6500	7,57	7,90
7000	7,47	7,57
7500	7,07	6,93
8000	5,90	6,47

Secara keseluruhan, daya yang lebih tinggi pada berbagai putaran mesin (Rpm) juga dihasilkan oleh mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm².

Di sisi lain, daya yang lebih rendah cenderung dihasilkan oleh mesin dengan tekanan kompresi yang lebih rendah, yakni 11 Kg/cm², pada berbagai kisaran putaran mesin (Rpm). Sebagai contoh, pada putaran 6500 Rpm, mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm² menghasilkan *output* daya 4,4% lebih rendah dibandingkan dengan mesin yang memiliki tekanan kompresi 11,8 Kg/cm². Pada putaran mesin 6500 Rpm, daya puncak sebesar 7,90 kW dihasilkan oleh mesin dengan kompresi 11,8 Kg/cm². Informasi lebih rinci mengenai uji daya mesin yang diberi bensin RON 100 dapat ditemukan dalam Gambar 6.



Gambar 6 *Output* daya mesin dengan bensin RON 100 pada variasi tekanan kompresi

Output daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm² juga dihasilkan oleh mesin yang menggunakan bensin RON 100 dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² pada hampir semua tingkat putaran mesin. Temuan ini secara jelas mengkonfirmasi bahwa mesin dengan tekanan kompresi yang lebih tinggi memerlukan bahan bakar dengan angka oktan yang lebih tinggi untuk mencapai *output* daya yang optimal [20].

Berdasarkan data dari Tabel 6, terlihat hasil pengujian daya mesin yang menggunakan bensin RON 95. *Output* daya sebesar 7,50 kW, dicapai oleh mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² pada rentang putaran mesin sebesar 6500 Rpm. Sedangkan pada saat yang sama, mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm² mampu menghasilkan *output* daya yang lebih besar, yakni 7,77 kW.

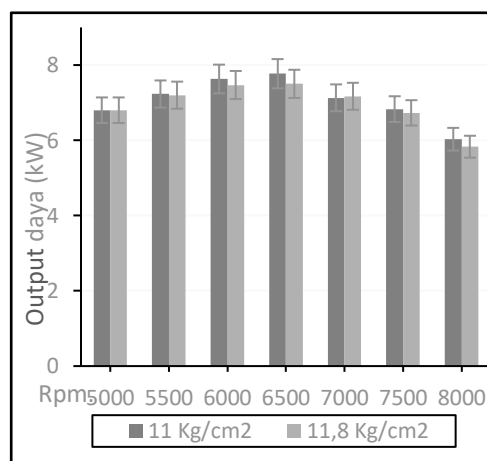
Perbedaan *output* daya dari mesin satu silinder dengan variasi tekanan kompresi yang diberi bensin RON 95 juga terjadi. *Output* daya terendah, yakni 5,83 kW, kembali dihasilkan oleh mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² pada rentang putaran mesin 8000 Rpm. Pada rentang putaran mesin yang sama, mesin dengan tekanan kompresi

11 Kg/cm² mampu menghasilkan *output* daya yang lebih besar sekitar 0,20 kW.

Tabel 6. *Output* daya pada variasi tekanan kompresi dengan bensin RON 95 & RON 92

Rpm	<i>Output</i> daya mesin (kW)			
	RON 95		RON 92	
	11 Kg/cm ²	11,8 Kg/cm ²	11 Kg/cm ²	11,8 Kg/cm ²
5000	6,80	6,80	6,70	6,57
5500	7,23	7,20	7,43	6,97
6000	7,63	7,47	7,67	7,20
6500	7,77	7,50	7,83	7,23
7000	7,13	7,17	7,27	6,80
7500	6,83	6,73	6,90	6,43
8000	6,03	5,83	6,13	5,43

Hal yang sama juga terjadi saat mesin berputar pada 7500 Rpm, dimana mesin tekanan kompresi 11 Kg/cm² mampu menghasilkan *output* daya hingga 6,83 kW, di sisi lain, mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² hanya mencatatkan *output* daya sebesar 6,73 kW. Pengujian ini kembali membuktikan bahwa pemilihan oktan bensin yang sesuai dengan tekanan kompresi mesin akan menghasilkan *output* torsi yang ideal [8]. Berdasarkan pengujian ini, nampak jika penggunaan bensin RON 95 paling ideal digunakan pada mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm². Data pengujian keluaran daya mesin dengan bensin RON 95 secara lengkap ditampilkan pada Gambar 7.

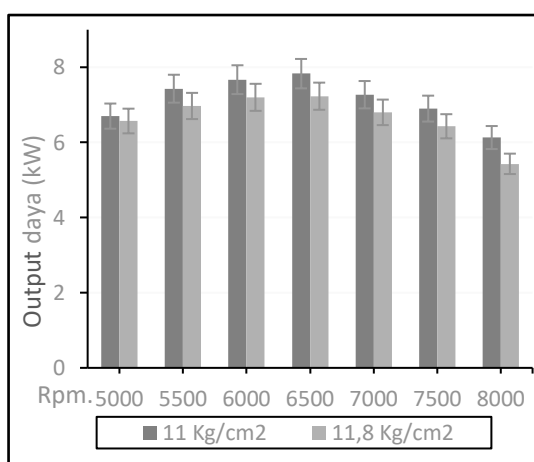


Gambar 7 *Output* daya mesin dengan bensin RON 95 pada variasi tekanan kompresi

Pengujian daya telah dilakukan pada berbagai tingkat tekanan kompresi dengan menggunakan bensin RON 92, RON 95, dan RON 100. Hasil pengujian daya pada mesin yang menggunakan bensin RON 92 telah ditampilkan

dalam Tabel 6. Setiap nilai daya ini diperoleh melalui tiga uji coba berulang, dan angka yang tercantum di Tabel 6 adalah nilai rata-rata. Secara keseluruhan, daya yang lebih tinggi pada semua putaran mesin dihasilkan oleh mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm².

Gambar 8 menunjukkan data hasil pengujian *output* daya pada mesin yang diberi bensin RON 92 secara lebih jelas. Pengujian daya dengan bensin RON 92 mencatatkan *output* daya puncak diperoleh pada mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm² pada putaran 6500 Rpm sebesar 7,83 kW. Di sisi lain, mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² hanya mampu mencatatkan *output* daya sebesar 7,23 kW pada putaran mesin yang sama. Sebagai contoh lain, pada putaran 5500 Rpm, mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm² mampu menyemburkan daya sebesar 7,43 kW, dimana nilai ini 6,3% lebih besar jika dibandingkan dengan mesin dengan tekanan kompresi 11,8 Kg/cm². Dari pengujian ini, nampak jika bensin RON 92 paling sesuai jika digunakan pada mesin dengan tekanan kompresi 11 Kg/cm². Pengujian ini semakin menegaskan bahwa mesin dengan tekanan kompresi tertentu yang diberi bensin dengan oktan yang sesuai akan menghasilkan *output* daya yang optimal [7].

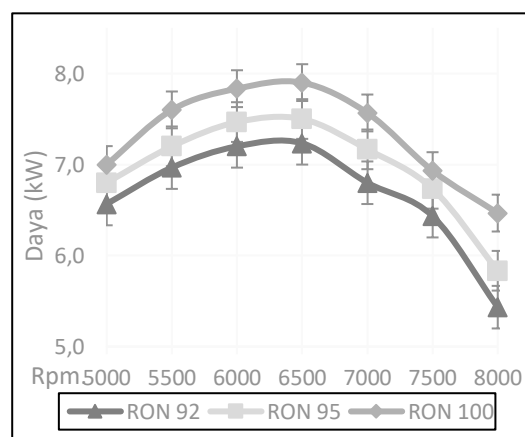


Gambar 8 *Output* daya mesin dengan bensin RON 92 pada variasi tekanan kompresi

Perbandingan *output* daya yang dihasilkan oleh mesin yang beroperasi pada tekanan kompresi 11,8 Kg/cm² dengan tiga jenis bahan bakar, yaitu RON 92, RON 95, dan RON 100, ditampilkan dalam data pada Gambar 9. Dari kisaran putaran mesin 5000 Rpm hingga 8000 Rpm, terlihat bahwa *output* nilai daya yang lebih besar terlihat pada mesin yang menggunakan bensin RON 100. Secara keseluruhan, *output* daya yang dihasilkan oleh mesin yang diberi bensin RON 100 mencatatkan peningkatan sebesar 5,34% dan 10% dibandingkan dengan mesin yang

menggunakan bensin RON 95 dan bensin RON 92 secara berurutan [21]. Peningkatan tekanan kompresi pada ruang bakar mampu meningkatkan daya dan torsi yang dihasilkan jika diikuti dengan bensin yang memiliki oktan yang tinggi. Namun oktan yang tinggi bermakna jika semakin sulit bahan bakar untuk terbakar, selain dari titik didih dari bensin itu sendiri, sehingga penyesuaian dari timing pembakaran juga perlu dilakukan agar memperoleh daya yang benar-benar optimal [22].

Berdasar data dari Gambar 9 juga bisa diamati bahwa secara keseluruhan, mesin yang diberi bensin RON 95 menghasilkan *output* daya yang lebih besar daripada mesin yang diberi bensin RON 92, tetapi tidak mampu melebihi *output* daya mesin yang diberi bensin RON 100. Hal ini sekali lagi memperkuat konsep bahwa penggunaan bahan bakar dengan tingkat oktan yang tinggi pada mesin yang memiliki tekanan kompresi yang tinggi akan menghasilkan daya yang optimal [22].



Gambar 9 *Output* torsi mesin dengan bensin RON 92, 95 & 100 pada kompresi 11,8 Kg/cm²

KESIMPULAN

Kinerja sebuah mesin pembakaran dalam sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor kunci, diantaranya: tekanan kompresi dan oktan dari bahan bakar yang digunakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin dengan tekanan kompresi sebesar 11,8 Kg/cm² serta menggunakan bensin RON 100, maka menghasilkan *output* daya dan torsi yang paling optimal. Oleh karena itu, pemilihan bahan bakar dengan angka oktan yang tepat yang sesuai tekanan kompresi mesin menjadi suatu hal yang sangat penting untuk mencapai *output* daya dan torsi yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. W. Pulkrabek, *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Wisconsin: Prentice-Hall, 1997.
- [2] R. Stone, *Introduction to Internal Combustion Engines*. 1999. doi: 10.1007/978-1-349-14916-2.
- [3] J. B. Heywood, *Internal Combustion Engine (ICE) Fundamentals*, vol. 21. 1988. doi: 10.1002/9781118991978.hces077.
- [4] R. K. Maurya and A. K. Agarwal, "Experimental study of combustion and emission characteristics of ethanol fuelled port injected homogeneous charge compression ignition (HCCI) combustion engine," *Appl. Energy*, vol. 88, no. 4, pp. 1169–1180, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.09.015>
- [5] J. Shao and C. J. Rutland, "Modeling Investigation of Different Methods to Suppress Engine Knock on a Small Spark Ignition Engine," *J. Eng. Gas Turbines Power*, vol. 137, no. 6, Jun. 2015, doi: 10.1115/1.4028870.
- [6] Z. Zhou *et al.*, "The significance of octane numbers to drive cycle fuel efficiency," *Fuel*, vol. 302, p. 121095, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121095>.
- [7] J. Rodríguez-Fernández, Á. Ramos, J. Barba, D. Cárdenas, and J. Delgado, "Improving Fuel Economy and Engine Performance through Gasoline Fuel Octane Rating," 2020. doi: 10.3390/en13133499.
- [8] F. Bi, T. Ma, and X. Wang, "Development of a novel knock characteristic detection method for gasoline engines based on wavelet-denoising and EMD decomposition," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 117, pp. 517–536, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2018.08.008>.
- [9] Y. Qi, Z. Wang, J. Wang, and X. He, "Effects of thermodynamic conditions on the end gas combustion mode associated with engine knock," *Combust. Flame*, vol. 162, no. 11, pp. 4119–4128, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.combustflame.2015.08.016>.
- [10] Z. Wang *et al.*, "Relationship between super-knock and pre-ignition," *Int. J. Engine Res.*, vol. 16, pp. 166–180, Jan. 2014, doi: 10.1177/1468087414530388.
- [11] AISI, "Domestic Statistic Distribution of Motorcycle in Indonesia 2024," 2024. [Online]. Available: <https://www.aisi.or.id/statistic/>
- [12] Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, "Nomor: 0177K/10/DJM.T/2018. tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin yang Dipasarkan di dalam Negeri," 2018.
- [13] Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi, "Statistik minyak gas dan bumi semester 1," 2021.
- [14] B. Zhang, Y. Chen, Y. Jiang, W. Lu, and W. Liu, "Effect of compression ratio and Miller cycle on performance of methanol engine under medium and low loads," *Fuel*, vol. 351, p. 128985, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128985>.
- [15] C. Gong, F. Liu, J. Sun, and K. Wang, "Effect of compression ratio on performance and emissions of a stratified-charge DISI (direct injection spark ignition) methanol engine," *Energy*, vol. 96, pp. 166–175, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.12.062>
- [16] M. A. de M. Lourenço, J. J. Eckert, F. L. Silva, M. H. R. Miranda, and L. C. de A. e Silva, "Uncertainty analysis of vehicle fuel consumption in twin-roller chassis dynamometer experiments and simulation models," *Mech. Mach. Theory*, vol. 180, p. 105126, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2022.105126>.
- [17] B. Rahmat and M. B. R. Wijaya, "Performance Comparison of One Cylinder Combustion Engine with Variations of Compression Pressure and Octane Number Gasoline," *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 17, no. 1, pp. 31–37, 2023, doi: <https://doi.org/10.24853/sintek.17.1.31-37>.
- [18] B. Rahmat, M. B. R. Wijaya, Y. B. Wirawan, and F. Z. Bahtiar, "Performa motor bakar satu silinder dengan variasi oktan bahan bakar dan tekanan kompresi," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 18, no. 2, pp. 83–89, 2023.

- [19] N. Najamudin, "Analisa Pengaruh Penambahan Zat Aditif Alami Pada Bensin Terhadap Emisi Gas Buang Untuk Sepeda Motor 4 Langkah," *Mach. J. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 1, pp. 6–13, 2018, doi: 10.33019/jm.v4i1.446.
- [20] B. Rahmat, M. B. R. Wijaya, F. Z. Bahtiar, Y. B. Wirawan, and K. I. Muttaqin, "EFFECT OF CYLINDER HEAD GASKET ADDITION AND VARYING OCTANE NUMBER GASOLINE TO INTERNAL COMBUSTION ENGINE," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 25, no. 1, pp. 50–63, 2024.
- [21] B. Rahmat, M. B. R. Wijaya, Y. B. Wirawan, and F. Z. Bahtiar, "Performa motor bakar silinder tunggal dengan variasi angka oktan bahan bakar dan tekanan kompresi," *Din. Tek. Mesin*, vol. 14, no. 1, p. 1, 2024, doi: 10.29303/dtm.v14i1.677.
- [22] Z. Zhou *et al.*, "The significance of octane numbers to hybrid electric vehicles with turbocharged direct injection engines," *Fuel*, vol. 334, p. 126604, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126604>

PENGARUH VARIASI FRAKSI PENGUAT DAN SUHU SINTERING AMC TERHADAP NILAI DENSITAS DAN KEKERASAN DENGAN SiO₂/RHA/BA

Fahrian Hasbi ¹, Sukanto ^{1*}, Erwanto ¹

¹ Program Studi Teknik Mesin dan Manufaktur, Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung

Kawasan Industri Airkantung Sungailiat Bangka-33211- Telepon (0717) 93586

sukanto@polman-babel.ac.id ¹

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi fraksi penguat dan suhu sintering terhadap nilai densitas dan kekerasan komposit bermatriks aluminium yang diperkuat dengan pasir silika, ampas tebu, dan sekam padi. Serbuk aluminium daur ulang digunakan sebagai matriks dengan komposisi fraksi penguat sebesar 6 %, 8 %, dan 10 %. Proses pembuatan komposit meliputi pencampuran serbuk menggunakan metode mechanical alloying, dilanjutkan dengan proses kompaksi panas pada suhu sintering tertutup 530 °C, 550 °C, dan 570 °C. Pengujian densitas dilakukan berdasarkan standar ASTM B962-17, sedangkan kekerasan diuji menggunakan standar ASTM E110-14. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan fraksi penguat dan suhu sintering berpengaruh signifikan terhadap nilai densitas dan kekerasan. Nilai densitas tertinggi sebesar 2,387 g/cm³ dan kekerasan tertinggi sebesar 45,9 HB dicapai pada fraksi penguat 10% dengan suhu sintering 570 °C.

Kata kunci : komposit-matrik-alumunium, fraksi-penguat, suhu-sintering, densitas, kekerasan.

Abstract

This study aims to evaluate the effect of reinforcement fraction variation and sintering temperature on the density and hardness values of aluminum matrix composites reinforced with silica sand, bagasse ash and rice husk ash. Recycled aluminum powder was used as the matrix with reinforcement fractions of 6 %, 8 %, and 10 %. The composite fabrication process involved powder mixing using the mechanical alloying method, followed by hot compaction at close sintering temperatures of 530 °C, 550 °C, and 570 °C. Density testing was conducted according to ASTM B962-17 standards, while hardness was tested based on ASTM E110-14 standards. The results show that increasing the reinforcement fraction and sintering temperature significantly affects the density and hardness values. The highest density value of 2.387 g/cm³ and the highest hardness value of 45.9 HB were achieved at a reinforcement fraction of 10% and a sintering temperature of 570 °C.

Key words : aluminum-matrix-composite, reinforcement-fraction, sintering-temperature, density, hardness.

PENDAHULUAN

Sampah Industri manufaktur berkembang dengan pesat, membawa dampak positif sekaligus tantangan, seperti munculnya limbah industri, termasuk limbah dari proses pengolahan bahan dan produk bekas pakai. Produk berbahan aluminium terus berkembang di berbagai sektor, seperti rumah tangga, konstruksi, otomotif, dan penerbangan. Indonesia memiliki sumber daya tambang aluminium yang melimpah dan memproduksi aluminium dalam jumlah besar, yang juga menyebabkan peningkatan limbah aluminium [1] [2]. Limbah aluminium dapat diolah lebih lanjut untuk menghasilkan material lain yang memiliki nilai tambah, seperti untuk pembuatan komposit.

Aluminium dapat berperan sebagai matriks dalam komposit, dengan bahan penguat berupa partikel yang lebih keras, seperti silikon karbida (SiC) [3] [4]. Material komposit terdiri dari dua komponen utama, yaitu matriks dan penguat. Matriks merupakan bagian terbesar dalam struktur komposit dan dapat terbuat dari logam, keramik, atau polimer. Salah satu jenis komposit yang banyak dikembangkan di industri adalah komposit dengan matriks logam aluminium [5]. Teknologi komposit bertujuan untuk meningkatkan efisiensi struktur dan karakterisasi sifat material yang signifikan, seperti untuk aplikasi material yang ringan tetapi sangat kuat. Komposit bermatrik alumunium (*Aluminium Matrix Composites*) dikembangkan dalam industri otomotif ini karena sifatnya Aluminium yang tahan korosi, massa jenis yang ringan, konduktivitas panas

dan elektrik yang tinggi [6] [7]. Metalurgi serbuk adalah salah satu metode produksi yang memanfaatkan serbuk sebagai bahan awal sebelum memasuki tahap pembentukan. Proses ini dilakukan dengan memadatkan serbuk logam sesuai bentuk yang diinginkan, kemudian memanaskannya pada suhu sekitar 90 % dari suhu titik lelehnya [8] [9] [10]. Proses metalurgi serbuk menghasilkan produk akhir dengan minimnya bahan yang terbuang atau tidak terpakai [11]. Penelitian ini membahas mengenai pengaruh variasi fraksi penguat berupa paduan serbuk silika, serbuk abu ampas tebu dan abu sekam padi menggunakan matrik logam aluminium hasil daur ulang dengan teknologi metalurgi serbuk terhadap nilai densitas dan kekerasan komposit yang dihasilkan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan serbuk aluminium yang merupakan hasil daur ulang dengan penguat menggunakan pasir silika, *baggase ash*, dan *rice husk ash*, seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2 dengan perbandingan komposisi 94 %, 92 % dan 90 % serbuk aluminium, serta 6 %, 8 %, 10% serbuk penguat, hal ini mengacu pada penelitian sebelumnya [11].

Serbuk aluminium yang digunakan mempunyai ukuran *Particle Size Analyzer* D50:282,53 μm . diketahui dari hasil pengujian komposisi kimia di Laboratorium Logam Ceper. Serbuk Aluminium ini memiliki kandungan senyawa yaitu 83,4 % Al, 10,09 % Si dan 2,6 % Cu(FeO₂). Serbuk penguat yang digunakan merupakan pasir silika tailing timah yang ada di kepulauan Bangka Belitung dengan ukuran distribusi serbuk D50:164 μm , sedangkan serbuk *rice husk ash* memiliki ukuran distribusi serbuk yaitu D50:49,46 μm , sedangkan *baggase ash* mempunyai ukuran distribusi serbuk D50:44,08 μm . hasil tersebut didapatkan dari uji *particle size analyzer* (PSA) yang dilakukan di laboratorium FMIPA-KIMIA Universitas Brawijaya.

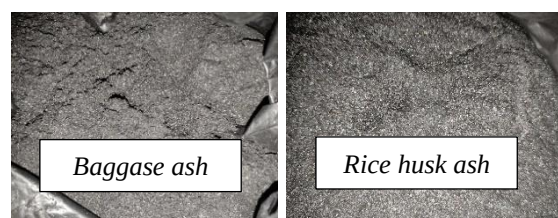
Proses awal yang dilakukan pada studi ini meliputi; pemaduan mekanik atau mechanical alloying [13]. Pada tahap pemaduan mekanik, mesin yang digunakan yaitu *horizontal ball mill machine*. Parameter yang digunakan pada proses ini meliputi kecepatan putaran mesin yaitu 90 Rpm, ball powder weight (BPR) 10 : 1, dan waktu pemaduan selama 6 jam, hal ini mengacu pada proses optimasi *ball mill* [14], dimana volume maksimum tabung penggilingan adalah sepertiga dari volume tabung tersebut, dengan tujuan agar terjadi tumbukan sempurna berupa jatuh bebas. Pada tabung mesin *ball mill* ini berisi bola-bola baja kecil berdiameter 30 mm dan 25 mm, bola-bola baja tersebut

mempunyai berat masing-masing yaitu 111,18 gram dan 65,96 gram. Bola-bola tersebut memiliki kekerasan rata-rata 61 HRC dan 58,2 HRC.

Setelah tahap pencampuran serbuk selesai, dilanjutkan dengan pembuatan spesimen dengan proses kompaksi panas. Pada tahap ini menggunakan mesin press hidrolik yang terdiri dari dua hidrolik yaitu hidrolik atas dan bawah, yang pernah diaplikasikan oleh Irwansyah dkk 2023 [12]. Masing-masing hidrolik ini dilengkapi dengan alat pembaca tekanan (*pressure gauge*). *Thermocouple* juga digunakan untuk memanaskan cetakan dan serbuk selama proses kompaksi berlangsung dengan suhu 400 °C pada area dapur pemanas. Cetakan yang digunakan berbentuk cincin dengan ukuran diameter luar yaitu 50 mm dan diameter dalam 20 mm. Tekanan kompaksi yang diberikan adalah 6000 Psi dengan waktu penahanan selama 18 menit.



Gambar 1 serbuk aluminium.



Gambar 2 serbuk penguat.

Proses selanjutnya setelah kompaksi selesai yaitu pengujian sampel dengan uji densitas dan uji kekerasan. Pengujian dilaksanakan untuk mengetahui perbedaan pada spesimen yang telah dibuat yang dipengaruhi oleh variasi fraksi penguat dan suhu sintering tertutup menggunakan mesin *oven heat treatment*.

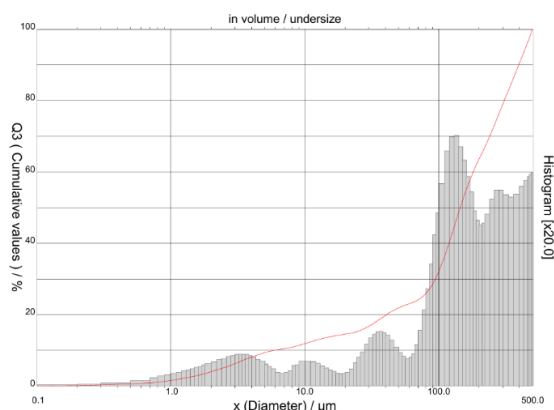
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pencampuran

Proses pencampuran serbuk menggunakan metode *mechanical alloying* dilakukan selama 6 jam. Hasil serbuk *mechanical alloying* seperti ditunjukkan Gambar 3. Proses ini menghasilkan campuran serbuk dengan ukuran distribusi serbuk adalah D50: 144,28 μm berdasarkan uji *particle size analyzer* yang dilakukan di laboratorium FMIPA-KIMIA Universitas Brawijaya, dengan detail grafik distribusi serbuk seperti ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 3 hasil *mechanical alloying*.



Gambar 4 grafik hasil uji *particle size analyzer*.

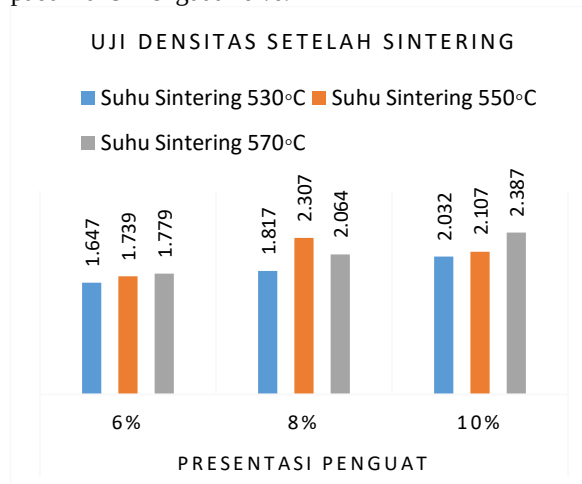
Penelitian ini menggunakan sampel yang berbentuk cincin dengan ukuran diameter luar 50 mm dan diameter dalam 20 mm, tinggi sampel 8 mm dan berat pada setiap sampel yaitu 40 Gram. Sampel hasil kompaksi dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini



Gambar 5 hasil kompaksi

Pengujian densitas yang dilakukan mengikuti hukum Archimedes pada sampel dengan mengacu pada *American Standard Testing Materials* (ASTM) yaitu berdasarkan standart ASTM B962-17. Selanjutnya, hasil uji densitas ini diolah dan dibuat grafiknya seperti dapat dilihat pada grafik dibawah ini, Gambar 6. Semua sampel, baik untuk masing-masing variasi, kompaksi maupun sintering dibuat rangkap 3 untuk proses pengulangannya serta setiap pengujian merupakan hasil rata-ratanya.

Densitas seperti yang ditunjukkan pada Grafik memperlihatkan bahwa nilai densitas semakin meningkat dengan bertambahnya prosesntasi variasi penguat yag diterapkan. Namun demikian terjadi anomaly, dimana pada suhu sintering 550 °C pada fraksi Penguat 8 % menunjukkan nilai densitas tertinggi, sedangkan pada suhu sintering 570 °C densitas tertinggi terjadi pada fraksi Penguat 10 %.



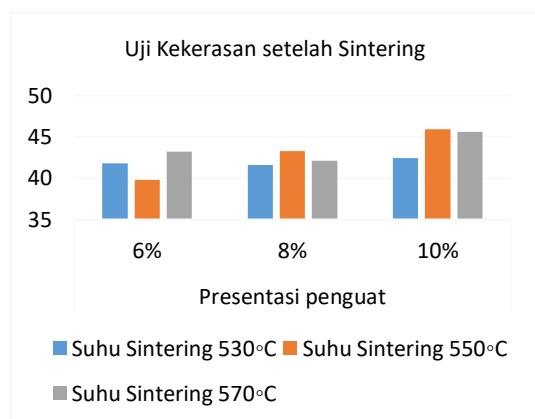
Gambar 6 Grafik hasil uji densitas

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan identor berbentuk bola atau Pengujian Brinel dengan harapan proses penetrasi pengujian dapat mengenai bidang kontak yang lebih luas mengingat material yang diuji berbentuk komposit, dimana penyebaran material tidak dapat merata sepenuhnya. Hasil uji kekerasan dengan menggunakan standart AST E110-14 diperoleh nilai seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 Grafik hasil uji kekerasan.

Berdasarkan Gambar 7 dapat Analisa bahwa semakin tinggi fraksi persentase penguat yang diaplikasikan kedalam matrik maka kekerasan material meningkat. Kekerasan tertinggi terjadi pada komposit dengan suhu sintering pada temperatur 550 °C dan 570 °C serta pada fraksi persentase penguat 10 %. Densitas dan kekerasan yang terjadi pada komposit ini dipastikan diakibatkan oleh terjadinya ikatan *interlocking* antar serbuk, baik serbuk matrik maupun paduan penguatnya dan tidak akan terjadi ikatan kimia karena proses *mechanical alloying*

yang relatif singkat, kurang dari waktu *mechanical alloying* yang dibutuhkan untuk transformasi dari unsur Aluminium ke alumina (Al_2O_3) [4].

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, yaitu nilai densitas $2,387 \text{ g/cm}^3$ dan kekerasan 45.9 HB dalam penelitian ini telah dapat memenuhi spesifikasi Standar Nasional Indonesia komponen gesek yang umum digunakan pada kendaraan roda dua [15].



Gambar 7 Grafik hasil uji kekerasan

KESIMPULAN

Merujuk dari data hasil pengujian yang telah dilaksanakan, variasi fraksi penguat dan suhu sintering memiliki pengaruh terhadap nilai densitas dan kekerasan komposit, dapat disimpulkan dari hasil uji memperlihatkan peningkatan angka dengan persentase volume penguat 10%, nilai densitas tertinggi yaitu $2,387 \text{ g/cm}^3$, dan nilai kekerasan tertinggi pada fraksi penguat 10% yaitu 45,9 HB. Sedangkan nilai densitas terendah $1,647 \text{ g/cm}^3$, dan nilai kekerasan terendah 39,8 HB pada fraksi penguat 6%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada berbagai pihak yang telah berkontribusi dalam penelitian ini yaitu:

1. Laboratorium Kimia pada Fakultas MIPA Universitas Brawijaya yang telah membantu dalam pengujian Particle Size Analyzer dan Uji Densitas.
2. Direktur, Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Kepala Laboratorium Teknik Material dan Pengelasan serta para Laboran di Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung yang telah berkontribusi pada pembiayaan dan penggunaan sarana prasarana dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muzayyanah, N., Pemanfaatan Limbah Abu Aluminium Sebagai Substitusi Semen Dalam Pembuatan Paving Block, *Skripsi*, 2021. <https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/3626>.
- [2] Sukanto, Soenoko, R., Suprpto, W., & Irawan, Y. S., Characterization of aluminium matrix composite of Al-ZnSiFeCuMg alloy reinforced with silica sand tailings particles. *Journal of Mechanical Engineering and Sciences*, 14(3), 7094–7108., 2020., <https://doi.org/10.15282/jmes.14.3.2020.11.0556>.
- [3] Alit Triadi, Sifat Mekanis Komposit Matriks Aluminium berpenguat Abu Jerami dengan Metode Metalurgi Serbuk., *Jurnal Ganec Swar*, 2024., Vol. 18, No. 3, pp. 1692-1698.
- [4] Sukanto, Suprpto, W., Soenoko, R., & Irawan, Y. S., The effect of milling time on the alumina phase transformation in the amcs powder metallurgy reinforced by silica-sand-tailings. *Eureka, Physics and Engineering*, 1, 103–117., 2022. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.001906>.
- [5] Adhi Setiawan, Arita Rochma Nilasari, & M. Ari., Analisis Sifat Mekanik Komposit Al2075 Reinforcement dengan Elektroless Abu Dasar Batubara., *Journal of Research and Technology*, 2016, Vol.2, No.2, pp. 64-71, <https://doi.org/10.55732/jrt.v2i2.226>.
- [6] Prabowo A.S., Triyono T., dan Yaningsih I., Analisis Pengaruh Penambahan Mg pada Komposit Matrik Aluminium Remelting Piston berpenguat SiO_2 Menggunakan Metode Stir Casting terhadap Kekerasana dan Densitas., *Mekanika*, 2016. Vol.15, No 1, pp. 37-43, <https://jurnal.ft.uns.ac.id/index.php/mechanika/article/view/465>.
- [7] Abdi Zay I.P., Zulfi F.S, dan Gurning A., Daur Ulang Scrap Aluminium sebagai Solusi Alternatif untuk Mengurangi Ketergantungan Aluminium Impor di Indonesia., *Conference Paper*, bandung, 2014, doi:10.13140/2.1.3237.6006.
- [8] Mahadi dan Dodo S.A, Pengaruh Variasi Tekanan dan Suhu pada Pengadukan Serbuk Aluminium (Al), Magnesium (Mg), dan Zeng (Zn) terhadap Sifat Mekanik Logam dengan Metode Metalurgi Serbuk, *Jurnal Dinamis*, Vols. Vol. 8, No. 2, 2020., pp. 41-49., DOI:10.32734/dinamis.v8i2.7451.
- [9] Aswar, Studi Komposit Matrik Aluminium berpenguat Grafit dan Tembaga dengan Metode Metlaurgi Serbuk, *Tesis*, 2022, Gowa: <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/23223/>.
- [10] Suprpto W & Soenoko R, *Teknologi Metalurgi Serbuk*, Solo, Pena Mas Publishing, ISBN: 978-

- 602-73670-0-5., 2015. Vol. 192, p. 10, <https://Digilib.Ub.Ac.Id/Opac/DetailOpac?Id=80211>.
- [11] Asep, M., Sugiyarto, Somawardi, Achmad Rusdy, dan Sukanto, Pengaruh Variasi Tekanan Kompaksi Panas terhadap Densitas dan Kekerasan AMC diperkuat SiO₂, *Machine; Jurnal Teknik Mesin*, 2023, Vol. 9 No. 1. pp. 1-7, DOI:10.33019/jm.v9i1.3606.
- [12] Irwansyah R., Rodika, Agus Wanto, Mego Wahyudi dan Sukanto, Pengaruh Pemasakan Dua-arah Penekanan Terhadap Densitas dan Kekerasan AMC diperkuat Serbuk Silikon Dioksida, *Infotekmesin*, 2023, Vol.14, No.2, pp. 265-272., DOI:10.35970/infotekmesin.v14i2.1902.
- [13] C. Suryanarayana, Mechanical Alloying : A Novel Technique to Synthesize Advanced Materials, *Research*, vol. 2019, pp. 1–17, doi: 10.34133/2019/4219812.
- [14] Sukanto, R. Soenoko, W. Suprpto, and Y. S. Irawan, Parameter Optimization of Ball Milling Process for Silica Sand Tailing, in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 494, no. 1., DOI: 10.1088/1757-899X/494/1/012073.
- [15] SNI 09-0143-1987, Kampas Rem Kendaraan Bermotor, <https://www.scribd.com/document/425491959/SNI-09-0143-1987>.

ANALISIS PARAMETER PEMESINAN MESIN CNC LASER DENGAN CONTROLLER ARDUINO UNO PADA BENDA KERJA AKRILIK DENGAN TEBAL 3 MM

Jandri Fan HT Saragi¹, Eka Putra Dairi Boangmanaalu^{2*}, Angga Bahri Pratama³, Sahat¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

² Program Studi Teknologi Rekayasa Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

³ Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Medan

Jl. Almamater No. 1 Kampus USU, Medan 20115, Indonesia

jandrisaragi@polmed.ac.id¹

ABSTRAK

Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) telah merevolusi proses manufaktur dan teknik mesin dengan menggantikan metode manual yang mengandalkan tenaga kerja manusia. Inovasi penting dalam teknologi CNC adalah penggunaan laser, yang sangat bermanfaat dalam industri pengukiran (*engraving*). Mesin CNC Laser digunakan untuk mengukis material seperti papan MDF setebal 3 mm mengikuti pola desain yang telah ditentukan. Tingkat presisi, laju pelepasan, dan kualitas pengukiran bergantung pada sifat material, karakteristik sumber laser, dan parameter laser. Tujuan dari penelitian ini adalah menemukan parameter pemrosesan yang tepat untuk media benda kerja papan MDF dengan ketebalan 3 mm dan mengetahui waktu pengerjaan yang optimal dalam pengukiran pada media benda kerja papan MDF dengan ketebalan 3 mm. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Hasil dari penelitian ini adalah *feedrate* yang digunakan adalah 750 mm/min dan daya laser sebesar 40% dengan waktu pengerjaan 4 menit 42 detik untuk menyelesaikan pengukiran pada Logo pada papan MDF dengan ketebalan 3 mm.

Kata kunci : CNC laser, papan MDF, daya laser, kecepatan pengukiran.

Abstract

CNC (*Computer Numerical Control*) machines have revolutionized manufacturing processes and mechanical engineering by replacing manual methods that rely on human labor. A significant innovation in CNC technology is the use of lasers, which are highly beneficial in the engraving industry. CNC Laser machines are used to etch materials like 3 mm thick MDF boards according to predetermined design patterns. The precision level, removal rate, and engraving quality depend on the material properties, laser source characteristics, and laser parameters. The objective of this research is to determine the appropriate machining parameters for 3 mm thick MDF boards and to identify the optimal working time for engraving on this material. The method used in this study is the experimental method. The results of this research show that the *feedrate* used is 750 mm/min and the laser power is set at 40%, with a processing time of 4 minutes and 42 seconds to complete the engraving of a logo on a 3 mm thick MDF board.

Keywords : CNC laser, MDF board, laser power, engraving speed.

PENDAHULUAN

Mesin CNC (*Computer Numerical Control*) merupakan inovasi penting dalam bidang manufaktur dan teknik mesin, yang telah mengubah cara produksi dilakukan. Pada awalnya, proses manufaktur dilakukan secara manual dengan alat-alat mekanik yang dioperasikan oleh tenaga kerja manusia [1]. Metode ini memiliki keterbatasan

dalam hal kecepatan, ketepatan, dan konsistensi, serta rentan terhadap kesalahan manusia. Salah satu perkembangan yang sangat signifikan dalam teknologi CNC adalah penggunaan Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) sebagai alat utamanya [2], [3]. Mesin CNC Laser memungkinkan pemrosesan material dengan tingkat akurasi dan detail yang tinggi, cocok untuk aplikasi seperti pembuatan prototipe, seni, hiasan, dan komponen industri lainnya. Mesin CNC Laser merupakan teknologi yang digunakan untuk

menggores, mengukir, hingga memotong bahan-bahan tertentu seperti logam, kayu, kulit, dan akrilik [4], [5]. Teknologi Laser ini telah banyak digunakan dalam berbagai bidang industri manufaktur, usaha kecil, dan juga dibidang pendidikan [6], [7].

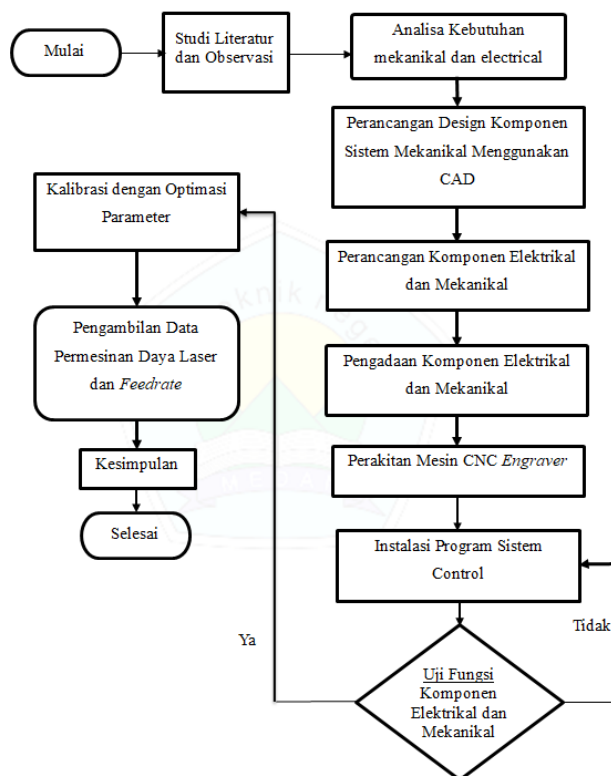
Potensi mesin CNC Laser dibutuhkan bagi industri manufaktur yang berkaitan dalam bidang pengukiran (*engraving*). Teknologi ini juga digunakan dalam bidang seni atau keterampilan yang tertuju pada kerajinan berbahan papan kayu, kulit, dan juga akrilik. Dalam hal ini laser digunakan untuk mengikis sebagian besar benda kerja mengikuti pola yang telah didesain. Tingkat presisi bentuk, laju pelepasan, dan kualitas hasil pengukiran sangat bergantung pada sifat material, karakteristik sumber laser, dan parameter laser [8][9].

Papan serat berperekatan sedang atau papan MDF (*Medium Density Fiberboard*) adalah salah satu produk panel kayu yang terbuat dari berbagai jenis serat kayu atau limbah berbahan lignoselulosa yang dalam pembentukannya perlu menambahkan bahan perekat untuk menyatukan antara ikatan serat. Penggunaan papan MDF sebagai benda uji berdasar pada kelebihan yang dimiliki oleh papan MDF, yaitu papan MDF merupakan papan yang memiliki permukaan halus, memiliki fungsi serbaguna, serta merupakan salah satu bahan yang mudah untuk ditemukan dan juga harga yang relatif lebih murah [10].

Dalam penelitian ini kombinasi dari beberapa parameter permesinan sangat berpengaruh untuk memperoleh hasil yang maksimal, akurat, efisien, dan meminimalisir kesalahan. Mesin ini diharapkan mampu bersaing dengan produk mesin CNC lain yang beredar dipasaran, namun dengan harga yang terjangkau serta pengoperasian yang lebih mudah.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini adalah dimulai dengan studi literatur, observasi, perancangan alat, perakitan, pengujian, dan pengambilan data.



Gambar 1 Diagram penelitian

Berikut alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini.

Alat

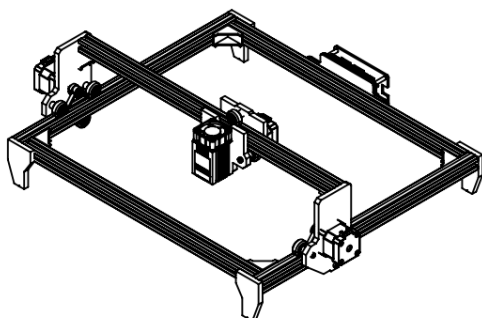
1. Mesin CNC CO2
2. Tap
3. Kunci L M5 M3 dan Obeng

Bahan

1. Rangka Aluminium
2. Arduino Board
3. CNC shield
4. Stepper Motor Driver
5. Motor Stepper
6. Adaptor ACDC
7. Laser
8. Timing pulley
9. Timing belt
10. V-Wheel
11. Kabel jumper
12. Limit Switch

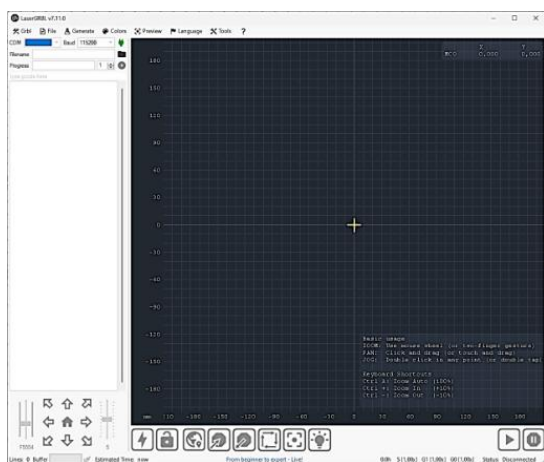
Perancangan sistem mekanikal menjadi dasar pembuatan pada mesin CNC laser dengan cara merancang menggunakan *software CAD* agar pola rancangan tersusun dengan baik. *Computer-Aided Design (CAD)* adalah teknologi yang digunakan untuk membantu proses perancangan dengan bantuan komputer. Perancangan sistem elektrikal dilakukan menyesuaikan dengan komponen mekanikal untuk mengetahui komponen-komponen

yang digunakan serta alur perakitan komponen elektrik.



Gambar 2 Disain Komponen Mekanikal Mesin CNC Laser Engraver Menggunakan CAD

Uji keseluruhan dari komponen dari rangkaian mesin CNC. Pengujian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui bahwa komponen elektrik dapat menerima data dan beroperasi sesuai dengan perintah yang ada di *software laser GRBL*. Aplikasi Laser GRBL digunakan untuk mengontrol komponen dan menguji kinerja pada mesin CNC Laser. Aplikasi Laser GRBL merupakan aplikasi yang dapat mengirimkan *file G-code* ke Arduino, yang memungkinkan Arduino untuk membaca perintah dalam bentuk *G-code* [11] [12].



Gambar 3 Software laser GRBL

Dalam penggunaan aplikasi Laser GRBL, komputer harus memberikan perintah untuk mengatur pergerakan *Motor Stepper* terhadap sumbu X dan sumbu Y. Aplikasi Laser GRBL memudahkan pemrograman mesin CNC Laser pada sistem mikrokontroler pengguna. Aplikasi Laser GRBL juga dapat digunakan untuk melakukan kalibrasi pada mesin CNC Laser seperti arah sumbu, jarak sumbu, kecepatan pergerakan sumbu, dan lainnya.

Untuk mendapatkan gerakan motor yang presisi serta fungsi komponen, maka dilakukan

pengujian pada komponen pada Mesin CNC Laser Engraver.

Tabel 1. Pengujian Fungsi Mesin

No	Pengujian	Tujuan
1	Motor stepper	Motor stepper dapat berotasi searah jarum jam dan berlawanan arah jarum jam.
2	Laser	Laser dapat membakar dan melakukan grafir pada permukaan material.
3	Mesin CNC Engraver	Untuk mengetahui bahwa semua komponen <i>hardware</i> dan <i>software</i> berjalan dengan baik.

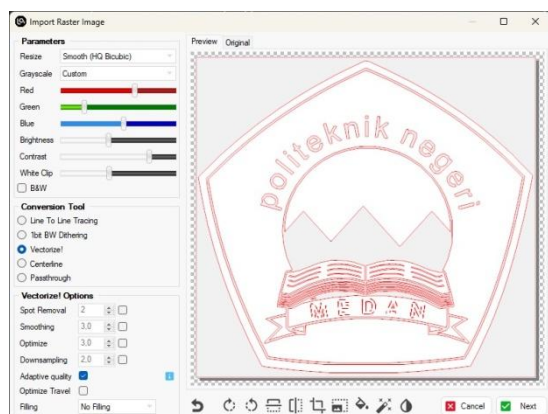
Pada hasil pengujian *motor stepper*, gerak sumbu x dan y beroperasi dengan baik. Motor dapat berotasi searah maupun berlawanan jarum jam. Pada laser setelah di uji, dapat membuat titik bakaran pada permukaan material, sedangkan pada keseluruhan mesin CNC Engraver baik *hardware* maupun *software* berjalan dengan baik.

Setelah seluruh komponen dipastikan bekerja dengan baik, lakukan kalibrasi komponen yang bertujuan untuk mengoptimalkan hasil yang presisi dengan optimasi pengujian terhadap mesin yang dipengaruhi beberapa faktor seperti *feedrate*, daya dan jarak fokus laser terhadap benda kerja. Lakukan pengambilan data yang diperoleh berdasarkan dari penelitian yang telah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian

Pengujian kinerja mesin dilakukan dengan parameter *feedrate* dan daya laser terhadap papan MDF dengan ketebalan 3 mm dengan menggunakan data atribut. Dalam pengujian ini, penulis menggunakan logo "Politeknik Negeri Medan" yang telah dikonversikan menjadi gambar vektor.



Gambar 4 Tampilan hasil gambar Vektor " Politeknik Negeri Medan " pada Software LASER GRBL.

Untuk mengetahui nilai dari parameter yang digunakan pada proses grafir, maka dilakukan beberapa pengujian. Pengujian dengan metode optimasi parameter *feedrate* dan daya laser Untuk mengetahui durasi proses dan hasil grafir, pengujian Mesin CNC Laser Engraver dilakukan menggunakan kombinasi parameter kecepatan gerak laser 250 mm/min, 500 mm/min, 750 mm/min dan 1000 mm/min. Daya laser yang digunakan sebesar 25%, 40% dan 55%.

Tabel 2. Pengujian dengan metode parameter *feedrate* 250 mm/min

No	Feedrate (mm/min)	Daya laser	Hasil
1	250 mm/min	25%	
2	250 mm/min	40%	
3	250 mm/min	55%	

Pada Tabel 2, diketahui percobaan pertama dengan *feedrate* 250 mm/min dan daya laser 25% dihasilkan garis tebal namun kurang terlihat jelas

pada bagian detail logo. Pada percobaan kedua dengan *feedrate* 250 mm/min dan daya laser 40% dihasilkan garis yang tebal tetapi pada bagian yang detail sudah tidak terlihat. Sedangkan pada percobaan yang ketiga dengan *feedrate* 250 mm/min dan daya laser 55% dihasilkan garis yang sangat tebal sehingga bagian detail tidak dapat dicapai.

Tabel 3. Pengujian dengan metode parameter *feedrate* 500 mm/min

No	Feedrate (mm/min)	Daya laser	Hasil
1	500 mm/min	25%	
2	500 mm/min	40%	
3	500 mm/min	55%	

Pada Tabel 3, diketahui percobaan pertama dengan *feedrate* 500 mm/min dan daya laser 25% dihasilkan garis cukup tebal tetapi dan pada bagian detail terlihat baik. Pada percobaan kedua dengan *feedrate* 500 mm/min dan daya laser 40% dihasilkan garis lebih jelas namun bagian detail masih kurang terlihat. Sedangkan pada percobaan yang ketiga dengan *feedrate* 500 mm/min dan daya laser 55% dihasilkan garis terlalu tebal sehingga bagian detail tidak terlihat.

Tabel 4. Pengujian dengan metode parameter *feedrate* 750 mm/min

No	Feedrate (mm/min)	Daya laser	Hasil
1	750 mm/min	25%	

2	750 mm/min	40%	
3	750 mm/min	55%	

Pada Tabel 4, diketahui percobaan pertama dengan *feedrate* 750 mm/min dan daya laser 25% dihasilkan garis yang kurang kontras. Pada percobaan kedua dengan *feedrate* 750 mm/min dan daya laser 40% dihasilkan garis cukup tebal dan bagian detail juga terlihat baik. Sedangkan pada percobaan yang ketiga dengan *feedrate* 750 mm/min dan daya laser 55% dihasilkan garis yang jelas namun pada bagian detail tampak kurang jelas.

Tabel 5. Pengujian dengan metode parameter *feedrate* 1000 mm/min

No	<i>Feedrate</i> (mm/min)	Daya laser	Hasil
1	1000 mm/min	25%	
2	1000 mm/min	40%	
3	1000 mm/min	55%	

Pada Tabel 5, diketahui percobaan pertama dengan *feedrate* 1000 mm/min dan daya laser 25% dihasilkan garis yang kurang kontras. Pada percobaan kedua dengan *feedrate* 1000 mm/min dan daya laser 40% dihasilkan garis cukup kontras

namun ketebalan garis masih kurang baik. Sedangkan pada percobaan yang ketiga dengan *feedrate* 1000 mm/min dan daya laser 55% dihasilkan garis cukup baik namun pada bagian detail kurang terlihat jelas.

Hasil grafir pada tabel-tabel diatas menunjukkan pengaruh *feedrate* dan daya yang begitu besar pada kontras serta tebal ataupun tipisnya pada hasil akhir penggrafiran. *Feedrate* mempengaruhi hasil gambar. Dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi *feedrate*, maka akan semakin berkurang tingkat ketelitian kontraks pada garis. Pada analisis hasil pengujian pada tabel-tabel diatas, *feedrate* yang melebihi 750 mm/min, maka garis yang dihasilkan dari hasil pembakaran sinar laser kurang jelas dan tidak kontraks. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah *feedrate* yang digunakan maka semakin tebal dan dalam pembakaran laser pada benda uji. Hal ini dikarenakan, pada *feedrate* yang rendah proses pembakaran pada media papan MDF terlalu lama sehingga menyebabkan hasil pengukiran yang gosong. *Feedrate* yang tinggi menghasilkan hasil pembakaran yang lebih tipis, hal ini dikarenakan pembakaran yang dilakukan pada media papan MDF lebih cepat. Semakin tinggi *feedrate*, maka durasi hasil waktu proses grafir juga semakin cepat.

Daya laser memengaruhi hasil gambar. Semakin tinggi daya laser yang digunakan, maka semakin tinggi tingkat kontras garis dari hasil pembakaran laser. Pada analisa hasil pengujian diatas, daya laser yang melebihi *S-max* 40% akan menyebabkan hasil yang gosong diakibatkan daya laser yang terlalu tinggi. Durasi proses grafir pada pengujian di atas beragam karena *feedrate* yang digunakan pada ketiga pengujian berbeda.

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian mesin *CNC Laser Engraver*, dapat disimpulkan bahwa material benda kerja dapat mempengaruhi kinerja mesin. Material yang lebih keras seperti baja lunak dan *Stainless Steel* serta ketebalan yang lebih besar membutuhkan kecepatan pemotongan yang lebih lama antara 10 – 60 mm/menit dibandingkan dengan material yang bersifat lunak seperti kayu, MDF dan plastik yang memiliki kecepatan pemotongan antara 80 – 300 mm/menit. Material yang dapat menghasilkan kotoran atau debu dan serpihan dapat menyebabkan kerusakan pada komponen-komponen mesin bila dibiarkan tanpa adanya dilakukan tindakan perawatan. Berdasarkan pengujian grafir dengan metode *feedrate* dan daya laser dapat disimpulkan bahwa, pengaruh parameter pada hasil akhir dari kerja mesin *CNC Laser Engraver* sangat signifikan hasilnya terhadap hasil akhirnya. Pada hasil dari

eksperimen yang dilakukan, daya sebesar 40% dan *feedrate* 750 mm/min menjadi standart parameter yang sesuai untuk pengerjaan pada media papan MDF dengan ketebalan 3 mm. Waktu pengoperasian mesin *CNC Laser Engraver* berpengaruh pada tingkat kesulitan dan ketelitian dari gambar yang akan digrafi. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa, waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil yang maksimal adalah 4 menit 42 detik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. U. Syamsuri and R. Sutjipto, "Perancangan dan Pembuatan Prototype Mesin CNC Laser Engraver Dengan Mikrokontroler sebagai Komunikasi Wireless," vol. 10, no. 1, pp. 60–65, 2023.
- [2] A. R. Widiyanto, "PROTOTYPE PEMBUATAN CNC DENGAN PEMANFAATAN MOTOR STEPPER BERBASIS ARDUINO UNO Alfin," *J. Tektro*, pp. 1–10, 2020.
- [3] A. Gumelar, "Rancang Bangun Cnc (Computer Numerically Controlled) PCB Layout Berbasis Mikrokontroler P- ISSN : 2302-3295," vol. 8, no. 3, 2020.
- [4] V. Octowinandi, "Pengukuran Hasil Dari Mesin Laser Engraving Pada Material Akrilik Dan Pvc," *J. Appl. Sci. Electr. Eng. Comput. Technol.*, vol. 3, no. 01, pp. 34–48, 2022, doi: 10.30871/aseect.v3i01.4399.
- [5] M. Rosadi *et al.*, "Rancang Bangun Mesin CNC 2 Axis Sebagai Mesin Laser Engraving Menggunakan Laser Dioda Pada Media Kayu, akrilik dan tripleks," *Mechatronics J. Prof. Entrep.*, vol. 1, no. 1, pp. 13–20, 2019.
- [6] S. Sragen, "KESIAPAN PELAKSANAAN PEMBELAJARAN PRAKTIK MESIN CNC DI SMK," pp. 277–286, 2001.
- [7] M. D. Purwanto and A. Basuki, "Pemanfaatan teknologi open source untuk meningkatkan mutu produk industri kerajinan," *Pros. Semin. Nas. Ind. Kerajinan dan Batik Membangun Ind. Kerajinan dan Batik yang Tangguh di Masa Pandemi*, pp. 1–16, 2020.
- [8] D. Sugiyanto, A. S. Uyun, and D. M. Jihad, "Pengaruh Jarak Dan Panas Sinar Laser Terhadap Hasil Engraving Pada Material Kayu Menggunakan Mesin Cnc Laser Diode," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 1, pp. 39–47, 2023, doi: 10.21776/jrm.v14i1.1036.
- [9] P. M. Scm *et al.*, "Ketua Peneliti 45 Pratama , Arianda , dkk .; Variasi Sudut Potong dan Kecepatan Potong Terhadap Laju Pemakanan Material SCM 440 46 Pratama , Arianda , dkk .; Variasi Sudut Potong dan Kecepatan Potong Terhadap Laju Pemakanan Material SCM 440," vol. 9, no. 2, pp. 45–50, 2023.
- [10] R. Amany, "Pengaruh Daya Laser CO2 Terhadap Perubahan Warna dan Kekasaran Permukaan Papan Partikel dan MDF," *Fak. Pertan.*, pp. 1–58, 2022.
- [11] G. Al, J. Wijaya, G. Hotdaniel, F. Majid, and J. Fan, "Jurnal Inovator Analisis Parameter Permesinan Untuk Bahan Benda Kerja Papan Kayu Berbahan MDF Dengan Tebal 6 mm pada Rancang Bangun Mesin CNC Laser Dengan Kontroler Arduino Uno," vol. 7, no. 2, pp. 78–83, 2024.
- [12] J. T. Mesin *et al.*, "15 Efendi , Rustam , dkk ; Rancang Bangun Data Logger Termokopel Berbasis Arduino Mega 2560 Skala Laboratorium 16 Efendi , Rustam , dkk ; Rancang Bangun Data Logger Termokopel Berbasis Arduino Mega 2560 Skala Laboratorium," vol. 9, no. 2, pp. 15–19, 2023.

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR ALKOHOL TERHADAP PELEPASAN PANAS DAN KINERJA MESIN PEMBAKARAN

Tri Susilo Wirawan ¹

¹ Program Studi Teknik Pembangkit Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang

Jl. Perintis Kemerdekaan KM.10, Tamalanrea, Makassar

wirawantrisusilo@poliupg.ac.id ¹

Abstrak

Mesin bensin memegang peran penting di sektor transportasi, namun ketergantungan pada bensin berbasis fosil yang kian menipis mendorong kebutuhan akan sumber energi terbarukan. Untuk itu, metanol bahan bakar alkohol terbarukan dari bahan nabati diuji dalam campuran 20% dengan bensin pada mesin bensin TV-1 berdaya 4,50 kW, satu silinder, empat langkah, dan volume 661,45 cc. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran metanol meningkatkan tekanan silinder dan pelepasan panas, dengan selisih maksimum masing-masing sebesar 1,91 bar dan 1,64 J/°C dibandingkan bensin murni. Namun, konsumsi bahan bakar spesifik campuran metanol tercatat 8,7% lebih tinggi. Penelitian ini akan membuktikan bahwa campuran metanol mampu meningkatkan performa pembakaran mesin bensin tanpa perubahan besar pada desain mesin, sehingga menawarkan alternatif energi terbarukan untuk sektor transportasi.

Kata kunci : bensin, metanol, alkohol, mesin, energi terbarukan.

Abstract

Gasoline engines remain vital in the transportation sector; however, the increasing depletion of fossil fuel reserves necessitates the exploration of renewable energy alternatives. In this study, methanol a renewable alcohol based fuel derived from biomass was blended at 20% with gasoline and tested on a TV-1 gasoline engine with a power output of 4.50 kW, single-cylinder, four-stroke configuration, and a displacement of 661.45 cc. The experimental results indicated that the methanol-gasoline blend enhanced cylinder pressure and heat release rates, with maximum increases of 1.91 bar and 1.64 J/°C, respectively, compared to pure gasoline. Nevertheless, the specific fuel consumption of the methanol blend was 8.7% higher than that of pure gasoline. This study contributes to the body of knowledge by demonstrating that methanol blending can improve combustion performance without requiring significant modifications to existing engine designs, thus presenting a promising renewable energy alternative for the transportation sector.

Key words : gasoline, methanol, alcohol, engine, renewable energi.

PENDAHULUAN

Proses Kemajuan teknologi transportasi telah mendorong pengembangan berbagai jenis mesin pembakaran dalam, termasuk mesin Otto yang banyak digunakan pada kendaraan penumpang. Hingga saat ini, mesin bensin masih menjadi tulang punggung sektor transportasi dan industri, terutama di negara-negara berkembang. Di Indonesia, lebih dari 98% kendaraan penumpang masih mengandalkan bensin sebagai bahan bakar utama [1]. Pada tahun 2019, konsumsi bensin nasional mencapai 201 ribu barel per hari [2], mencerminkan ketergantungan yang sangat tinggi terhadap sumber daya fosil. Namun, ketersediaan minyak bumi sebagai bahan bakar fosil tidak dapat dipertahankan dalam jangka panjang. Proyeksi menunjukkan

bahwa pada tahun 2025, pasokan minyak bumi hanya akan mencapai 651,092 juta barel, sedangkan kebutuhan global diperkirakan mencapai 719,048 juta barel [3]. Ketimpangan ini menandakan urgensi dalam pencarian sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan.

Dalam menghadapi tantangan krisis energi global, bahan bakar alternatif dari sumber daya terbarukan menjadi pilihan strategis. Sumber energi ini diharapkan tidak hanya mampu mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, tetapi juga dapat digunakan tanpa memerlukan modifikasi besar terhadap desain mesin yang ada [4]. Beberapa jenis bahan bakar alternatif, seperti bioetanol, telah dikembangkan dari bahan-bahan berbasis pertanian. Namun, penggunaan etanol berbasis glukosa dari tanaman pangan utama menimbulkan kekhawatiran terkait potensi gangguan terhadap ketahanan pangan

dan kestabilan ekonomi apabila digunakan secara luas. Oleh karena itu, bahan bakar rendah karbon dari sumber non-pangan seperti alkohol sintetik atau metanol yang berasal dari biomassa dan limbah padat kota (municipal solid waste/MSW) menjadi alternatif yang semakin menarik untuk diteliti [5].

Metanol merupakan salah satu kandidat bahan bakar yang menjanjikan karena berbagai keunggulan yang dimilikinya. Sebagai alkohol paling sederhana (CH_3OH), metanol memiliki karakteristik pembakaran yang bersih, efisiensi energi yang tinggi, serta biaya produksi yang relatif rendah dibandingkan bahan bakar fosil konvensional [6]. Dengan berat molekul 32,04 dan titik didih $64,5^\circ\text{C}$, metanol bersifat mudah menguap dan terbakar, menjadikannya bahan bakar yang efisien untuk mesin pembakaran dalam. Selain itu, metanol dapat diproduksi dari berbagai sumber terbarukan yang tidak bersaing langsung dengan sektor pangan, sehingga lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan [7].

Dalam konteks transisi energi dan pengembangan teknologi bahan bakar bersih, penggunaan metanol sebagai campuran bahan bakar dalam mesin bensin perlu dieksplorasi lebih lanjut. Penggunaan campuran metanol-bensin dapat menjadi solusi praktis untuk mengurangi emisi karbon tanpa mengorbankan performa mesin [8]. Namun demikian, aplikasi metanol dalam jumlah besar pada sistem bahan bakar tidak terlepas dari tantangan teknis yang perlu diatasi. Salah satu isu utama adalah potensi korosi pada komponen logam akibat sifat kimia alkohol yang agresif terhadap material logam [9]. Hal ini menuntut pengembangan strategi teknis seperti penyesuaian rasio campuran atau inovasi dalam desain sistem bahan bakar untuk meminimalkan dampak negatif tersebut [10].

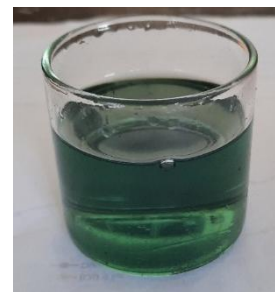
Dengan latar belakang tersebut, penelitian ini berjudul “Analisis Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Alkohol terhadap Pelepasan Panas dan Kinerja Mesin Pembakaran” bertujuan untuk mengevaluasi performa termal mesin pembakaran dalam yang menggunakan campuran metanol dan bensin. Studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi penting dalam pengembangan bahan bakar alternatif yang tidak hanya efisien dan bersih, tetapi juga layak secara teknis dan ekonomis untuk digunakan dalam sistem kendaraan modern [11].

4,50 kW pada kecepatan maksimum 1800 rpm. Mesin ini memiliki 1 silinder, empat langkah, kecepatan variabel 1200-1800 rpm, berpendingin air, dengan diameter silinder 87,50 mm, panjang langkah 110,00 mm, panjang batang penghubung 234,00 mm, rasio kompresi 10, dan volume silinder 661,45 cc. Penelitian dilakukan dengan menggunakan *software ICEnginesoft* dan dilakukan dengan mengambil rata-rata nilai dari 3 percobaan.



Gambar 1 Mesin Bensin

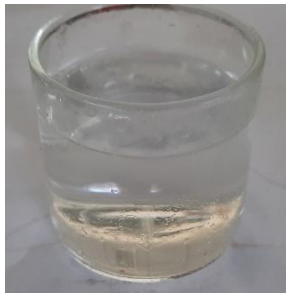
Bahan bakar yang digunakan adalah bensin kelas industri dengan angka oktan 90, dan alkohol yang digunakan adalah metanol dengan kemurnian 99%. Persentase campuran yang digunakan adalah 20% metanol dan 80% bensin, yang kemudian disimbolkan sebagai A20. Pencampuran metanol dan bensin dilakukan secara terpisah sebelum dimasukkan ke dalam tangki. Uji nilai kalor dan densitas dilakukan sebelum pengumpulan data pada mesin bensin. Uji nilai kalor dilakukan menggunakan kalorimeter bom pada semua sampel bahan bakar.



Gambar 2 Bensin RON 90

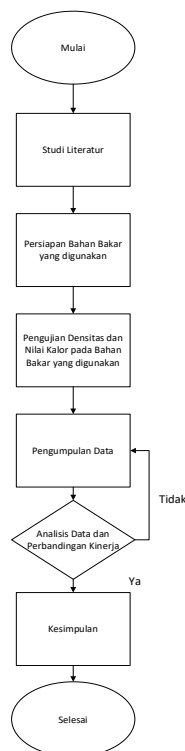
METODE PENELITIAN

Metode Penelitian ini dilakukan di laboratorium mesin pembakaran dalam di Universitas Hasanuddin. Mesin yang digunakan adalah mesin bensin penelitian dengan daya keluaran



Gambar 3. Metanol

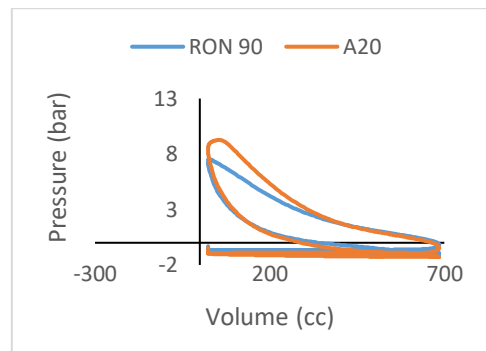
Sebelum mengumpulkan data dalam kondisi yang diinginkan, mesin dioperasikan pada putaran kosong selama 4-5 menit. Kondisi operasional dicapai secara bertahap dengan meningkatkan pembukaan throttle ke 1200 rpm, kemudian 1400, 1600, hingga 1800 rpm dengan rasio kompresi 10 dan beban 1 kg.



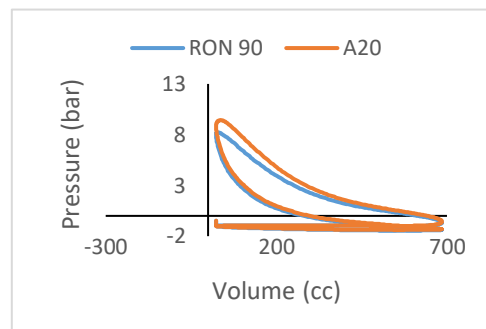
Gambar 4. Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

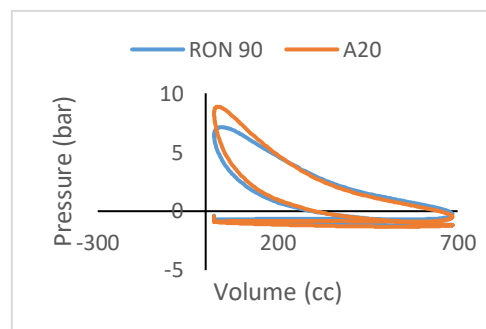
Bagian ini memuat data (dalam bentuk ringkas), analisis data dan interpretasi terhadap hasil. Pembahasan dilakukan dengan mengkaitkan studi empiris atau teori untuk interpretasi.



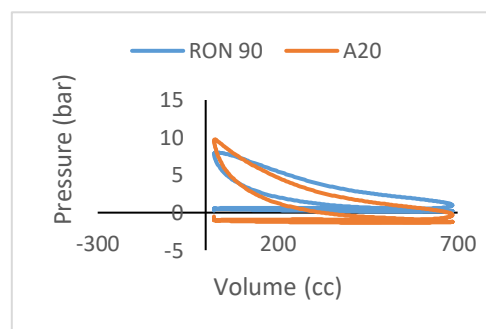
Gambar 5. Hubungan antara volume dan tekanan di dalam ruang bakar pada 1200 rpm.



Gambar 6. Hubungan antara volume dan tekanan di dalam ruang bakar pada 1400 rpm.



Gambar 7. Hubungan antara volume dan tekanan di dalam ruang bakar pada 1600 rpm.



Gambar 8. Hubungan antara volume dan tekanan di dalam ruang bakar pada 1800 rpm.

Gambar 5 hingga Gambar 8 menunjukkan hubungan antara tekanan silinder dan volume

silinder pada berbagai kecepatan putaran mesin, yakni dari 1200 rpm hingga 1800 rpm. Kurva-kurva ini menggambarkan dinamika tekanan di dalam ruang bakar sepanjang siklus kerja mesin, mencerminkan pengaruh kombinasi bahan bakar terhadap proses pembakaran. Secara umum, terlihat bahwa pada semua kecepatan yang diuji, penggunaan campuran bensin dengan metanol menghasilkan tekanan maksimum yang lebih tinggi dibandingkan dengan bensin murni.

Peningkatan tekanan silinder ini merupakan indikasi dari efisiensi pembakaran yang lebih baik. Salah satu faktor utama yang menyebabkan fenomena ini adalah karakteristik kimia metanol. Metanol, sebagai alkohol dengan struktur CH_3OH , mengandung oksigen dalam molekulnya. Kehadiran oksigen ini berperan sebagai oksidan tambahan dalam campuran udara-bahan bakar, sehingga mendukung reaksi pembakaran yang lebih cepat dan lebih lengkap. Proses oksidasi yang berlangsung lebih efisien menyebabkan pelepasan energi yang lebih besar dalam waktu yang lebih singkat, sehingga menghasilkan lonjakan tekanan di dalam [12][13].

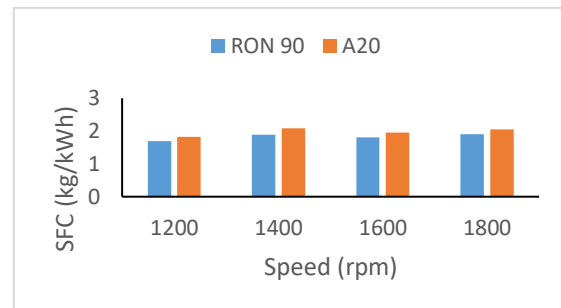
Selain itu, metanol memiliki bilangan oktan yang lebih tinggi dibandingkan dengan bensin konvensional, yakni sekitar 109, dibandingkan dengan 91–95 pada bensin [14]. Nilai oktan yang tinggi memungkinkan mesin bekerja dengan rasio kompresi lebih tinggi tanpa mengalami detonasi dini. Kondisi ini sangat penting dalam konteks termodinamika siklus Otto, di mana peningkatan rasio kompresi berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi termal ideal mesin.

Secara kuantitatif, pengujian menunjukkan bahwa tekanan silinder maksimum saat mesin beroperasi pada 1800 rpm dengan campuran bahan bakar metanol mencapai 9,74 bar. Sebaliknya, pada kondisi serupa dengan penggunaan bensin murni, tekanan maksimum hanya mencapai 8,01 bar. Selisih sebesar 1,73 bar tersebut menandakan perbedaan performa yang substansial, mengingat tekanan puncak di dalam silinder memiliki korelasi langsung terhadap daya indikator serta efisiensi pembakaran.

Hasil ini sejalan dengan temuan [15], yang melaporkan peningkatan tekanan pembakaran maksimum dan efisiensi termal hingga 12% pada mesin bensin yang menggunakan campuran metanol 20% (M20) dibandingkan dengan bensin murni. Selain itu, studi oleh [16], menunjukkan bahwa peningkatan kandungan oksigen dari metanol tidak hanya meningkatkan tekanan pembakaran, tetapi juga secara signifikan mengurangi emisi CO dan HC sebagai hasil dari pembakaran yang lebih lengkap.

Secara keseluruhan, peningkatan tekanan silinder akibat penambahan metanol tidak hanya

menunjukkan potensi peningkatan performa mesin, tetapi juga berkontribusi terhadap pengurangan emisi yang lebih bersih. Dengan mengoptimalkan karakteristik fisik dan kimia bahan bakar seperti metanol, sistem pembakaran dalam dapat diarahkan menuju efisiensi energi yang lebih tinggi dan keberlanjutan lingkungan jangka panjang.



Gambar 9. Hubungan antara RPM dan konsumsi bahan bakar spesifik di berbagai rentang RPM dan jenis bahan bakar.

Gambar 9 menyajikan pengaruh variasi kecepatan putaran mesin terhadap nilai konsumsi bahan bakar spesifik, atau Brake Specific Fuel Consumption (BSFC), yang merupakan parameter kunci dalam mengevaluasi efisiensi termal mesin pembakaran dalam. BSFC mengukur banyaknya bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan daya (kW) dalam satuan waktu (g/kWh), sehingga nilai yang lebih rendah menunjukkan efisiensi pembakaran yang lebih tinggi.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada semua tingkat kecepatan mesin yang diuji (1200–1800 rpm), penggunaan campuran bahan bakar A20 (20% metanol dan 80% bensin) menghasilkan nilai BSFC yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan bensin murni. Peningkatan nilai BSFC ini bersifat konsisten di seluruh rentang putaran mesin dan merupakan konsekuensi dari perbedaan sifat termokimia bahan bakar yang digunakan.

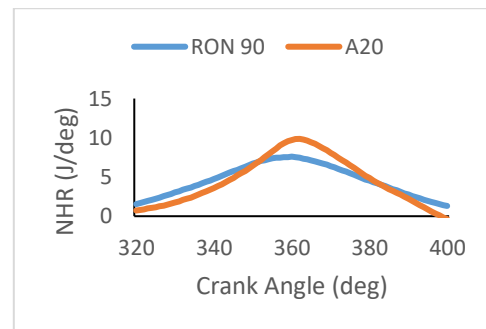
Salah satu faktor utama yang menyebabkan peningkatan BSFC pada penggunaan campuran metanol adalah nilai kalor (lower heating value/LHV) metanol yang secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan bensin. Nilai kalor metanol hanya sekitar 19.9 MJ/kg, sedangkan bensin memiliki nilai kalor sekitar 43–44 MJ/kg [15]. Rendahnya nilai kalor berarti energi yang dilepas per satuan massa bahan bakar lebih kecil, sehingga untuk menghasilkan daya yang sama, volume bahan bakar yang harus dibakar menjadi lebih besar. Dengan demikian, meskipun A20 hanya mengandung 20% metanol, kandungan tersebut cukup untuk menurunkan densitas energi keseluruhan bahan bakar dan meningkatkan konsumsi bahan bakar per satuan daya.

Secara termodinamika, penurunan efisiensi energi ini juga terkait dengan struktur kimia metanol yang mengandung oksigen internal. Meskipun kandungan oksigen tersebut mendukung pembakaran yang lebih lengkap dan menurunkan emisi gas buang seperti CO dan HC, ia juga mengurangi jumlah energi panas yang dilepaskan karena sebagian dari unsur pengoksidasi telah “tertanam” dalam struktur bahan bakar, bukan berasal dari udara luar. Dalam perbandingan dengan hidrokarbon murni seperti heptana atau iso-oktan dalam bensin, metanol menyimpan lebih sedikit energi bebas untuk dikonversi menjadi kerja mekanis [16].

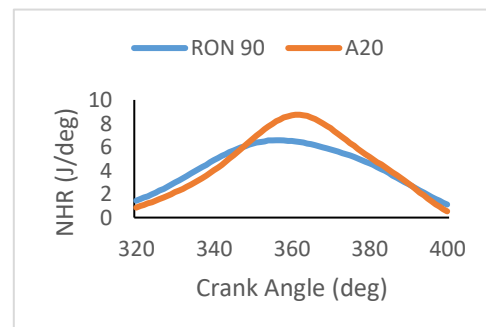
Temuan ini sejalan dengan penelitian oleh [13], yang menemukan bahwa pada campuran metanol 20–30%, terjadi peningkatan BSFC sebesar 8–15% dibandingkan bensin murni, tergantung kondisi beban dan putaran mesin. Penelitian serupa oleh [9], juga menunjukkan bahwa pada beban parsial dan kecepatan tinggi, BSFC meningkat secara nyata karena kebutuhan penginjeksian bahan bakar yang lebih tinggi akibat densitas energi rendah dari metanol.

Lebih jauh lagi, nilai BSFC yang tinggi juga menunjukkan perlunya penyesuaian sistem pembakaran. Dalam konteks pengoperasian mesin modern, sistem pengapian dan injeksi bahan bakar sangat berperan dalam menentukan efisiensi pembakaran. Penggunaan bahan bakar campuran seperti A20 memerlukan retuning terhadap timing ignition, durasi injeksi, dan rasio udara-bahan bakar (λ) agar pembakaran dapat berlangsung optimal. Tanpa penyesuaian ini, performa mesin justru dapat menurun meskipun karakteristik pembakaran metanol mendukung efisiensi secara teoritis [6].

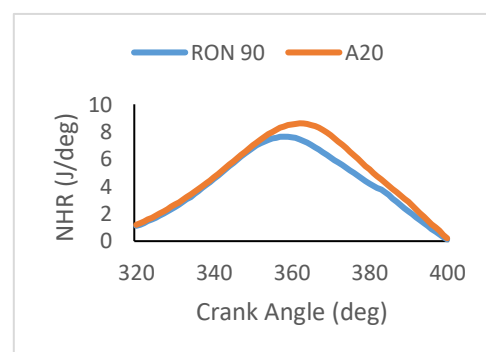
Dengan demikian, meskipun campuran metanol menawarkan sejumlah keunggulan seperti pembakaran bersih, bilangan oktan tinggi, dan pengurangan emisi, tantangan utama dari sisi konsumsi bahan bakar tetap menjadi perhatian. Peningkatan BSFC dalam skenario tanpa optimasi sistem mesin menunjukkan bahwa integrasi bahan bakar alkohol ke dalam aplikasi otomotif membutuhkan pendekatan holistik, termasuk pada aspek desain sistem kontrol dan kalibrasi mesin.



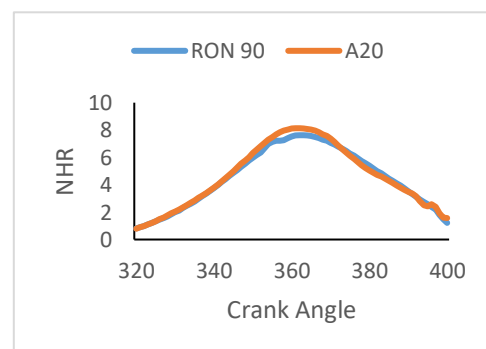
Gambar 10. Hubungan antara sudut engkol dan pelepasan panas bersih pada 1200 RPM



Gambar 11. Hubungan antara sudut engkol dan pelepasan panas bersih pada 1400 RPM



Gambar 12. Hubungan antara sudut engkol dan pelepasan panas bersih pada 1600 RPM.



Gambar 13. Hubungan antara sudut engkol dan pelepasan panas bersih pada 1800 RPM.

Gambar 10 hingga Gambar 13 menyajikan representasi visual hubungan antara laju pelepasan panas (heat release rate, HRR) terhadap sudut engkol (crank angle) pada rentang kecepatan putaran mesin antara 1200 hingga 1800 rpm. Data ini memberikan pemahaman mendalam mengenai dinamika pembakaran dalam ruang silinder, terutama dalam konteks variasi komposisi bahan bakar. Berdasarkan hasil eksperimen, peningkatan rasio kompresi secara konsisten menunjukkan peningkatan signifikan dalam laju pelepasan panas. Secara termodinamika, fenomena ini dapat dijelaskan oleh peningkatan densitas campuran udara dan bahan bakar, yang mengarah pada peningkatan tekanan dan suhu sebelum penyalan, sehingga mempercepat proses inisiasi pembakaran. Kenaikan suhu dinding silinder akibat kompresi tinggi turut mempercepat laju reaksi kimia, memperpendek jeda pembakaran (ignition delay), dan meningkatkan kecepatan nyala api (flame speed). Keseluruhan efek ini berkontribusi pada pelepasan panas yang lebih intensif, cepat, dan efisien di dalam ruang bakar [17].

Selain rasio kompresi, variabel tekanan silinder selama proses pembakaran memainkan peran krusial terhadap pola pelepasan panas. Tekanan tinggi meningkatkan efisiensi termal karena mempercepat laju reaksi oksidasi dan memperbesar nilai kerja bersih yang dihasilkan dari siklus termodinamik Otto. Penelitian [18], mendukung temuan ini, di mana tekanan puncak yang lebih tinggi berkorelasi dengan peningkatan HRR dan efisiensi energi secara keseluruhan.

Dalam hal jenis bahan bakar, karakteristik kimia dan fisik metanol menjadikannya unggul dibandingkan bensin dalam konteks pelepasan panas. Metanol, dengan struktur molekul sederhana dan titik didih tunggal, memungkinkan penguapan dan pencampuran yang lebih homogen dalam intake manifold dan ruang bakar. Sebaliknya, bensin yang merupakan campuran kompleks dari berbagai hidrokarbon dengan rentang titik didih luas, memiliki kecenderungan menghasilkan pembakaran yang kurang seragam, terutama pada suhu rendah atau kondisi transien. Efek homogenisasi ini menyebabkan pembakaran metanol berlangsung lebih merata dan cepat, yang tercermin dalam nilai HRR yang lebih tinggi [19].

Keunggulan lain dari metanol terletak pada kandungan oksigen intrinsiknya. Molekul CH_3OH mengandung sekitar 50% oksigen berdasarkan massa, yang berfungsi sebagai built-in oxidizer. Oksigen ini memperkaya campuran udara-bahan bakar, meningkatkan laju reaksi oksidasi, dan memungkinkan pembakaran yang lebih lengkap. Sebagai hasilnya, pelepasan panas berlangsung lebih efektif, serta emisi senyawa tidak terbakar seperti CO dan HC dapat ditekan secara signifikan [20].

Hasil eksperimen memperlihatkan bahwa nilai puncak pelepasan panas tertinggi tercapai pada campuran bahan bakar A20 (20% metanol dan 80% bensin) pada kecepatan mesin 1600 rpm, yaitu sebesar 8,61 joule per derajat engkol. Sebagai perbandingan, pada kondisi yang sama, bensin murni hanya menghasilkan HRR maksimum sebesar 7,63 joule per derajat engkol. Selisih sebesar 0,98 J°CA ini bukan hanya menunjukkan keunggulan termokimia metanol, tetapi juga menunjukkan bahwa pada putaran mesin menengah (1600 rpm), terjadi sinergi optimal antara dinamika pembakaran dan kondisi geometri mesin yang menghasilkan efisiensi termal terbaik. Temuan ini juga konsisten dengan hasil [21], yang melaporkan bahwa penggunaan alkohol dalam komposisi optimal dapat meningkatkan efisiensi sistem pembakaran hingga 10% pada mesin bensin konvensional.

Dengan demikian, kombinasi antara peningkatan rasio kompresi dan pemanfaatan metanol sebagai aditif bahan bakar bensin mampu meningkatkan laju pelepasan panas secara signifikan. Kecepatan mesin 1600 rpm dapat dianggap sebagai titik operasi optimum, di mana parameter desain mesin dan kualitas bahan bakar berpadu secara sinergis untuk menghasilkan pembakaran yang cepat, stabil, dan efisien secara energi. Implikasi praktis dari hasil ini adalah potensi pemanfaatan campuran metanol dalam rasio moderat untuk meningkatkan performa dan efisiensi mesin bensin tanpa memerlukan modifikasi besar pada desain mesin.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan melalui eksperimen dengan bensin dan bensin yang dicampur dengan metanol, ditemukan hasil yang signifikan. Studi ini menunjukkan bahwa bensin yang dicampur dengan 20% metanol menghasilkan tekanan silinder dan pelepasan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan bensin murni. Hasil ini menunjukkan bahwa menambahkan metanol ke bensin dapat meningkatkan kinerja pembakaran dan efisiensi energi. Namun, dalam kondisi pengujian yang sama, konsumsi bahan bakar spesifik untuk campuran metanol juga lebih tinggi dibandingkan dengan bensin murni. Ini menunjukkan bahwa meskipun campuran metanol meningkatkan tekanan silinder dan pelepasan panas, efisiensi bahan bakar keseluruhan menurun karena jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk mencapai hasil yang sama lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik. (2020). Statistik Transportasi Darat. Jakarta: BPS Indonesia.
- [2] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2020). Outlook Energi Indonesia 2019. Jakarta: ESDM.
- [3] International Energy Agency. (2021). World Energy Outlook 2021.
- [4] Zhang, J., Wang, L., & Zhao, Y. (2021). Renewable fuel adoption in internal combustion engines: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143, 110934.
- [5] Li, X., Guo, J., Wang, J., & Zhang, Y. (2023). Production of methanol from municipal solid waste: Pathways and potential. *Bioresource Technology Reports*, 21, 101228. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101228>.
- [6] Song, H., Lee, S. Y., & Kim, J. (2022). The role of methanol as a sustainable fuel: Properties, applications, and production from renewable sources. *Journal of Cleaner Production*, 367, 132955. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132955>.
- [7] Kumar, S., & Singh, A. (2020). Life cycle assessment of methanol fuel derived from biomass: Environmental and economic implications. *Renewable Energy*, 155, 350–362. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.128>.
- [8] Chen, M., Li, H., & Gao, W. (2021). Alcohol-based fuel technologies: A review on combustion, emissions, and engine optimization. *Energy Conversion and Management*, 236, 114057. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114057>.
- [9] Wang, Q., & Liu, Y. (2024). Corrosion behavior of engine components exposed to methanol–gasoline blends. *Fuel*, 356, 129211. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.129211>.
- [10] Harsono, E. B., & Suwono, A. (2022). Bioenergy transition in Southeast Asia: The case of Indonesia. *Energy Reports*, 8, 1543–1552. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.01.041>.
- [11] Yuliana, D., & Hartanto, R. (2021). Integrating methanol as an alternative fuel in Indonesia's national energy strategy. *Journal of Energy Research and Reviews*, 10(4), 45–58. <https://doi.org/10.9734/jenrr/2021/v10i430255>.
- [12] Song, Y., Lee, H., & Kim, J. (2022). Combustion and emission analysis of methanol blended gasoline in SI engines. *Fuel*, 308, 121994. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121994>.
- [13] Chen, X., Li, Y., & Gao, H. (2021). Performance and emission characteristics of a spark-ignition engine fueled with methanol–gasoline blends. *Energy Conversion and Management*, 239, 114157. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114157>.
- [14] Wang, T., & Liu, Y. (2024). Influence of alcohol-based fuels on corrosion behavior in fuel systems: A comprehensive review. *Journal of Fuel Chemistry and Technology*, 52(1), 112–126. <https://doi.org/10.1016/j.jfct.2023.11.003>.
- [15] Zhao, D., Xu, H., & Wang, F. (2023). Fuel economy and emission performance of methanol blends in spark ignition engines. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 117, 103599. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103599>.
- [16] Li, J., Wang, Z., Zhou, X., & Sun, Y. (2023). Effect of methanol-gasoline blends on combustion, performance and emissions in spark-ignition engines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 180, 113246. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113246>.
- [17] Chen, Y., Wang, J., & Zhang, L. (2022). The influence of compression ratio on combustion performance and emissions of gasoline engines. *Journal of Engineering Thermophysics*, 41(3), 553–560. <https://doi.org/10.1016/j.jthermoeng.2021.08.012>.
- [18] Liu, W., Li, X., & Zhang, H. (2023). Investigation on the effect of cylinder pressure and fuel properties on combustion performance in gasoline engines. *Energy Conversion and Management*, 242, 114299. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114299>.
- [19] Tang, H., Zhao, Y., & Xu, Y. (2021). Combustion characteristics and performance of methanol in gasoline engines. *Fuel*, 287, 119566. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.119566>.
- [20] Wang, Y., & Duan, J. (2024). The effects of oxygenated fuels on engine performance and emissions: A review. *Fuel Processing Technology*, 211, 106579. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2020.106579>.
- [21] Zhou, X., Zhang, M., & Liu, Z. (2020). Influence of alcohol-gasoline blends on engine combustion and emissions. *Applied Energy*, 261, 114460. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114460>.

UJI KARAKTERISTIK PELET *REFUSE DERIVED FUEL* (RDF) HASIL PROSES PENGOLAHAN SAMPAH MENGGUNAKAN *PELLETIZER*

Rany Puspita Dewi¹, Trisma Jaya Saputra², Nurmala Dyah Fajarningrum³, Hidayat Agung⁴, Irfan Maulana⁵

^{1,2,4,5} Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Perancangan Manufaktur, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

³ Program Studi Sarjana Teknik Mekatronika, Fakultas Teknik, Universitas Tidar

Jalan Kapten Suparman 39, Magelang 56116

ranypuspita@untidar.ac.id¹

Abstrak

Sampah perkotaan atau *Municipal Solid Waste* dapat diolah menjadi bahan bakar padat berupa pellet *Refuse Derived Fuel* (RDF) dan dimanfaatkan sebagai substitusi bahan bakar minyak. Salah satunya melalui metode Teknologi Olah Sampah di Sumbernya (TOSS). Limbah padat pada umumnya memiliki kadar abu yang rendah berkisar antara 20-40%. RDF adalah limbah atau sampah yang mudah terbakar melalui proses penghancuran dan penyarigan dengan mengubahnya menjadi bahan bakar padat. Pellet RDF dapat dibuat dengan cara penekanan menggunakan mesin pellet atau pelletizer. Tujuan dari penelitian ini adalah uji karakterisasi kinerja *pelletizer* dalam mengolah sampah perkotaan menjadi pelet RDF. Karakterisasi yang diuji meliputi analisis kadar karbon terikat, kadar *volatile*, dan kadar abu. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan komposisi sampah organik dan sampah anorganik yaitu 1 sampel A (70% komponen organik + 30% komponen anorganik), sampel B (60% komponen organik + 40% komponen anorganik), sampel C (50% komponen organik + 50% komponen anorganik), sampel D (40% komponen organik + 60% komponen anorganik), dan sampel E (30% komponen organik + 70% komponen anorganik). Hasil penelitian menghasilkan kadar karbon terikat tertinggi pada sampel E dengan nilai 18,8431%. Kadar *volatile* terendah dihasilkan pada sampel E dengan nilai 52,8445%, dan kadar abu terendah dihasilkan pada sampel A dengan nilai 4,5466%..

Kata kunci : RDF, sampah, karbon terikat, *volatile*, kadar abu.

Abstract

Municipal solid waste can be processed into solid fuel in the form of Refuse Derived Fuel (RDF) pellets and used as a fuel substitute. One of them is through the Waste Processing Technology at the Source (TOSS) method. Solid waste generally has a low ash content ranging from 20-40%. RDF is combustible waste or rubbish that goes through a crushing and filtering process by turning it into solid fuel. RDF pellets can be made by pressing using a pellet machine or pelletizer. The aim of this research is to test the characterization of pelletizer performance in processing urban waste into RDF pellets. The characterization tested includes analysis of bound carbon content, volatile content and ash content. The research was carried out by varying the composition of organic waste and inorganic waste, namely 1 sample A (70% organic components + 30% inorganic components), sample B (60% organic components + 40% inorganic components), sample C (50% organic components + 50% inorganic components, sample D (40% organic components + 60% inorganic components), and sample E (30% organic components + 70% inorganic components). The lowest volatile was produced in sample E with a value of 52.8445%, and the lowest ash content was produced in sample A with a value of 4.5466%.

Key words : RDF, waste, fixed carbon, volatile, ash content.

PENDAHULUAN

Pengujian Peningkatan penduduk khususnya di daerah perkotaan menyebabkan bertambahnya timbunan sampah yang dihasilkan. Sampah perkotaan (*Municipal Solid Waste*) terdiri dari 3 komponen utama yaitu mudah terbakar, tidak mudah terbakar, dan bahan yang mudah menguap [1]. Hal ini secara otomatis juga akan menyebabkan meningkatnya kebutuhan energi. Pemanfaatan sampah menjadi bahan bakar dalam bentuk pelet *Refuse Derived Fuel* (RDF) mampu menjadi salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan sampah perkotaan [2] melalui konsep *Waste to Energy* (WTE) [3]. RDF merupakan bahan bakar padat yang diproses melalui penekanan dengan bahan baku sampah organik dan sampah anorganik. RDF merupakan hasil pemilahan limbah padat pada fraksi sampah yang mudah terbakar dan tidak mudah terbakar [4]. RDF mayoritas terdiri dari kertas, plastic, kain, kayu, dan bahan organik. Data yang dipublikasikan dari fasilitas penyortiran menunjukkan bahwa RDF tipikal memiliki empat fraksi massa utama yaitu 15%–35% plastik, 20–50% kertas dan karton, 2–10% kayu, 5–20% organik, dan sekitar 5–10% non -kayu bakar [5]. Komposisi RDF yang ideal memiliki kandungan plastik, kertas/kardus, kain polimer, kayu, dan bahan organik lain [6].

Secara umum proses pembuatan RDF terdiri dari beberapa tahapan yaitu persiapan bahan baku, pemilahan sampah, analisis komposisi, dan pembuatan RDF. Dalam proses pembuatan RDF akan lebih mudah dilakukan dengan adanya mesin *pelletizer*. Mesin *pelletizer* dapat membantu proses lebih cepat dengan kapasitas yang lebih besar. Mesin pelet serbuk kayu pernah dibuat dengan dimensi 560 x 360 x 130 cm, motor listrik 1 fasa dengan daya sebesar 1 hp dan mampu menghasilkan pelet kayu sebanyak 50 kg/jam dengan panjang pelet 30 mm [7]. Mesin pelet kayu dibuat dengan ukuran lubang cetakan berdiameter 15 mm dan panjang 110 mm. Hasil pengujian menunjukkan pelet terbaik diperoleh pada bahan baku dengan ukuran 80 *mesh* dengan nilai kalor 4961,51 kal/g, kadar air 0,98%, kadar abu 0,93%, dan zat terbang 80,63% [8].

Mesin pelet juga telah dirancang dengan kapasitas 900 kg/jam untuk memproduksi pelet serbuk gergaji. Mesin yang dirancang memiliki 4 roller dengan empat lengan terpasang pada poros yang terpisah masing-masing 90° dengan diameter cetakan 500 mm. Pelet yang dihasilkan mesin ini memiliki diameter 8 mm dan panjang 32 mm. Daya yang dibutuhkan mesin adalah sebesar 24576 Watt dengan kekuatan yang dibutuhkan untuk pelet sekitar 1536 Newton [9]. Peralatan lain berupa screw pyroliser yang berkapasitas 6 kg/jam juga

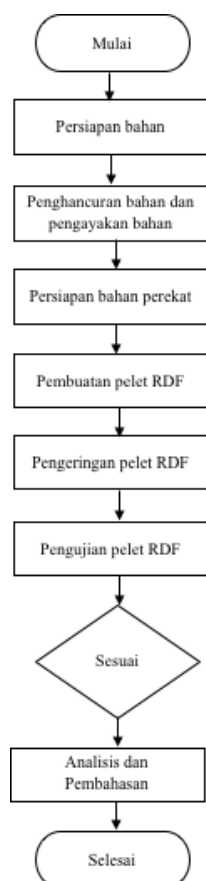
dibuat untuk mengolah sampah organik menjadi pelet RDF. Pelet RDF yang dihasilkan pada temperatur 450°C memiliki kandungan air 1,77%, kadar abu 9,66%, *volatile matter* 66,387%, karbon tetap 22,17%, dan nilai kalor 6860 kal/gram [10]. Pelet RDF juga dihasilkan dengan memanfaatkan sampah dari TPA di Cilegon. Pelet RDF yang paling optimal dihasilkan dari komposisi 85% sampah organik : 15% limbah plastik LDPE dan dengan penambahan 10% perekat. Karakteristik RDF yang dihasilkan memiliki kadar abu 14,681%, kadar air 11,215%, *volatile matter* 54,4655, *fixed carbon* 19,469%, nilai kalor 4598,017%, berat jenis 0,706 g/cm³, dan kuat tekan 6,69 kg/cm² [11]. Pelet RDF dari sampah perkotaan juga diproduksi di Bali dan menghasilkan pelet RDF dengan nilai kalor dalam rentang 3904–4945 kkal/kg [12]. Pelet biomassa juga dibuat dari bahan kayu dengan ukuran 20 *mesh* dengan campuran bahan perekat anorganik dan air sebanyak 10% dari bahan baku dengan mesin pelet dengan kecepatan putaran 1660 rpm [13].

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan dan penelitian yang telah dilakukan, dilakukan penelitian tentang uji karakteristik *pelletizer* yang dilengkapi dengan 4 *roller* dalam proses pembuatan RDF. Penelitian ditujukan untuk memastikan pelet RDF yang dihasilkan memiliki ukuran yang seragam dikarenakan distribusi tekanan pada cetakan (*die*) yang sama. Pengujian juga dilakukan terhadap karakteristik pelet RDF dari beberapa variasi komposisi terhadap kadar karbon terikat, kadar *volatile*, dan kadar abu untuk memastikan bahwa pelet RDF layak untuk mensubstitusi penggunaan bahan bakar fosil.

METODE PENELITIAN

Penelitian telah dilakukan dengan memvariasikan komposisi sampah organik dan sampah anorganik yaitu: sampel A (70% sampah organik + 30% sampah anorganik); sampel B (60% sampah organik + 40% sampah anorganik); sampel C (50% sampah organik + 50% sampah anorganik); sampel D (40% sampah organik + 60% sampah anorganik), dan sampel E (30% sampah organik + 70% sampah anorganik).

Pembuatan pelet RDF dengan memanfaatkan sampah dimulai dari persiapan bahan hingga pengujian dan analisis terdiri dari beberapa tahapan proses. Diagram alir penelitian pembuatan pelet RDF ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Rincian proses yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

a. Persiapan bahan

Pengambilan sampel dilakukan di lingkungan Universitas Tidar. Sampel sampah baik komponen sampah organik maupun komponen sampah anorganik yang telah diperoleh dibersihkan dan dipisahkan dari komponen yang tidak diperlukan. Masing-masing komponen sampah disiapkan sekitar 5 kg.

b. Penghancuran bahan dan pengayakan bahan

Penghancuran bahan dilakukan untuk mengurangi ukuran partikel dari bahan. Bahan yang telah dihancurkan kemudian diayak untuk memperoleh ukuran yang direncanakan yaitu 50 mesh.

c. Persiapan bahan perekat

Bahan perekat diperoleh dengan mencampurkan tepung tapioka dengan 0,16 liter dari air mendidih untuk memperoleh campuran yang homogen.

d. Pembuatan pelet RDF

Pembuatan pelet RDF dilakukan dengan mencampurkan bahan sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan ditambahkan dengan 15% bahan perekat. Pelet RDF yang dihasilkan berdiameter 10 mm dengan tinggi 30 mm.

e. Pengeringan pelet RDF

Pengeringan pelet RDF dilakukan dengan bantuan sinar matahari selama 2 hari dari jam 10.00-14.00, kemudian dilanjutkan dengan pengeringan dengan menggunakan oven pada temperatur 100°C selama 10 menit.

f. Pengujian pelet RDF

Pengujian dilakukan terhadap karakteristik pelet RDF yang meliputi kadar karbon terikat, kadar *volatile*, dan kadar abu. Pengujian terhadap ketiga karakteristik dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk masing-masing sampel. Rincian masing-masing pengujian dijelaskan sebagai berikut:

1) Kadar karbon terikat

Kadar karbon terikat dapat dihitung dengan mempertimbangkan nilai kadar *volatile* dan kadar abu. Kadar karbon terikat dapat dihitung dengan persamaan (1):

$$FC (\%) = 100 - (VM + AC + MC) \quad (1)$$

• VM : kadar *volatile* (%)

• AC: kadar abu (%)

• MC: kadar air (%)

2) Kadar *volatile*

Pengujian kadar *volatile* dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu:

a) Mempersiapkan sampel RDF yang akan diuji.

b) Mempersiapkan cawan yang telah dipanaskan dalam oven pada temperatur 105°C selama 60 menit.

c) Menimbang cawan kosong dengan menggunakan neraca digital.

d) Menimbang sampel diatas cawan dengan menggunakan neraca digital.

e) Mengeringkan sampel uji dengan oven pada pada temperatur 105°C selama 120 menit.

f) Mendinginkan sampel uji dalam desikator selama 15 menit.

g) Menimbang bobot sampel uji dengan menggunakan neraca digital hingga mencapai berat konstan.

h) Kadar *volatile* (%) dihitung dengan persamaan (2):

$$W_L (\%) = \frac{w_i - w_h}{w_i} \times 100$$

$$VM (\%) = W_L - MC \quad (2)$$

• W_L : persentase kehilangan bobot (%)

• W_i : bobot awal sampel (gr)

• W_h : bobot akhir sampel setelah dipanaskan (gr)

• MC : kadar air (%)

3) Kadar abu

Pengujian kadar *volatile* dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu:

a) Mempersiapkan cawan uji.

b) Memanaskan cawan uji dengan menggunakan tanur.

- c) Mendinginkan cawan dalam desikator.
- d) Menimbang cawan uji yang telah dingin.
- e) Menimbang sebanyak 3-5 gr sampel uji dalam cawan.
- f) Memanaskan cawan dalam tanur untuk proses pengabuan hingga mendapatkan bobot yang konstan. Proses pengabuan dilakukan pada 2 temperatur yaitu tahap pertama mencapai 400°C dan tahap kedua mencapai 550°C.
- g) Mendinginkan cawan dalam desikator.
- h) Menimbang cawan yang telah didinginkan.
- i) Kadar abu (%) dihitung dengan persamaan (3):

$$\text{Kadar abu}(\%) = \frac{w_o}{w_{ds}} \times 100 \quad (3)$$
 - w_o : berat sampel setelah pengabuan (gr)
 - w_{ds} : berat sampel sebelum pengabuan (gr)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produk pelet RDF yang dihasilkan dengan menggunakan *pelletizer* dan dengan memvariasikan komponen organik dan komponen anorganik ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2 Pelet RDF, sampel A (a), sampel B (b), sampel C (c), sampel D (d), dan sampel E (e).

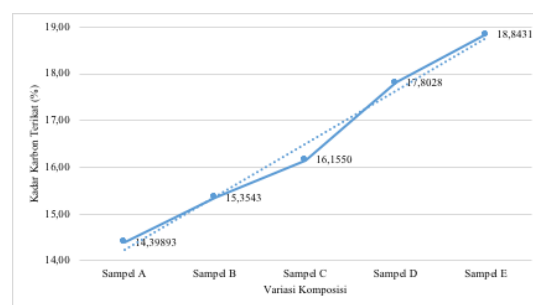
1. Kadar karbon terikat

Pengujian terhadap kadar karbon terikat pelet RDF untuk masing-masing variasi komposisi dilakukan sebanyak tiga kali perulangan yang ditunjukkan pada tabel 1 dan gambar 3.

Tabel 1 Hasil pengujian kadar karbon terikat

Sampel	Uji	Karbon terikat (%)	Rata-rata (%)
A	1	14,3418	14,3989
	2	14,3984	
	3	14,4566	
B	1	15,3923	15,3543
	2	15,3543	
	3	15,3162	
C	1	16,2512	16,1550
	2	16,1546	
	3	16,0591	
D	1	17,8287	17,8028
	2	17,7756	
	3	17,8042	
E	1	18,8492	18,8431
	2	18,8177	
	3	18,8623	

Karbon terikat (*Fixed Carbon*) adalah karbon yang tersisa setelah bahan-bahan mudah menguap (*volatile matter*) dilepaskan dari proses pembakaran [14]. Kadar karbon terikat merupakan parameter yang paling menentukan dalam menentukan potensi energi. Pengujian kadar karbon terikat dilakukan untuk menentukan kandungan karbon yang tidak mudah menguap pada pelet RDF [15]. Pada umumnya kadar karbon terikat yang tinggi menunjukkan adanya nilai kalor yang tinggi [16]. Kadar karbon terikat tertinggi diperoleh pada sampel E dengan 30% komponen organik dan 70% komponen anorganik, yaitu 18,8431%. Kadar karbon terikat terendah diperoleh pada sampel A dengan 70% komponen organik dan 30% komponen anorganik, yaitu 14,3989%. Dari hasil pengujian, pelet RDF memiliki kadar karbon terikat yang memenuhi kualitas standar mutu SNI 8951-2000.



Gambar 3 Grafik hubungan komposisi bahan terhadap kadar karbon terikat pelet RDF

2. Kadar *volatile*

Pengujian terhadap kadar karbon *volatile* pelet RDF untuk masing-masing variasi komposisi dilakukan sebanyak tiga kali perulangan yang ditunjukkan pada tabel 2 dan gambar 4.

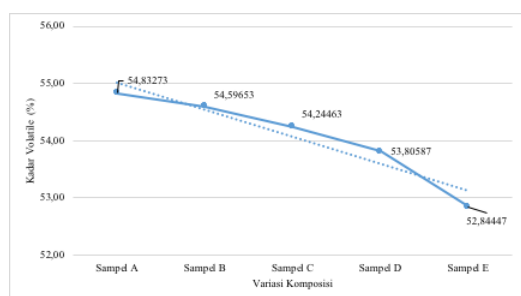
Tabel 2 Hasil pengujian kadar *volatile*

Sampel	Uji	Karbon <i>volatile</i> (%)	Rata-rata (%)
A	1	54,8134	54,8327
	2	54,9310	
	3	54,7538	
B	1	54,6177	54,5965
	2	54,5276	
	3	54,6443	
C	1	54,1376	54,2446
	2	54,2121	
	3	54,3842	
D	1	53,9841	53,8059
	2	53,8232	
	3	53,6103	
E	1	52,7778	52,8445
	2	52,9064	
	3	52,8492	

Tabel 3 Hasil pengujian kadar abu

Sampel	Uji	Karbon abu (%)	Rata-rata (%)
A	1	4,6169	4,5466
	2	4,5365	
	3	4,4865	
B	1	4,6673	4,7116
	2	4,7244	
	3	4,7431	
C	1	4,7856	4,8560
	2	4,8563	
	3	4,9261	
D	1	4,9801	5,0627
	2	5,0645	
	3	5,1434	
E	1	5,2579	5,2559
	2	5,3202	
	3	5,1896	

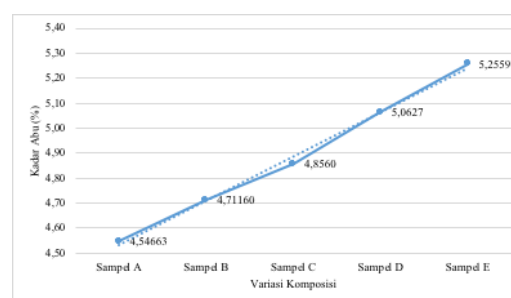
Kadar *volatile* berpengaruh secara langsung terhadap kestabilan fisik dan kinerja bahan bakar selama proses termal. Pengujian kadar *volatile* dilakukan salah satunya untuk melihat kemampuan penyalaan awal dari pelet RDF [15]. Semakin tinggi kadar *volatile* maka semakin cepat bahan bakar tersebut terbakar [16]. Kadar *volatile* terendah diperoleh pada sampel E dengan 30% komponen organik dan 70% komponen anorganik, yaitu 52,8445%. Kadar karbon terikat tertinggi diperoleh pada sampel A dengan 70% komponen organik dan 30% komponen anorganik, yaitu 54,8327%. Dari hasil pengujian, pelet RDF memiliki kadar *volatile* yang memenuhi kualitas standar mutu SNI 8951-2000. Nilai kadar zat terbang dipengaruhi oleh kandungan organik dan anorganik bahan baku. Pada saat pengujian, zat organik dan anorganik akan terlepas dari bahan sebagai zat terbang.

Gambar 4. Grafik hubungan komposisi bahan terhadap kadar *volatile* pelet RDF

3. Kadar abu

Pengujian terhadap kadar karbon abu pelet RDF untuk masing-masing variasi komposisi dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan yang ditunjukkan pada tabel 3 dan gambar 5.

Kadar abu merupakan sisa anorganik dari proses pembakaran atau oksidasi komponen organik makanan [17]. Kadar abu memiliki dampak terhadap jumlah pemanasan, karakteristik pembakaran, dan desain peralatan. Semakin tinggi kadar abu, maka semakin rendah nilai kalor bahan bakar tersebut [16]. Kadar abu terendah diperoleh pada sampel A dengan 70% komponen organik dan 30% komponen anorganik, yaitu 4,5466%. Kadar karbon terikat tertinggi diperoleh pada sampel A dengan 30% komponen organik dan 70% komponen anorganik, yaitu 5,2559%. Kenaikan persentase kadar abu pada pelet RDF disebabkan oleh turunnya kandungan organik yang dapat terbakar [18]. Dari hasil pengujian, pelet RDF memiliki kadar abu yang memenuhi kualitas standar mutu SNI 8951-2000.



Gambar 5. Grafik hubungan komposisi bahan terhadap kadar abu pelet RDF

KESIMPULAN

Hasil karakterisasi pelet RDF yang meliputi kadar *volatile*, kadar karbon terikat, dan kadar abu telah memenuhi standar mutu SNI 8951-2000 tentang pelet biomassa untuk pembangkit listrik dengan kualitas utilitas. Hasil ini menunjukkan

bahwa pelet RDF berpotensi untuk mensubstitusi penggunaan bahan bakar fosil.

154, Jun. 2012, doi: 10.20886/jpjh.2012.30.2.144-154.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Rezaei, F. Yazdan Panah, C. J. Lim, and S. Sokhansanj, "Pelletization of Refuse-Derived Fuel with Varying Compositions of Plastic, Paper, Organic and Wood," *Sustainability*, vol. 12, no. 11, pp. 1–11, Jun. 2020, doi: 10.3390/su12114645.
- [2] M. Chaerul and A. K. Wardhani, "Refuse Derived Fuel (RDF) dari Sampah Perkotaan dengan Proses Biodrying: Review," *Jurnal Presipitasi : Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, vol. 17, no. 1, pp. 62–74, 2020.
- [3] L. A. Sembiring *et al.*, "Potensi Material Sampah Combustible pada Zona II TPA Jatibarang Semarang sebagai Bahan Baku RDF (Refuse Derived Fuel)," *jtm*, vol. 7, no. 1, pp. 19–23, Mar. 2018, doi: 10.22441/jtm.v7i1.2240.
- [4] M. F. Rania, I. G. E. Lesmana, and E. Maulana, "Analisis Potensi Refuse Derived Fuel (RDF) Dari Sampah Pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Di Kabupaten Tegal Sebagai Bahan Bakar Incinerator Pirolisis," *sintek. jurnal. ilm. teknik. mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 51–59, Jun. 2019, doi: 10.24853/sintek.13.1.51-59.
- [5] H. Rezaei, F. Yazdanpanah, C. J. Lim, and S. Sokhansanj, "Pelletization properties of refuse-derived fuel - Effects of particle size and moisture content," *Fuel Processing Technology*, vol. 205, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.fuproc.2020.106437.
- [6] I. Brás, M. E. Silva, G. Lobo, A. Cordeiro, M. Faria, and L. T. De Lemos, "Refuse Derived Fuel from Municipal Solid Waste rejected fractions- a Case Study," *Energy Procedia*, vol. 120, pp. 349–356, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.07.227.
- [7] F. A. Rabbani, T. Sukarnoto, and I. J. M. Afiff, "Rancang Bangun Mesin Pelet Serbuk Kayu Kapasitas 50 kg/jam," in *Semrestek 2022*, pp. 1–10.
- [8] D. Hendra, "Rekayasa Pembuatan Mesin Pelet Kayu dan Pengujian Hasilnya," *j.penelit.has.kehutan*, vol. 30, no. 2, pp. 144–154, Jun. 2012, doi: 10.20886/jpjh.2012.30.2.144-154.
- [9] T. Mushiri, P. Mugodo, and C. Mbohwa, "Design of a sawdust pelleting machine," in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Rabat, Morocco, 2017, pp. 1763–1776.
- [10] D. A. Himawanto, "Karakteristik RDF Dari Sampah Kota Terseleksi Yang Dihasilkan Oleh Pyroliser Ulir," *Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 10, no. 2, pp. 188–199, 2021.
- [11] E. Suhendi, H. Heriyanto, P. Jundika, and N. Rizkiantika, "Characteristics of Refuse-Derived Fuel (RDF) at The Waste Processing Facility (WPF) of The Faculty of Engineering, Untirta," *World Chemical Engineering Journal*, vol. 7, no. 1, pp. 6–10, 2023.
- [12] I. W. K. Suryawan, I. M. W. Wijaya, N. K. Sari, I. Y. Septiariva, and N. L. Zahra, "Potential of Energy Municipal Solid Waste (MSW) to Become Refuse Derived Fuel (RDF) in Bali Province, Indonesia," *JBAT*, vol. 10, no. 1, pp. 09–15, Sep. 2021, doi: 10.15294/jbat.v10i1.29804.
- [13] A. Firdhaus and B. Yunianto, "Analisis Karakteristik Pelet Biomassa Berbahan Dasar Kayu Dengan Campuran Zat Perikat Organik," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 2, pp. 187–190, 2023.
- [14] I. N. Sukarta and P. S. Ayuni, "Analisis Proksimat dan Nilai Kalor Pada Pellet Biosolid Yang Dikombinasikan Dengan Biomassa Limbah Bambu," *j. sains. teknologi.*, vol. 5, no. 1, Aug. 2016, doi: 10.23887/jst-undiksha.v5i1.8278.
- [15] R. Hidayarizka, A. Wulandari, I. K. Ariani, and R. Yorika, "Analisis Variasi Ukuran Partikel Biomassa Cangkang Kelapa Sawit dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) terhadap Karakteristik Refuse Derived-Fuel (RDF)," *sjt*, vol. 8, no. 3, pp. 210–222, Dec. 2024, doi: 10.35718/specta.v8i3.1212.
- [16] S. Nasiri, A. Hajinezhad, M. H. Kianmehr, and S. Tajik, "Enhancing municipal solid waste efficiency through Refuse Derived Fuel pellets: Additive analysis, die retention time, and temperature impact," *Energy Reports*, vol. 10,

pp. 941–957, Nov. 2023, doi:
10.1016/j.egyr.2023.07.039.

- [17] I. Y. Septiariva, I. W. K. Suryawan, and M. M. Sari, "Vegetable Waste Biodrying Treatment for Energy Recovery as Refuse Derived Fuel Potential," *J. Tek. Kim. Ling*, vol. 6, no. 2, pp. 138–146, Oct. 2022, doi: 10.33795/jtkl.v6i2.316.
- [18] E. M. Maulidayanti, M. Yuliani, M. H. Robbani, W. Wiharja, E. Hambali, and D. Setyaningsih, "Evaluasi Produksi Refuse-Derived Fuel (RDF) dari Sampah Perkotaan (Studi Kasus: RDF Plant di Kabupaten Cilacap)," *Jurtekling*, vol. 25, no. 2, pp. 179–189, Jul. 2024, doi: 10.55981/jtl.2024.1008.

ANALISA EFISIENSI ISENTROPIK PADA ASH REMOVAL COMPRESSOR DENGAN SOFTWARE COMPUTER AIDED THERMODYNAMICS TABLE 3Muhammad Nizar Ramadhan ¹, Muhammad Roby ²^{1, 2} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat

Jl. Jenderal Achmad Yani KM 35,5 Banjarbaru, Kalimantan Selatan

nizarramadhan@ulm.ac.id ¹**Abstrak**

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Salah satu komponen yang digunakan untuk menjalankan sistem di PLTU adalah kompresor udara. *Air screw compressor* digunakan untuk memenuhi kebutuhan udara bertekanan pada *air instrument* dan *ash removal*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi isentropik dari *ash removal screw compressor* 2 dan 3 pada PLTU Pulang Pisau dengan membandingkan nilai isentropik dari spesifikasi pabrik dengan nilai isentropik kondisi aktualnya dengan menggunakan *software Computer Aided Thermodynamics Table 3 (CATT3)*. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini terbagi dua, yaitu pengambilan data aktual di lapangan dan perhitungan data menggunakan *software CATT3*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efisiensi isentropik rata-rata *ash removal compressor* 2 yaitu 84% dan *ash removal compressor* 3 yaitu 83% dengan *range* nilai 77% - 89%. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa *ash removal compressor* 2 dan 3 pada PLTU Pulang Pisau masih bekerja dengan baik. Hasil ini juga menunjukkan bahwa metode pengukuran dan evaluasi efisiensi kompresor dengan *software CATT3* efektif, sehingga bisa diadopsi sebagai alat bantu evaluasi rutin.

Kata kunci : PLTU pulang pisau, *ash removal compressor*, CATT3, efisiensi isentropik.

Abstract

Steam Power Plant (PLTU) is a plant that relies on kinetic energy from steam to produce electrical energy. One of the components used to run the system in the PLTU is an air compressor. Air screw compressors are used to meet the needs of pressurized air in air instruments and ash removal. This study aims to analyze the isentropic efficiency of ash removal screw compressors 2 and 3 at Pulang Pisau Steam Power Plant by comparing the isentropic value of factory specifications with the isentropic value of actual conditions using Computer Aided Thermodynamics Table 3 (CATT3) software. The method carried out in this study is divided into two, namely taking actual data in the field and calculating data using CATT3 software. The results showed that the average isentropic efficiency value of ash removal compressor 2 is 84% and ash removal compressor 3 is 83% with a range of values of 77% - 89%. From these results, it can be concluded that ash removal compressors 2 and 3 at the Pulang Pisau Steam Power Plant are still working properly. These results also show that the method of measuring and evaluating compressor efficiency with CATT3 software is effective, so it can be adopted as a routine evaluation tool.

Key words : Pulang Pisau Steam Power Plant, *ash removal compressor*, CATT3, isentropic efficiency.

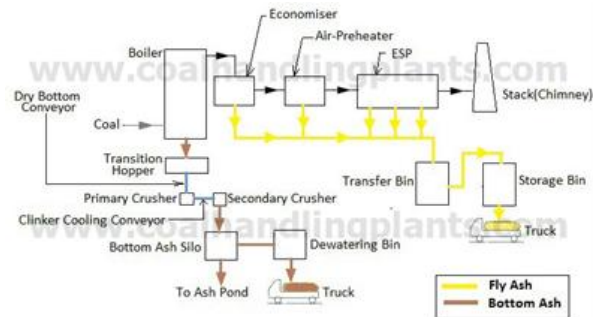
PENDAHULUAN

Green Listrik merupakan kebutuhan yang sangat penting bagi semua orang. Listrik telah menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat karena hampir setiap aktivitas masyarakat sangat tergantung pada ketersediaan energi listrik [1]. Di sektor perindustrian sendiri, energi listrik merupakan kebutuhan primer setelah bahan dasar produksi. Seiring dengan berjalannya waktu, kebutuhan energi listrik di masyarakat akan semakin meningkat [2].

Untuk menunjang kebutuhan listrik yang meningkat, maka diperlukan fasilitas dalam menghasilkan listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah pembangkit yang mengandalkan energi kinetik dari uap untuk menghasilkan energi listrik. Pada sistem PLTU, banyak terdapat komponen untuk menjalankan sistem agar dapat menghasilkan listrik, dimana salah satu komponen yang digunakan adalah kompresor udara. Suplai udara kompresi mempunyai peranan penting dalam kelangsungan operasi PLTU. Kegagalan yang terjadi dalam pengoperasian mesin di unit ini dapat mempengaruhi seluruh kegiatan operasional pabrik yang berakibat pada penurunan tingkat produksi.

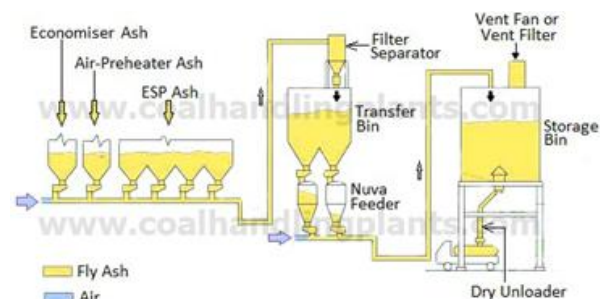
Kompresor udara merupakan alat pendukung pada sebuah pembangkit listrik bertenaga uap, guna menyuplai kebutuhan udara bertekanan pada *air instrument* dan *air plant* [3]. Kompresor udara merupakan suatu permesinan bantu yang digunakan untuk memampatkan gas yang biasanya menghisap udara dari atmosfer. Selain itu untuk menghisap udara atau gas yang bertekanan tinggi dari tekanan atmosfer [4].

Ash handling system merupakan salah satu bagian di PLTU yang bertugas untuk mengendalikan abu sisa pembakaran di dalam boiler. *Ash handling system* terdiri atas penanganan abu ringan atau abu terbang (*fly ash system*) dan penanganan abu berat (*bottom ash system*). *Fly ash system* meliputi *electrostatic precipitator* (ESP), sistem transport *fly ash* dari *hopper* ke *fly ash silo* menggunakan *compressor*, *heater* dan *blower* sebagai penjaga temperatur *fly ash* serta proses *loading* dan *unloading fly ash*. Sedangkan *bottom ash system* meliputi *submerged scrapper conveyor* (SSC), *bottom ash conveyor*, *cooling system SSC* serta proses *loading* dan *unloading bottom ash* [5].



Gambar 1. Ash handling system
(Sumber: www.coalhandlingplants.com)

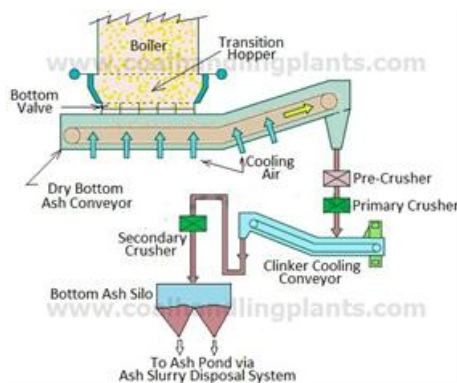
Fly ash (abu terbang) adalah abu halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara di dalam boiler. Ketika batu bara dibakar, abu sisa yang sangat ringan ini tetap berada di udara, sehingga disebut *fly ash*. Abu yang lebih berat jatuh ke dasar boiler dan dikenal sebagai *bottom ash*. Di pembangkit listrik tenaga batu bara modern, *fly ash* biasanya ditangkap oleh perangkat *electrostatic precipitator* atau peralatan filtrasi partikel lain sebelum gas buang dilepaskan melalui cerobong asap. Komposisi *fly ash* bervariasi tergantung pada sumber dan jenis batu bara yang digunakan, namun umumnya mengandung banyak silikon dioksida (SiO_2), baik dalam bentuk amorf maupun kristal, dan kalsium oksida (CaO), yang merupakan senyawa mineral utama dalam lapisan batuan yang mengandung batu bara. [6].



Gambar 2. Fly ash handling system
(Sumber: www.coalhandlingplants.com)

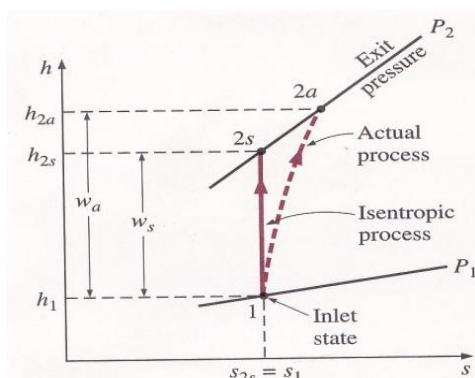
Bottom ash merupakan residu abu yang terbentuk dari pembakaran batubara sebagai sumber energi dalam boiler pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Abu ini berbentuk partikel halus dan memiliki sifat pozzolan, yang membuatnya berguna sebagai bahan tambahan dalam konstruksi. Ada tiga metode utama dalam pembakaran batubara: *dry bottom boilers*, *wet bottom boilers*, dan *cyclon furnace*. Pada *dry bottom boilers*, sekitar 80% abu yang dihasilkan keluar bersama aliran gas sebagai *fly ash*, sedangkan pada *wet bottom boilers*, abu terbagi hampir seimbang, dengan 50% tertinggal di area

pembakaran dan 50% lainnya ikut dalam aliran gas. Sementara itu, pada metode *cyclon furnace*, yang menggunakan potongan batubara besar, sekitar 70-80% abu tertahan sebagai *slag* di dalam boiler, sementara hanya 20-30% yang keluar bersama gas pembakaran sebagai *dry ash* [7].



Gambar 3. *Bottom ash handling system*
(Sumber: www.coalhandlingplants.com)

Efisiensi isentropik adalah ukuran kinerja ideal suatu komponen termodinamika seperti kompresor dibandingkan dengan kinerjanya dalam kondisi ideal di mana proses isentropik atau tanpa entropi terjadi. Efisiensi isentropik ini menggambarkan seberapa dekat kinerja aktual suatu alat mendekati kinerja idealnya dengan asumsi kondisi masukan dan keluaran yang sama. Efisiensi isentropik kompresor adalah membandingkan kerja aktual yang dilakukan dengan kerja ideal dalam kondisi isentropik (tanpa entropi), yaitu tanpa perpindahan panas serta perubahan energi yang signifikan. Efisiensi ini menunjukkan sejauh mana energi dapat dimanfaatkan secara optimal dengan kehilangan energi minimum akibat proses gesekan atau perpindahan panas [8].



Gambar 4. Diagram *h-s* aktual dan isentropic
(Sumber: Energy Efficiency for Engineers)

Jika keadaan awal (h_1) sudah diketahui, maka input kerja ke kompresor hanya bergantung

pada entalpi keluaran (h_{2a}). Ini berarti semakin rendah nilai h_{2a} , semakin kecil input kerja yang dibutuhkan. Kerja minimum terjadi saat h_{2a} mencapai nilai terkecilnya dalam proses kompresi isentropik, yaitu dari kondisi masuk dengan tekanan keluaran tertentu. Namun, pada kompresi nyata, entalpi keluaran (h_{2a}) selalu lebih besar dari entalpi isentropik (h_{2s}), sehingga memerlukan kerja yang lebih besar dibandingkan kondisi ideal. Selisih ini dihitung dengan menggunakan efisiensi isentropik kompresor [9].

Persamaan yang digunakan untuk menghitung efisiensi kompresor adalah sebagai berikut :

- Kerja kompresor isentropik (w_{cs})
 $w_{cs} = h_{2s} - h_1$ (1)
- Kerja kompresor kondisi aktual (w_a)
 $w_a = h_2 - h_1$ (2)
- Efisiensi kompresor (η_c)
 $\eta_c = \frac{w_{isentropic}}{w_{ideal}} \times 100\% = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \times 100\%$ (3)

Dimana:

- w_{cs} = Kerja kompresor isentropik (kJ/kg)
- w_a = Kerja kompresor kondisi aktual (kJ/kg)
- η_c = Efisiensi isentropik kompresor (%)
- h_{2s} = Entalpi kondisi isentropik sisi keluaran kompresor (kJ/kg)
- h_1 = Entalpi kondisi aktual sisi masukan kompresor (kJ/kg)
- h_2 = Entalpi kondisi aktual sisi keluaran kompresor (kJ/kg)

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi isentropik dari *ash removal screw compressor* 2 dan 3 pada PLTU Pulang Pisau dengan membandingkan nilai isentropik dari spesifikasi pabrik dengan nilai isentropik kondisi aktualnya dengan menggunakan *software Computer Aided Thermodynamics Table 3* (CATT3). Penelitian serupa juga pernah dilakukan dengan menggunakan *software Computer Aided Thermodynamics Table 2* (CATT2), dimana penelitian berfokus pada *Sullair Screw Air Compressor* yang berfungsi sebagai pembuka dan penutup tungku pada PT Krakatau Steel. Nilai rata-rata efisiensi isentropis kompresor 87,34%, dengan range 84,81-89,48%. Dari hasil perhitungan dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa kompresor yang digunakan di pabrik Hot Strip Mill PT. Krakatau Steel masih bekerja dengan baik walaupun kompresor bekerja secara terus menerus dan hanya dilakukan penonaktifan selama 1 hari dalam setiap bulannya [10].

METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan dalam penelitian ini terbagi dua, antara lain langkah pengambilan data aktual di lapangan dan langkah perhitungan data menggunakan *software Computer Aided Thermodynamics Table 3* (CATT3).

Pengambilan Data

Pada tahapan ini, beberapa data yang diperlukan dalam analisis perhitungan langsung diambil dari PLTU Pulang Pisau yang berlokasi di Desa Buntoi, Kecamatan Kahayan Hilir, Kabupaten Pulang Pisau, Provinsi Kalimantan Tengah. PLTU ini dibangun oleh PT. Bagus Karya dan Fujian Longking Co., Ltd. PLTU ini memiliki daya sebesar 2 x 60 MW. Data yang diambil meliputi data spesifikasi *ash removal screw compressor*, data temperatur *suction*, serta data tekanan dan temperatur keluar kompresor.

Spesifikasi *ash removal screw compressor* 2 dan 3 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *ash removal screw compressor*

Manufacturer	Sullair, Hitachi Industrial Equipment Systems Co., Ltd.
Model	LS200HWC
B.O.M No	88292020-089
Serial Number	38117050070
Volume Flow	33.8 m ³ /min
Discharge Pressure	0.8 MPa
Max. Discharge Pressure	0.85 MPa
Motor Power	200 kW
Rotating Speed	1487 rpm
Overall Dimensions	3760 x 2200 x 2150 mm
Date of Manufacturer	2017.5

Sedangkan pengambilan data aktual di lapangan meliputi pengambilan data temperatur *suction* menggunakan *thermogun* serta pengambilan data tekanan dan temperatur keluar pada *display* kompresor.

Tabel 2. Data hasil pengamatan *Ash Removal Compressor 2*

Tekanan masuk (P_1)	0,1 MPa
Temperatur masuk (T_1)	45 °C
Tekanan keluar (P_2)	0,68 MPa
Temperatur keluar (T_2)	91 °C
Temperatur keluar isentropik (T_{2s})	85 °C

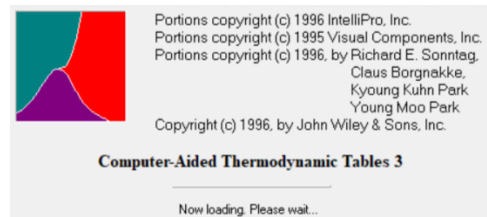


Gambar 5. Pengambilan data tekanan dan temperatur keluar kompresor

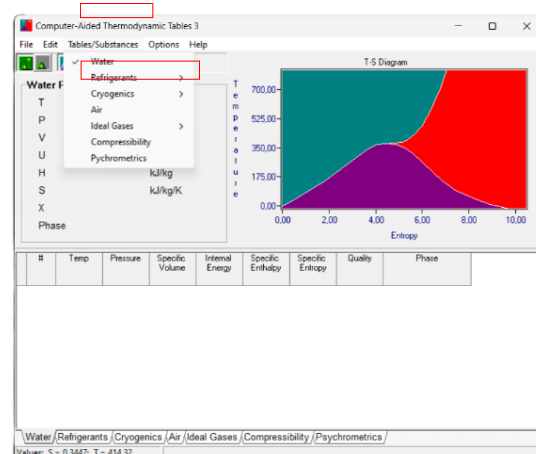
Perhitungan Data

Pada tahapan ini, data yang sudah didapatkan dari Tabel 2 di *input* ke dalam *software Computer Aided Thermodynamics Table 3* (CATT3). Langkah-langkah perhitungan data tekanan dan temperatur masuk, *discharge*, ideal pada *software* CATT3, sebagai berikut:

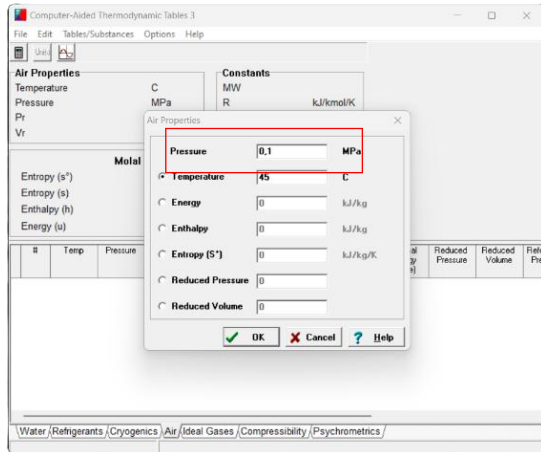
- Menjalankan *software Computer Aided Thermodynamics Table 3* (CATT3)



- Ubah *Tables/Substances* menjadi *Air*



- Memasukan nilai tekanan masuk (P_1) dan temperatur masuk (T_1) untuk mendapatkan nilai entalpi h_1

d. Hasil dari perhitungan data P_1 dan T_1

Pada perhitungan *software* tersebut dapat diketahui nilai entalpi tiap titik, dan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil entalpi perhitungan *software*

h_1 (kJ/kg)	h_2 (kJ/kg)	h_{2s} (kJ/kg)
318,7	365,1	359

Dari Tabel 3 kemudian dapat dihitung nilai kerja isentropik (w_{cs}) dan aktual (w_a) menggunakan persamaan (1) dan (2) sehingga didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil perhitungan kerja aktual dan isentropik

Kerja aktual (w_a)	46,4 kJ/kg
Kerja isentropik (w_{cs})	40,3 kJ/kg

Langkah terakhir adalah menghitung efisiensi kompresor dari data pada Tabel 4 menggunakan persamaan (3).

$$\eta_c = \frac{w_{isentropic}}{w_{ideal}} \times 100\% = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \times 100\%$$

$$\eta_c = \frac{40,3 \text{ kJ/kg}}{46,4 \text{ kJ/kg}} \times 100\%$$

$$\eta_c = 87\%$$

Dari perhitungan di atas didapatkan nilai efisiensi dari *screw compressor* tipe LS200HWC dengan nama *ash removal compressor 2* sebesar 87%, yang dimana nilai tersebut termasuk tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan data hasil perhitungan efisiensi *ash removal compressor 2* dan 3 selama 1 hari dengan total 17 kali pengambilan data dengan interval waktu selama 15 menit, yaitu pada pukul 09:00 WITA sampai dengan 17:00 WITA.

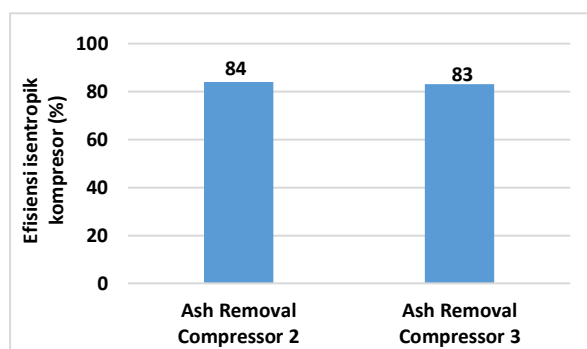
Tabel 5. Hasil perhitungan *ash removal compressor 2*

ASH REMOVAL COMPRESSOR 2									
Waktu (WITA)	Inlet Kompresor (Aktual)		Outlet Kompresor (Aktual)		Outlet Kompresor (Isentropik)		Entalpi (h_2) (kJ/kg)	Efisiensi Kompresor Isentropik (η_c) (%)	
	Tekanan Masuk (P_1) (MPa)	T inlet (T_1) (°C)	Tekanan Keluar (P_2) (MPa)	T outlet (T_2) (°C)	Tekanan Keluar (P_2) (MPa)	T outlet (T_2) (°C)			
9:00	0.1	45	0.68	91	0.8	85	359	87%	
9:30	0.1	47	0.67	93	0.8	85	359	83%	
10:00	0.1	45.2	0.67	92	0.8	85	359	85%	
10:30	0.1	46.2	0.66	90	0.8	85	359	89%	
11:00	0.1	47.6	0.68	92	0.8	85	359	84%	
11:30	0.1	46.7	0.68	91	0.8	85	359	86%	
12:00	0.1	46.9	0.66	92	0.8	85	359	84%	
12:30	0.1	48.1	0.68	93	0.8	85	359	82%	
13:00	0.1	47.4	0.66	90	0.8	85	359	88%	
13:30	0.1	47.7	0.66	94	0.8	85	359	81%	
14:00	0.1	47.6	0.67	93	0.8	85	359	82%	
14:30	0.1	46.8	0.68	93	0.8	85	359	83%	
15:00	0.1	45.1	0.66	97	0.8	85	359	77%	
15:30	0.1	46.5	0.68	94	0.8	85	359	81%	
16:00	0.1	41.9	0.68	94	0.8	85	359	83%	
16:30	0.1	46	0.68	93	0.8	85	359	83%	
17:00	0.1	47.3	0.68	92	0.8	85	359	84%	
Rata-rata Efisiensi Kompresor Isentropik								84%	

Tabel 6. Hasil perhitungan *ash removal compressor 3*

ASH REMOVAL COMPRESSOR 3									
Waktu (WITA)	Inlet Kompresor (Aktual)		Outlet Kompresor (Aktual)		Outlet Kompresor (Isentropik)		Entalpi (h_2) (kJ/kg)	Efisiensi Kompresor Isentropik (η_c) (%)	
	Tekanan Masuk (P_1) (MPa)	T inlet (T_1) (°C)	Tekanan Keluar (P_2) (MPa)	T outlet (T_2) (°C)	Tekanan Keluar (P_2) (MPa)	T outlet (T_2) (°C)			
9:00	0.1	48	0.64	89	0.8	85	359	90%	
9:30	0.1	49.2	0.63	89	0.8	85	359	90%	
10:00	0.1	49.2	0.63	89	0.8	85	359	90%	
10:30	0.1	46.3	0.63	91	0.8	85	359	86%	
11:00	0.1	47.5	0.68	93	0.8	85	359	82%	
11:30	0.1	46	0.67	95	0.8	85	359	80%	
12:00	0.1	47	0.68	93	0.8	85	359	83%	
12:30	0.1	48.5	0.68	93	0.8	85	359	82%	
13:00	0.1	47.6	0.66	94	0.8	85	359	81%	
13:30	0.1	48.3	0.68	96	0.8	85	359	77%	
14:00	0.1	48	0.68	94	0.8	85	359	80%	
14:30	0.1	47.5	0.68	96	0.8	85	359	77%	
15:00	0.1	45.9	0.64	91	0.8	85	359	87%	
15:30	0.1	47	0.68	96	0.8	85	359	78%	
16:00	0.1	43.3	0.68	94	0.8	85	359	82%	
16:30	0.1	46.7	0.66	92	0.8	85	359	84%	
17:00	0.1	47.5	0.67	93	0.8	85	359	82%	
Rata-rata Efisiensi Kompresor Isentropik								83%	

Pada perhitungan di bagian metode penelitian, dapat dilihat sampel hasil perhitungan dari salah satu data untuk melakukan perhitungan efisiensi isentropik pada kompresor. Sampel perhitungan tersebut menggunakan salah satu kompresor yaitu *ash removal compressor 2* yang diambil pada pukul 09.00 WITA, dimana pada perhitungan efisiensi kompresornya didapatkan nilai sebesar 87%. Langkah perhitungan tersebut kemudian diterapkan juga pada setiap data aktual yang telah diambil dari *ash removal compressor 2* dan 3 untuk setiap interval waktu, sehingga didapatkan nilai rata-rata efisiensi isentropik kompresor yang dihasilkan seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik perbandingan efisiensi isentropik *ash removal compressor*

Berdasarkan gambar 7, terlihat perbedaan efisiensi isentropik kompresor yang ada di PLTU Pulang Pisau. Efisiensi isentropik tertinggi didapatkan pada *ash removal compressor 2* dengan nilai 84% dan efisiensi isentropik terendah pada *ash removal compressor 3* dengan nilai efisiensi 83%.

Standar efisiensi isentropik *rotary compressor* di industri terletak di *range* 70% - 75%. Sedangkan berdasarkan Tabel 5 dan Tabel 6, efisiensi isentropik *ash removal compressor 2* berada pada *range* 77% - 89% dan efisiensi isentropik *ash removal compressor 3* berada pada *range* 77% - 90%. Ini menandakan bahwa kedua *ash removal compressor* masih dalam kondisi yang efisien, juga memiliki nilai yang masih diatas rata-rata sekitar 80%.

Namun, bila dibandingkan dengan kondisi *commissioning ash removal compressor* dengan asumsi performa 100%, kondisi aktual rata-rata efisiensi isentropik pada *ash removal screw compressor 2* mengalami penurunan performa sekitar 16% dengan nilai efisiensi isentropik rata-rata 84 % dan nilai aktual rata-rata efisiensi isentropik pada *ash removal screw compressor 3* mengalami penurunan performa sekitar 17% dengan nilai efisiensi isentropik rata-rata 83 %.

Hal yang sangat berpengaruh pada efisiensi isentropik kompresor adalah temperatur udara keluar

(*discharge*). Dari data dapat dilihat rata-rata temperatur udara keluar pada *ash removal compressor 3* sedikit lebih tinggi 0,2 °C bila dibandingkan dengan temperatur udara keluar pada *ash removal compressor 2*. Kondisi ini yang menyebabkan efisiensi *ash removal compressor 3* lebih rendah dibandingkan dengan *ash removal compressor 2*. Nilai temperatur udara *discharge* dipengaruhi kualitas *cooling water heat exchanger*, oli, viskositas oli, level oli, serta temperatur udara ruang (*ambient temperature*) kompresor.

Untuk menjaga performa kompresor, maka pengoptimalisasian dapat dilakukan dengan melakukan *maintenance*, seperti pergantian oli, memperhatikan kinerja dan pembersihan rutin pada *heat exchanger oil cooler* agar selalu bekerja dengan baik. Selain itu, pengecekan terhadap kualitas air pada *heat exchanger oil cooler* juga sangat penting, dikarenakan air sebagai media pengantar panas pada HE untuk dibuang ke udara sekeliling juga harus memenuhi *standart water requirement*, karena jika oli yang keluar dari *cooler* masih panas dan masuk ke kompresor lagi maka dapat berpengaruh pada temperatur *outlet* kompresor.

KESIMPULAN

Penghitungan efisiensi isentropik dapat dilakukan dengan cara membandingkan antara nilai kerja isentropik kompresor dengan nilai kerja aktual dari kompresor. Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai rata-rata efisiensi *ash removal compressor 2* yaitu 84% dan *ash removal compressor 3* yaitu 83%. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, *ash removal compressor* mengalami sedikit penurunan efisiensi performa sebesar 16 sampai 17%. Hal ini disebabkan karena keausan dari komponen-komponen pada kompresor *screw*, perbedaan beban yang diberikan pada saat pengoperasian, performa *heat exchanger oil cooler*, serta temperatur udara ruang yang bisa berpengaruh dalam peningkatan pada temperatur oli di kompresor. Metode pengukuran dan evaluasi efisiensi kompresor dengan software CATT3 lebih efektif, sehingga bisa diadopsi sebagai alat bantu evaluasi rutin.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada pihak PT. PLN Nusantara Power UP. Pulang Pisau yang telah memberikan kesempatan dan *support* kepada penulis dalam melakukan riset di lingkungan PT. PLN Nusantara Power UP. Pulang Pisau.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rosadi, M. A. (2019). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Konsumsi Listrik di Indonesia.
- [2] Lagonggan, R. G. M. C. M. L. S. P. (2020). Studi Efisiensi Penggunaan Energi Listrik di Perseroan Terbatas Multi Nabati Sulawesi Unit Maleo.
- [3] Firmansyah, Iham Arif, & Aqli Mursadin. (2021). Analisis Penurunan Sistem Kompresor Pada Pembangkit Di PT. Indocement Tunggal Prakarsa, Tbk. P-12 Tarjun Kalimantan Selatan.
- [4] Indrawan, D., & Dominite, A. (2020). Analisa Overheating Pada Compressor Sullair LS16-60/75/100. In *Jurnal Terapan Teknik Mesin* (Vol. 1, Issue 1).
- [5] Pradipta, & Ivan Ade. (2022). Performance Analysis of Electrostatic Precipitator (ESP) Based on Secondary Current Transformer at Tanjung Jati B Unit 3 Coal-Fired Power Plant.
- [6] Indriyati Tengku Syahilla, Malik Alfian, & Alwinda Yosi. (2019). Kajian Pengaruh Pemanfaatan Limbah FABA (Fly Ash dan Bottom Ash) pada Konstruksi Lapisan Base Perkerasan Jalan. *Jurnal Teknik*, 13(2).
- [7] Sutrisna, H., & Aldrin. (2023). Analisis Pengaruh Komposit Berbahan Limbah Plastik Low Density Polyethylene dan Bottom Ash sebagai Bahan Alternatif Batako. In *Jurnal Teknik Mesin UTS* (Issue 1). <https://jurnal.uts.ac.id/index.php/gearftrs>.
- [8] Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2010). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*. John Wiley & Sons, Inc.
- [9] Yunus A. Çengel, & Ghajar, A. J. (2015). Heat and Mass Transfer Fundamentals & Applications.
- [10] Puspawan Angky. (2014). Analysis of Compressor Isentropic Efficiency Type Sullair Screw Air Compressor in Factory Of Hot Strip Mill Case Study in PT. Krakatau Steel (Persero) Cilegon by Using Computer Aided Thermodynamics Table 2 (CATT2). In *Jurnal Ilmiah Bidang Sains Teknologi Murni Disiplin*.

PREDIKSI TITIK LAS BAJA TULANG KING CROSS MENGGUNAKAN METODE TAGUCHI

Raden Muhammad Rafi Hadiriyanto¹, Reza Setiawan², Aa Santosa³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

Jl. HS. Ronggo Waluyo, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat, Indonesia

1910631150190@student.unsika.ac.id¹

Abstrak

Pengelasan merupakan suatu proses penggabungan material yang menghasilkan peleburan pada suhu pengelasan, baik dengan menerapkan tekanan atau tanpa adanya tekanan, serta menggunakan logam pengisi atau tanpa menggunakannya. Sebelum dilakukan proses pengelasan, diperlukan penempatan las titik yang bertujuan untuk menahan posisi sebelumnya ke operasi pengelasan. Pada proses las titik dilakukan dengan menempatkan gumpalan kecil las pada jalur pengelasan. Maka dari itu penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah las titik serta memprediksi titik las pada baja tulang *king cross* dengan menggunakan metode Taguchi. Penyusunan *orthogonal array* dipergunakan sebagai tata letak eksperimen pada metode Taguchi, hasil eksperimen dari metode ini perlu dianalisa kembali keakuratannya untuk memenuhi suatu kondisi tertentu. Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan metode taguchi dalam memprediksi titik las, ditemukan hasil bahwa faktor utama yang paling mempengaruhi dalam build up setting *kingcross* ialah jarak antar titik las, faktor kedua ialah jumlah titik las, dan faktor ketiga ialah panjang titik las. Dengan demikian nilai optimal yang didapat pada *build up setting king cross* dengan jumlah titik las sebanyak 38 titik dalam 15420 mm atau 2.464332036 titik las disetiap meternya, dengan jarak antar titik las sejauh 354.22mm, dan panjang titik las sepanjang 61.22 mm.

Kata kunci : las titik, *king cross* dan metode taguchi

Abstract

Welding is a process of joining materials that results in melting at welding temperatures, either by applying pressure or in the absence of pressure, and using filler metal or without using it. Before the welding process is carried out, a spot weld placement is required which aims to hold the previous position to the welding operation. In the process of spot welding is done by placing a small blob of weld on the welding line. Therefore, this research needs to be done to determine the effect of the number of spot welds and predict the weld point on king cross bone steel using the Taguchi method. The Taguchi method is used to arrange an orthogonal array as the experimental layout, in this method the experimental results must be further analyzed for accuracy to meet certain conditions. Based on the results of research using the Taguchi method in predicting weld points, it was found that the main factor that most influences the build up setting kingcross is the distance between weld points, the second factor is the number of weld points, and the third factor is the length of the weld point. Thus the optimal value obtained in the build up setting king cross with the number of welding points as many as 38 points in 15420 mm or 2.464332036 welding points in each meter, with the distance between welding points as far as 354.22mm, and the length of the welding point along 61.22 mm.

Key words : weld points, *king cross* and taguchi methods.

PENDAHULUAN

Perkembangan Pada pembuatan *king cross* dilakukan intermitten las titik yang selanjutnya dilakukan las penuh. Intermitten las titik dilakukan untuk menjaga bentuk awal dari *king cross* tanpa perubahan kekuatan dari material [1]. Karena, ketika dilakukan pengelasan penuh tanpa adanya intermitten las titik akan terjadi *buckling* atau *collapse* pada material [2]. Dengan dilakukannya intermitten las titik juga meningkatkan longitudinal *ductility* pada material [3]. *King cross* merupakan gabungan dari dua buah baja profil *wide flange* yang dilas penuh pada kedua sisi webnya [4].



Gambar 1 Tampak depan *king cross*.

Sumber: Purboningtyas A.S., Suswanto Budi, dan Kristijanto Heppy, 2016.

Dalam tahap pembuatan *king cross* terdapat tahapan fabrikasi yang perlu dilakukan. Adapun tahapan dalam melakukan fabrikasi sebagai berikut. Pertama, membuat atau mendapatkan gambar atau sketsa fabrikasi. Kedua, melakukan pengembangan terhadap prosedur yang dikelola dengan matang. Ketiga, mengumpulkan alat dan bahan. Keempat, membuat template, pola, dan perlengkapan jika diperlukan. Kelima, memotong material. Keenam, membuat preparat tepi dan membersihkan area logam. Ketujuh, membuat jig atau perlengkapan jika diperlukan. Kedelapan, memposisikan dan menjepit material sebelum pengelasan. Kesembilan, membuat las titik, memeriksa dimensi, setup, dan kuadrat. Kesepuluh, menempatkan lasan akhir dan merakit fabrikasi akhir. Kesebelas, mengecat fabrikasi [5].

Lasan didefinisikan oleh *American Welding Society* (AWS) sebagai penyatuan lokal (perpaduan atau tumbuh bersama dari struktur butir dari bahan yang dilas) dari logam atau bukan logam yang dihasilkan baik dengan memanaskan bahan sampai suhu pengelasan yang dibutuhkan, dengan atau tanpa penerapan tekanan, atau dengan penerapan tekanan saja dan dengan atau tanpa penggunaan bahan pengisi [6].

Las titik merupakan penerapan las sementara di area akar sambungan yang berfungsi untuk memegang material untuk digabungkan dengan pengelasan [7]. Las titik harus seragam, berukuran kecil, dan bebas dari cacat sehingga tidak

merugikan mempengaruhi hasil las [8]. Penempatan las titik harus terletak di sepanjang jalur las sesungguhnya [9]. Sehingga las titik akan mendapatkan busur yang sepenuhnya stabil dan panas maksimum, dengan demikian las titik sepenuhnya dilebur kembali ke dalam manik las [10].

Tujuan dalam penelitian ini melakukan analisa pada pembuatan *king cross* untuk mengetahui pengaruh dari panjang titik las, jumlah titik las, dan jarak antar titik las dengan menggunakan metode Taguchi.

METODE PENELITIAN

Pada penelitian pengelasan baja tulang *king cross* ini menggunakan metode Taguchi dengan bantuan aplikasi Minitab®19 dan Matlab 2018b. Metode Taguchi termasuk dalam kelompok *fractional factorial* eksperimen. Tata letak eksperimen pada metode Taguchi disusun oleh *orthogonal array*. Kemampuan dalam mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah test minimum merupakan keuntungan dari *orthogonal array*. Dalam pelaksanaan penelitian ini dilakukan beberapa langkah penelitian yang dilakukan, adapun langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

Desain parameter dengan metode Taguchi dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut [9]:

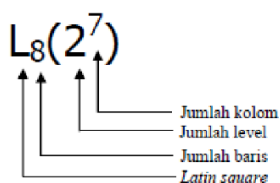
1. Menentukan karakteristik kualitas, nilai apa yang harus dioptimasi
2. Menentukan jumlah level untuk desain parameter
3. Melakukan desain matrik eksperimen dan menentukan prosedur data analisis
4. Menghitung matriks eksperimen
5. Melakukan analisis dari hasil eksperimental dengan menggunakan S/N dan analisis ANOVA
6. Menyeleksi level parameter yang memberikan hasil optimal
7. Melakukan prediksi pada level ini
8. Verifikasi desain parameter dengan melakukan konfirmasi eksperimen.

Fractional factorial merupakan eksperimen yang menjadi desain eksperimen dalam metode Taguchi. Dengan menyusun *orthogonal array* sebagai tata letak dalam eksperimennya. *Orthogonal array* dapat mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah test yang minimum, hal tersebut yang menjadi keuntungan dari *orthogonal array*.

Orthogonal array dipergunakan untuk mendeskripsikan jumlah eksperimen yang dilakukan. Untuk menentukan *orthogonal array*

yang sesuai dengan eksperimen ini, maka perlu dilakukan beberapa prosedur sebagai berikut [9]:

1. Mendefinisikan jumlah faktor dan levelnya. Melakukan pengamatan terhadap parameter-parameter yang terjadi dalam suatu proses produksi. Setelah parameter telah diketahui, selanjutnya menentukan level pengamatan untuk setiap faktor yang mempengaruhi.
2. Tentukan derajat kebebasan (*degrees of freedom*). Derajat kebebasan (*degrees of freedom*) adalah sebuah konsep yang mendiskripsikan seberapa besar eksperimen yang mesti dilakukan dan seberapa banyak informasi yang didapatkan dari eksperimen tersebut. Dimana jumlah eksperimen yang harus dilakukan didalam *orthogonal array* $\geq$ total DoF. Dan dalam menyeleksi *orthogonal array* harus berdasarkan kombinasi dari level faktor. Berikut aturan *degree of freedom* (DoF):
 - a. Secara keseluruhan mean selalu memiliki 1 derajat kebebasan.
 - b. Setiap faktor, A, B, ...; jika jumlah level adalah n_A, n_B , untuk setiap faktor, nilai derajat kebebasannya adalah = jumlah level-1.
 - c. Ketika ada faktor interaksi, seperti contoh interaksi antara AB nilai derajat kebebasannya adalah $= (n_A - 1)(n_B - 1)$.
3. Memilih *orthogonal array*. Pemilihan *orthogonal array* dilakukan untuk menyesuaikan atau mencocokkan *orthogonal array* yang tepat untuk eksperimen ini. Hal tersebut dilakukan dengan diperlukannya suatu persamaan dari *orthogonal array* yang mempresentasikan jumlah faktor, jumlah level, dan jumlah pengamatan yang akan dilakukan. Adapun untuk gambar bentuk umum dari model *orthogonal array* yaitu sebagai berikut:



Gambar 2 Bentuk umum model *orthogonal array*.
Sumber: Damayanti M.K., 2017

Adapun penjelasan mengenai gambar di atas adalah sebagai berikut:

- a. Notasi L, merupakan informasi yang berdasarkan pada penyusunan faktor latin square. Penyusunan latin square adalah penyusunan square matriks dengan pemisahan faktor-faktor yang

berpengaruh. Sehingga notasi L menggambarkan informasi *orthogonal array*.

- b. Jumlah baris, merupakan jumlah eksperimen yang dibutuhkan pada saat menggunakan *orthogonal array*.
 - c. Jumlah kolom, merupakan jumlah faktor yang dapat dipelajari dalam *orthogonal array* yang dipilih.
 - d. Jumlah level, merupakan jumlah level dari faktor faktor yang digunakan dalam eksperimen.
4. Melakukan analisis. Hasil yang diperoleh dari *orthogonal array* kemudian dianalisis untuk mencapai tujuan berikut:
- a. Mengestimasi kontribusi dari faktor yang berpengaruh terhadap kualitas.
 - b. Memperoleh kondisi proses atau produk yang terbaik (optimum).
 - c. Memperkirakan respon dari parameter desain produk pada kondisi optimum.

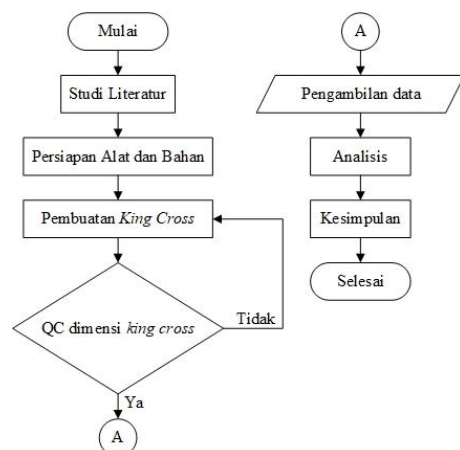
HASIL DAN PEMBAHASAN

Definisi

Pada penelitian ini material *king cross* yang digunakan ialah SS 400. Terdapat 14 buah kingcross yang dibuat dengan dimensi 650mm x 220mm x 13mm x 24mm dan dengan 5 jenis ukuran panjang yang berbeda, yaitu 3000mm, 13150mm, 12200mm, 12000mm, dan 15420mm. Setiap *king cross* memiliki 4 sisi yang dilas titik.

Alur Penelitian

Gambar 3 menunjukkan tentang diagram alir penelitian. Penelitian berawal dari memulai, dimana pada tahap ini ide dan gagasan terbentuk. Selanjutnya melakukan studi literatur untuk memperkuat pemahaman tentang ide dan gagasan yang telah terbentuk sebelumnya. Kemudian melakukan persiapan alat dan bahan untuk melakukan pengujian. Setelah alat dan bahan telah disiapkan, langkah selanjutnya melakukan pembuatan *king cross*.



Gambar 3 Diagram alir penelitian

Jika pembuatan sudah selesai, maka dilakukannya *quality control* untuk mengetahui apakah ukurannya sudah sesuai atau belum. Jika tidak sesuai maka diperlukan perbaikan. Jika sudah sesuai, selanjutnya dilakukan pengambilan data dengan mencatat ukuran panjang titik las, jumlah titik las, dan jarak antar titik las. Setelah mendapatkan data, diperlukannya analisis untuk mengetahui nilai optimum dari variabel yang diuji. Langkah selanjutnya membuat kesimpulan dari pengujian yang telah dilakukan, kemudian selesai atau berakhir.

Perhitungan

Pada penelitian ini terdapat nilai yang akan dioptimalkan ialah jumlah titik las, jarak antar titik las, dan panjang titik las. Sehingga karakteristik kualitas yang digunakan ialah *smaller the better*. Penentuan *Setting Level* Parameter.

Penentuan nilai *setting level* didasarkan pada studi literatur dan pengalaman pengambilan data yang telah dilakukan sebelumnya. Nilai *setting parameter* yang ditentukan untuk masing-masing faktor terkendali.

Tabel 1 Kombinasi parameter proses dan level

Faktor	Deskripsi	Level				
		1	2	3	4	5
Jumlah						
A	Titik Las (mm)	11	34.2	31	37.2	38
Jarak						
B	Antar Titik Las (mm)	245	340	354	288	354
Panjang						
C	Titik Las (mm)	53.4	50.2	50.9	42.4	61.2

Penentuan *Orthogonal Array*

Untuk menentukan jenis *orthogonal array* yang akan digunakan, yaitu dengan menghitung nilai *degree of freedom* (DoF). Dalam penelitian ini menggunakan tiga faktor terkendali, dimana masing-masing variabel memiliki 5 level.

Tabel 2 Perhitungan nilai *degree of freedom* (DoF)

No	Sistem	Jumlah Level	Jumlah DoF
1	Grand Mean	1	1
2	Jumlah Titik Las	5	4
	Jarak Antar Titik Las	5	4
	Panjang Titik Las	5	4
	Jumlah		13

Dengan menggunakan jenis *orthogonal array* L25 pada metode Taguchi, jumlah data eksperimen yang dibutuhkan untuk melakukan penelitian, efek yang paling utama adalah jumlahnya berkurang hingga berjumlah 25. Dengan bantuan aplikasi Matlab 2018b sehingga didapat *orthogonal array*-nya sebagai berikut.

Tabel 3 Matriks *Orthogonal Array*

Eksperimen	Faktor		
	A	B	C
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	1	4	4
5	1	5	5
6	2	1	2
7	2	2	3
8	2	3	4
9	2	4	5
10	2	5	1
11	3	1	3
12	3	2	4
13	3	3	5
14	3	4	1
15	3	5	2
16	4	1	4
17	4	2	5
18	4	3	1
19	4	4	2
20	4	5	3
21	5	1	5
22	5	2	1
23	5	3	2
24	5	4	3
25	5	5	4

Perhitungan analisis variansi (ANOVA) nilai rata-rata

Pada penelitian ini untuk mengoptimalkan jumlah titik las, jarak antar titik las, dan panjang titik las menggunakan karakteristik kualitas *smaller the beter* untuk melihat hasil optimum. Berikut merupakan perhitungan ANOVA nilai mean dan nilai SN ratio

$$M.S.D. = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (y_i)^2 \dots \dots \dots (1)$$

$$\eta = -10 \cdot \log(M.S.D.) \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan:

η : S/N ratio

N : jumlah pengulangan dari suatu percobaan

y : nilai FF

Menghitung rata-rata semua eksperimen

$$\bar{y} = \frac{\sum y}{n} \dots \dots \dots (3)$$

Menghitung nilai rata-rata setiap level faktor

$$\bar{y}_{jk} = \frac{\sum \bar{y}_{ijk}}{n_{ijk}} \dots \dots \dots (4)$$

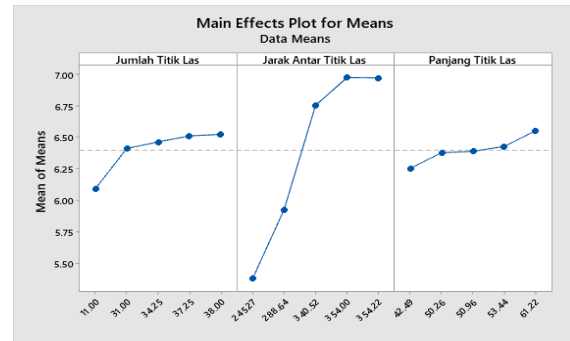
Membuat tabel respon dan grafik respon nilai mean dan nilai SN ratio

Jumlah titik las, jarak antar titik las, dan panjang titik las dari proses optimasi taguchi ini bisa diprediksi nilainya dengan memberikan level pada tiap faktor. Nilai ini bisa diperoleh dari pengolahan data Taguchi dengan Minitab® 19 yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4 Nilai mean jumlah titik las, jarak antar titik las, dan panjang titik las.

Level	Jumlah Titik Las	Jarak Antar Titik Las	Panjang Titik Las
1	6.092	5.375	6.254
2	6.412	5.925	6.378
3	6.464	6.755	6.390
4	6.512	6.977	6.429
5	6.254	6.974	6.554
Delta	0.432	1.602	0.299
Rank	2	1	3

Berdasarkan tabel 4 maka bisa dilihat bahwa pengaruh dalam pembuatan *king cross* ialah yang pertama jarak antar titik las, kedua jumlah titik las, dan ketiga panjang titik las. Dengan nilai jarak antar titik las, jumlah titik las, dan panjang titik las sebesar 1.602, 0.432, dan 0.299. Berikut merupakan grafik dari nilai mean.



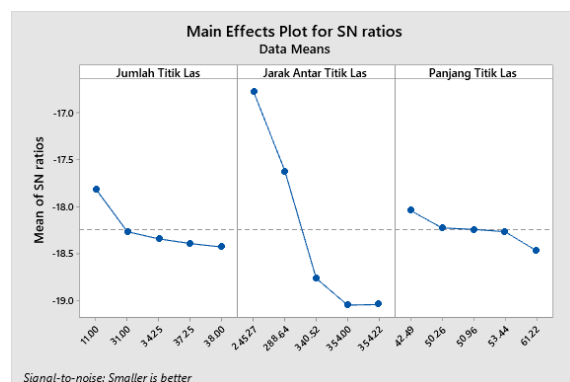
Gambar 4 Plot mean dari nilai jumlah titik las, Jarak antar titik las, dan rata-rata panjang titik las

Berdasarkan gambar 4 tentang mean dari jumlah titik las, jarak antar titik las, dan panjang titik las memperlihatkan bahwa jumlah titik las dengan jumlah 11 titik memiliki nilai mean yang terendah, pada jarak antar titik las dengan panjang 245.27mm mendapatkan nilai mean terendah, dan pada panjang titik las dengan panjang 42.49 mm mendapatkan nilai mean yang terendah.

Tabel 5 Nilai SN ratio jumlah titik las, jarak antar titik las, dan panjang titik las

Level	Jumlah Titik Las	Jarak Antar Titik Las	Panjang Titik Las
1	-17.81	-16.77	-18.03
2	-18.26	-17.61	-18.22
3	-18.34	-18.76	-18.24
4	-18.39	-19.04	-18.26
5	-18.42	-19.03	-18.46
Delta	0.62	2.27	0.43
Rank	2	1	3

Berdasarkan perhitungan *signal to noise rasio* dengan bantuan minitab19 maka faktor utama yang mempengaruhi ialah jarak antar titik las dengan selisih 2.27, faktor kedua jumlah titik las dengan selisih 0.62, dan faktor ketiga ialah panjang titik las dengan selisih 0.43.



Signal-to-noise: Smaller is better

Gambar 5 Plot SN ratio nilai jumlah titik las, jarak antar titik las, dan panjang titik las (*smaller the better*)

Berdasarkan gambar 5 *signal to noise ratio* menunjukkan bahwa semakin kecil semakin baik. Pada jumlah titik las yang mendapatkan nilai *SN ratio* terendah ialah 38 titik, pada jarak antar titik las yang mendapatkan nilai *SN ratio* terendah ialah 354.22 mm, dan pada panjang titik las yang mendapatkan nilai *SN ratio* terendah ialah 61.22 mm.

Menghitung nilai total *sum of square*

$$SS_{total} = \sum Y^2 \dots\dots\dots(5)$$

Menghitung nilai *sum of square* due to mean

$$mean(S_m) = n\bar{y}^2 \dots\dots\dots(6)$$

Menghitung *sum of square* due to factor

$$SS_A = (n_{A1}\bar{x}_{A1}^2) + (n_{A2}\bar{x}_{A2}^2) + (n_{A3}\bar{x}_{A3}^2) + (n_{A4}\bar{x}_{A4}^2) + (n_{A5}\bar{x}_{A5}^2) - SS_m \dots\dots\dots(7)$$

Menghitung nilai *sum of square* due to error

$$SS_e = SS_{total} - S_m - (SS_A + SS_B + SS_C) \dots\dots(8)$$

Menghitung derajat kebebasan

$$DF_A = \text{Jumlah level} - 1 \dots\dots\dots(9)$$

Menghitung nilai mean *sum of square*

$$MS_A = \frac{SS_A}{DF_A} \dots\dots\dots(10)$$

Menghitung nilai *F ratio*

$$F = \frac{MS_A}{MS_e} \dots\dots\dots(11)$$

Menghitung *pure sum of square*

$$SS'_A = SS_A - (DF_A \times M_e) \dots\dots\dots(12)$$

Berikut merupakan tabel hasil perhitungan analisis variansi (ANOVA) nilai mean dan nilai *SN ratio*.

Tabel 6 Hasil perhitungan ANOVA nilai mean

Sumber	SS	DF	MS	F Rasio	SS'
A	0.634	4	0.15	10,934,001	0.6
B	10.32	4	2.58	177,961,486	10

Sumber	SS	DF	MS	F Rasio	SS'
C	0.231	4	0.05	3,990,821	0.2
Error	58x10 ⁻⁹	4	145x10 ⁻¹⁰	1	
Mean	1024	1			
S _{total}	1035	25			

Hasil perhitungan ANOVA nilai mean seperti yang disajikan tabel 6 memperlihatkan bahwa nilai *error* yang didapat oleh *sum of square* sebesar 58 x 10⁻⁹ dan nilai *error* yang didapat oleh nilai mean *sum of square* sebesar 145 x 10⁻¹⁰. Dari semua nilai yang disajikan pada tabel 6, sumber B atau jarak antar titik las memiliki nilai tertinggi.

Sedangkan hasil perhitungan ANOVA nilai *SN ratio* seperti yang disajikan tabel 7 memperlihatkan bahwa nilai *error* yang didapat oleh *sum of square* sebesar 0.01292 dan nilai *error* yang didapat oleh nilai mean *sum of square* sebesar 0.003. Dari semua nilai yang disajikan pada tabel 6, sumber B atau jarak antar titik las memiliki nilai tertinggi.

Tabel 7 Hasil perhitungan ANOVA nilai *SN ratio*

Sumber	SS	DF	MS	F Rasio	SS'
A	1.26387	4	0.315	97.7	0.634
B	20.4397	4	5.109	1,581	10.32
C	0.46552	4	0.116	36	0.231
Error	0.01292	4	0.003	1	
Mean	3843.29	1			
S _{total}	3865.48	25			

Pembahasan

Dari hasil analisis DOE metode Taguchi dengan Minitab® 19 dan Matlab bisa diketahui pula kombinasi parameter proses mana yang memberikan nilai maksimum, sekalipun kombinasi parameter tersebut tidak dilakukan pada eksperimen. Pada hasil perhitungan diperoleh nilai mean jumlah titik las, jarak antar titik las, dan panjang titik las yang ditampilkan dalam bentuk plot pada gambar 4.

Untuk mengetahui parameter proses yang memberikan nilai respon yang optimal dari plot Taguchi bisa melihat dari posisi plot yang paling optimum untuk kondisi karakteristik kualitas smaller the better. Dari gambar 4 dapat diketahui bahwa jumlah titik las dengan jumlah 11 titik memiliki nilai mean yang terendah, pada jarak antar titik las dengan panjang 245.27mm mendapatkan nilai mean terendah, dan pada panjang titik las dengan panjang 42.49 mm mendapatkan nilai mean yang terendah.

Jumlah titik las, jarak antar titik las, dan panjang titik las dari proses optimasi taguchi ini bisa diprediksi nilainya dengan memberikan level pada tiap faktor. Nilai ini bisa diperoleh dari pengolahan

data Taguchi dengan Minitab® 19 yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Pada analisis variansi nilai mean memiliki nilai *error* 0.000000058, sehingga dengan demikian faktor yang paling mempengaruhi pada proses *build up setting king cross* ialah jarak antar titik las.

Dari Gambar 5 Plot SN ratio nilai jumlah titik las, jarak antar titik las, dan panjang titik las (smaller the better) diketahui bahwa jumlah titik las yang mendapatkan nilai SN ratio terendah ialah 38 titik, pada jarak antar titik las yang mendapatkan nilai SN ratio terendah ialah 354.22 mm, dan pada panjang titik las yang mendapatkan nilai SN ratio terendah ialah 61.22 mm.

Pada Analisis variansi nilai SN ratio memiliki nilai *error* 0.012926788, sehingga nilai optimal pada jumlah titik las ialah 38 titik dalam 15420 atau 2.464332036 pada tiap meternya, jarak antar titik las 354.22mm, dan panjang titik las sebesar 61.22 mm.

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.

KESIMPULAN

Setelah melakukan rangkaian langkah-langkah dalam melakukan analisis menggunakan metode Taguchi yang dibantu oleh aplikasi Matlab 2018b dan Minitab®19. Maka dapat diprediksi bahwa, nilai optimal pada *build up setting king cross* didapat jumlah titik las sebanyak 38 titik dalam 15420 mm atau 2.464332036 titik las pada tiap meternya, dengan jarak antar titik las sejauh 354.22mm, dan panjang titik las sepanjang 61.22 mm. Berdasarkan nilai mean yang didapat, maka faktor utama yang berpengaruh *build up setting king cross* ialah jarak antar titik las dengan nilai 1.602.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya ucapkan kepada seluruh pihak yang sudah membantu dan mendukung baik dari segi finansial maupun non finansial, terutama kepada orang tua saya, terima kasih karena selalu mendoakan yang terbaik dan juga kepada dosen pembimbing, terima kasih karena sudah membimbing saya dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Xiangyang Jian, Haiqing Liu, Zhongwei Zhao, Xiufeng Wu, Ming Lei, dan Zimu Chen. A study of the mechanical behavior of rectangular steel tubular column strengthened using intermittent welding angle steel. Structures, Vol. 33, 2021.
- [2] Khedmatia M.R., Mehran R., dan Khosrow G. Numerical study on the permissible gap of intermittent fillet welds of longitudinally stiffened plates under in plane axial compression. Journal of Constructional Steel Research, Vol. 63, 2007.
- [3] Khedmati, M.R., Mehran R., Khosrow G. Ultimate strength and ductility characteristics of intermittently welded stiffened plates. Journal of Constructional Steel Research, Vol. 65, 2009.
- [4] Purboningtyas A.S., Suswanto Budi, dan Kristijanto Heppy. Modifikasi Perencanaan Struktur Gedung Hotel Santika Bekasi Menggunakan King Cross Column dan Octogonal Castellated Beam. Repository ITS, 2016, pp.1-6.
- [5] Segui W.T., Steel Design, Fourth. THOMSON, 2007.
- [6] Jeffus L., Welding: Principles and Applications, Eighth ed. Boston: Cengage Learning, 2017.
- [7] Marlow F.M., Welding fabrication & repair: questions and answers. New York: Industrial Press Inc., 2002.
- [8] Oentoeng, Konstruksi Baja, vol. 06, no. 01. 2013.
- [9] Damayanti M.K., “Desain Parameter Eksperimen untuk Optimasi Nilai Frangibility Factor Material Komposit dengan Metode Taguchi dan Neural Network,” Library ITS Undergraduate, 2017.
- [10] Timings R., Fabrication and Welding Engineering. New York: Newnes, 2008.

PRESTASI POMPA SENTRIFUGAL TIPE OVERHUNG UNTUK APLIKASI INDUSTRI DENGAN METODE REVERSE ENGINEERING DAN CFD

Mohamad Yamin¹, Rudi Irawan¹, Cokorda Prapti Mahandari¹, Rian Dwi Ariandi¹, Riyan Firmansyah¹, Muhammad Zidan Alfasha², Suharto²

¹ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma

Jl. Margonda Raya No. 100, Pondok Cina, Beji, Kota Depok 16424

² PT. Duraquipt Cemerlang

Jl. Limo Raya No.9, Limo, Kec. Limo, Kota Depok 16515

mohay@staff.gunadarma.ac.id¹

Abstrak

Indonesia menghadapi berbagai tantangan dalam pencapaian target nol emisi, krisis energi, dan kebutuhan irigasi pertanian yang mendesak. Dalam konteks ini, pompa sentrifugal memainkan peran penting dalam berbagai aplikasi industri dan sistem irigasi. Sering kali, data kurva kinerja pompa tidak tersedia, terutama untuk pompa yang sudah tua atau yang dokumentasinya hilang. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan kurva kinerja baru untuk pompa sentrifugal menggunakan metode Reverse Engineering (RE) berbasis 3D scanning dan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD). Proses ini dimulai dengan pemodelan geometris pompa menggunakan 3D scanning untuk memperoleh data yang akurat mengenai bentuk fisik pompa. Selanjutnya, model tersebut digunakan dalam simulasi CFD dengan model turbulensi k-epsilon ($k-\epsilon$) dan metode SIMPLE untuk menganalisis karakteristik aliran dan performa pompa. Hasil simulasi menunjukkan bahwa perbedaan dalam efisiensi dan daya dibandingkan dengan data eksperimen yang ada berada di bawah 2%, dengan ukuran mesh 0,00005 mm memberikan hasil yang optimal dalam hal akurasi dan efisiensi komputasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan kurva kinerja menggunakan metode RE dan CFD dapat mengatasi masalah data yang hilang dan ini berpotensi meningkatkan efisiensi operasional sistem pompa dan mendukung upaya mitigasi dampak lingkungan dengan optimasi teknologi pompa.

Kata kunci : pompa sentrifugal, reverse engineering, 3D scanning, CFD.

Abstract

Indonesia faces various challenges in achieving net zero emissions, energy crises, and urgent agricultural irrigation needs. In this context, centrifugal pumps play a crucial role in various industrial applications and irrigation systems. However, performance curve data for pumps is often unavailable, particularly for older pumps or those with lost documentation. This study aims to develop new performance curves for centrifugal pumps using Reverse Engineering (RE) based on 3D scanning and Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation. The process begins with geometric modeling of the pump using 3D scanning to obtain accurate data regarding the pump's physical shape. The model is then used in CFD simulations with the k-epsilon ($k-\epsilon$) turbulence model and SIMPLE method to analyze flow characteristics and pump performance. Simulation results show that the deviation in efficiency and power compared to existing experimental data is below 2%, with a mesh size of 0.00005 mm providing optimal results in terms of accuracy and computational efficiency. This research demonstrates that developing performance curves using RE and CFD methods can address issues of missing data and provide a solid foundation for design improvements and efficient operation of centrifugal pumps. The findings have the potential to enhance operational efficiency of pump systems and support environmental impact mitigation efforts through pump technology optimization.

Key words : centrifugal pumps, reverse engineering, 3D scanning, CFD.

PENDAHULUAN

Indonesia menghadapi tantangan signifikan dalam mencapai target nol emisi akibat perubahan iklim, krisis energi, dan pertumbuhan populasi [1]. Pada sektor seperti irigasi pertanian, industri, distribusi air perkotaan, dan pembangkit listrik, sistem pompa memiliki peran penting dalam distribusi air dari sumbernya [3]. Saat ini, sistem pompa menyerap sekitar 30% dari total konsumsi energi listrik global [4].

Pompa sentrifugal merupakan salah satu jenis pompa yang paling umum digunakan di berbagai sektor industri di Indonesia, termasuk di bidang pengolahan air, energi, dan manufaktur [5]. Salah satu elemen krusial pompa sentrifugal adalah kurva kinerja, yang mencakup parameter utama seperti head, kapasitas aliran, efisiensi, dan daya. Kurva kinerja ini memberikan untuk mengetahui batasan operasional pompa serta memastikan kinerja optimal dalam berbagai kondisi [6], [7].

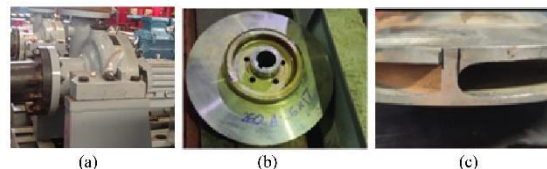
Sering kali ditemukan kondisi di mana pompa sentrifugal telah terpasang dan beroperasi, tetapi data kurva kinerja tidak tersedia. Hal ini bisa terjadi karena beberapa faktor, seperti pemakaian pompa yang lama dan tua, kurangnya dokumentasi teknis, atau pergantian operator yang tidak disertai transfer informasi yang memadai. Akibatnya operator sering mengalami kesulitan dalam melakukan pemeliharaan, diagnosis, serta optimasi performa pompa.

Salah satu pendekatan yang dilakukan adalah analisis rekayasa balik (*Reverse Engineering*) [8], [9] dan simulasi berbasis CFD (*Computational Fluid Dynamics*) [10], [11] untuk merekonstruksi kurva kinerja pompa. Pendekatan ini memungkinkan untuk memperbaiki dan meningkatkan kinerja pompa. Selain itu, kedua metode ini memiliki keunggulan tersendiri seperti biaya yang rendah dengan hasil yang akurat [12], [13].

Penelitian ini mengkaji parameter dari pompa sentrifugal tipe *overhung* yang digunakan sebagai *transfer pump* dengan spesifikasi 6x17 inci (6 inci untuk *discharge* dan 17 inci untuk diameter maksimum impeller) di PT Duraquipt Cemerlang. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi nilai operasi pompa yang ada dengan melakukan rekayasa balik dan analisis CFD. Hal ini umum dilakukan, namun untuk studi kasus di industri manufaktur Indonesia masih relatif baru. Metode ini akan berguna bagi industri dalam negeri sebagai dasar untuk memilih pompa yang sesuai untuk kondisi operasi tertentu.

METODE PENELITIAN

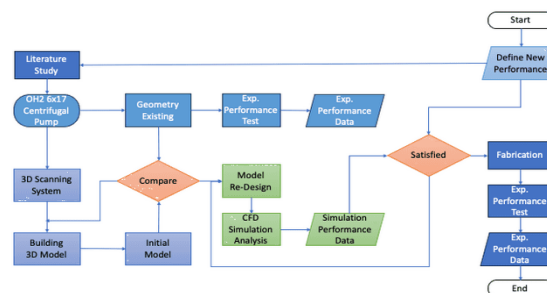
Penelitian ini fokus pada mendapatkan kurva prestasi pompa sentrifugal dengan model impeller tipe tertutup berbahan *carbon steel* dengan diameter luar 415mm, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. (a)existing pump, Impeller uji (b) Diameter 415mm, and (c) thickness 8.5mm

Gambar 2. menunjukkan alur penelitian yang dilakukan dimana proses dimulai dengan studi literatur terkait performa pompa dan pemindaian 3D pada komponen internal pompa, seperti volut, impeller, dan pipa masuk seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Pemindaian ini bertujuan untuk merekonstruksi geometri detail pompa secara akurat.

Langkah selanjutnya adalah pemodelan CAD. Model ini dibandingkan dengan desain model yang sudah ada untuk memastikan konsistensi dan akurasi geometri.



Gambar 2. Alur Penelitian



Gambar 3. 3D Scanning

Model yang diperoleh dianalisis menggunakan CFD, yang bertujuan untuk mengevaluasi parameter performa penting seperti efisiensi (η), head (ft), dan power (Hp).

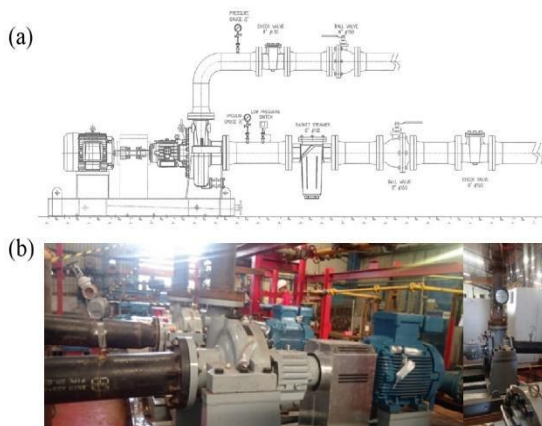
Tahap berikutnya adalah pembuatan pompa berdasarkan hasil rekayasa balik yang diuji secara eksperimental, yang dibandingkan dengan hasil simulasi untuk memverifikasi bahwa memenuhi

ekspektasi. Dengan pendekatan ini, kurva performa baru untuk pompa sentrifugal yang ada dapat dihasilkan, memberikan panduan yang lebih baik untuk operasional dan pemeliharaan pompa tersebut. Proses ini tidak hanya memungkinkan peningkatan kinerja pompa tanpa memerlukan penggantian total, tetapi juga memperbaiki ketidakakuratan data yang ada dengan hasil yang lebih akurat dan andal.

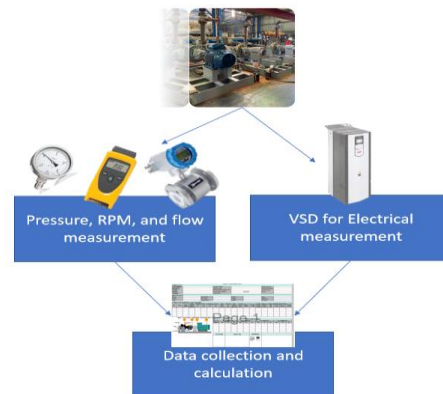
1. Setup Eksperimen

Model sistem uji pompa dapat dilihat pada Gambar 4(a), di mana arus motor dikendalikan dengan konverter frekuensi (yang dijumpai dalam literatur [14]). Sementara itu, Pompa yang digunakan diberikan pada gambar 4(b). Impeller pompa diputar oleh motor listrik AC 4 pole berkapasitas 40 kW, 380V, dan 50Hz dengan kecepatan maksimum 1480 rpm, sehingga konsumsi daya pompa harus berada di bawah kapasitas maksimum motor tersebut. Eksperimen dilakukan di fasilitas uji PT. Duraquipt Cemerlang, dengan sistem perpipaan yang dirancang dengan daya hingga 1500 kW dan aliran lebih dari 10.000 m³/jam pada 380V. Data diambil pada lima titik aliran sesuai standar API 610 edisi ke-12 [15].

Tekanan diukur menggunakan *gauge* pada sistem pipa setelah *discharge* pompa untuk menghitung *head* dan daya hidrolik, sedangkan pengukuran motor dilakukan dengan *tachometer* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Fluida yang digunakan adalah air dengan densitas 1000 kg/m³ dan gravitasi spesifik = 1.



Gambar 4. Eksperimen (a) Skema pengujian dan (b) actual pengujian pompa sentrifugal



Gambar 5. skema Pengambilan data pengujian

Aliran fluida diambil dari sumber yang sama dan melalui beberapa alat tambahan sebelum masuk ke *suction* pompa. *Strainer* digunakan untuk menyaring aliran agar bebas dari benda solid yang dapat mempengaruhi kinerja pompa. *Pressure gauge* diinstal untuk memantau tekanan aliran masuk dan mengidentifikasi potensi masalah. *Gauge* lainnya dipasang setelah *discharge* pompa untuk mengukur head dan daya, yang akan dihitung berdasarkan data tekanan.

2. Simulasi Numerik

2.1 Persamaan Atur dan Model Turbulensi

Persamaan yang mengatur aliran fluida diturunkan dari persamaan massa dan momentum, yang diberikan dengan persamaan (1) dan (2) yang diselesaikan untuk aliran inkompersibel dan stabil. [16]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \nabla \cdot (\rho \underline{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \nabla(\rho \underline{u} \otimes \underline{u}) = g + \nabla \cdot (\underline{\tau}) - \nabla \cdot (\rho R) \quad (2)$$

Model turbulensi k-epsilon digunakan pada penelitian ini karena kemudahan penerapan dan biaya komputasi yang lebih rendah dibandingkan model lain. Model ini memecahkan dua persamaan transport untuk energi kinetik turbulen (k) dan laju disipasinya (ϵ), yang memungkinkan prediksi distribusi tekanan dan profil kecepatan dengan akurat [17], [18] yang didefinisikan oleh persamaan berikut:

$$\frac{D}{Dt}(\rho k) = \nabla \cdot (\rho D_k \nabla k) P - \rho \epsilon \quad (3)$$

$$\frac{D}{Dt}(\rho \epsilon) = \nabla \cdot (\rho D_\epsilon \nabla \epsilon) + \frac{C_1 \epsilon}{k} (P + C_3 \frac{2}{3} k \nabla \cdot \underline{u}) - C_2 \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (4)$$

$$v_t = C_\mu \rho \frac{\epsilon^2}{k} \quad (5)$$

Dalam persamaan ini D_k dan D_ε masing-masing merupakan difusivitas efektif untuk energi kinetik turbulen (k) dan laju disipasi turbulen (ε). ρ menunjukkan densitas fluida, sedangkan P mewakili laju produksi energi kinetik turbulen. C_μ adalah koefisien model yang digunakan untuk menghitung viskositas turbulen ν_t , dan C_1 , C_2 , serta C_3 adalah koefisien model lainnya yang digunakan dalam perhitungan disipasi energi kinetik turbulen dan efek penyebaran turbulensi.

Metode SIMPLE (*Semi-Implicit Method for Pressure Linked Equations*) digunakan untuk mengatasi kopling tekanan-kecepatan dalam aliran yang tidak dapat dikompresi, sementara metode *Multiple Reference Frame* (MRF) menyederhanakan simulasi dengan memperlakukan domain berputar sebagai bingkai stasioner dan mengurangi waktu komputasi. Gabungan model k - ε , SIMPLE, dan MRF efektif dalam memodelkan aliran turbulen dan membantu dalam desain serta optimalisasi impeller pompa sentrifugal [21], [22], [23].

2.2 Kinerja Hidraulik

Dalam evaluasi kinerja hidrolis, dua koefisien utama yang sering dianalisis adalah persamaan efisiensi hidrolis (6) dan koefisien head (7). Efisiensi hidrolis (η_h) mengukur seberapa efektif mesin mengubah energi dari fluida menjadi kerja mekanik. Ini dihitung menggunakan rumus [8], [24]:

$$\eta_h = \frac{P}{H\rho gQ} \quad (6)$$

di mana P adalah daya keluaran pompa [Hp], H [m] adalah Head bersih, ρ adalah densitas air [kgm^{-3}], g adalah percepatan gravitasi [m^2s^{-2}], dan Q adalah debit [m^3s^{-1}]. Efisiensi hidrolis yang lebih tinggi menunjukkan bahwa lebih banyak energi hidrolis yang dikonversi menjadi energi mekanik yang berguna, dengan lebih sedikit energi yang hilang karena gesekan atau inefisiensi lainnya.

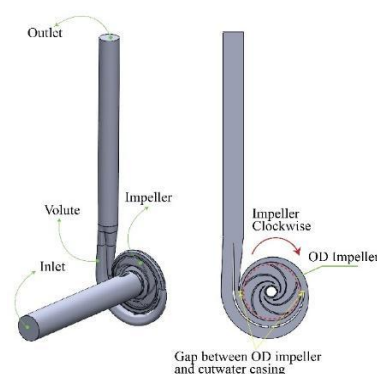
Koefisien head (Ψ) adalah parameter penting lainnya yang digunakan untuk menggambarkan kinerja hidrolis. Koefisien ini didefinisikan sebagai:

$$\Psi = \frac{U^2}{gH} \quad (7)$$

di mana U adalah kecepatan linier dari impeller, H adalah head bersih, dan g adalah percepatan gravitasi. Koefisien head membantu dalam menilai seberapa baik mesin memanfaatkan head untuk mengkonsumsi daya. Koefisien head yang lebih tinggi menunjukkan pemanfaatan head yang lebih efisien dalam menghasilkan energi mekanik.

2.3 Domain Komputasi dan Kondisi Batas

Domain komputasi dibagi dalam tiga zona utama: impeller, casing, dan pipa inlet. Pada bagian inlet, fluida masuk dengan tekanan total sebesar 1 atm. Rotor impeller yang berputar pada kecepatan 1480 rpm didefinisikan sebagai dinding berputar, dengan arah berlawanan jarum jam. Pada outlet, aliran volumetrik ditetapkan berdasarkan standar API 610, namun dalam studi ini hanya digunakan lima titik: aliran minimum, aliran terukur, aliran operasi yang diinginkan, dan titik pada kurva head maksimum. Sedangkan pada dinding padat pompa diterapkan kondisi batas tanpa slip, yang berarti fluida tidak bergerak relatif terhadap permukaan dinding seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Domain Komputasi

Aliran volumetrik diatur bertahap pada nilai 0 gpm, 178.9 gpm, 478 gpm, 515 gpm, dan 843.3 gpm. Model turbulensi yang digunakan adalah k - ε (k-epsilon), yang memberikan prediksi akurat untuk aliran turbulen dalam kondisi aliran yang kompleks, seperti di dalam pompa ini. Simulasi dengan kondisi batas ini memungkinkan evaluasi performa pompa dalam berbagai skenario operasional. Tabel 1 menunjukkan parameter kondisi batas pada penelitian ini.

Tabel 1. Kondisi Batas

No	Kondisi Batas	Deskripsi
1	Jenis Fluida	Air
2	Temperatur	25°C
3	Inlet Pompa	Total pressure inlet Volumetric flux outflow
4	Outlet Pompa	0 gpm, 178.9 gpm, 515 gpm, 478 gpm, 843.3 gpm
5	Putaran Impeller	1480 rpm (ccw)
6	Model Turbulensi	k- ε (k-epsilon realisable)

2.4 Meshing Set-Up

Dalam simulasi ini, proses meshing diterapkan pada tiga bagian utama pompa, yaitu pipa inlet, impeller, dan volute, menggunakan jaringan mesh terstruktur yang dihasilkan oleh perangkat lunak Simerics karena baik dalam menangkap perilaku transien secara akurat [20], [25]. Gambar 7 menunjukkan representasi mesh volume pada bagian impeller dan casing.

Simulasi ini juga memperhitungkan kekasaran permukaan dinding dengan empat tipe kekasaran, yaitu 0,001 mm, 0,0005 mm, 0,0001 mm, 0,00005 mm, dan 0,00001 mm, yang memungkinkan representasi lebih akurat dari permukaan fisik pompa. Pengaturan kekasaran ini penting untuk memastikan bahwa karakteristik aliran fluida di sekitar dinding pompa dapat disimulasikan dengan tepat, karena kekasaran permukaan dapat mempengaruhi hasil seperti head dan efisiensi daya. Pada titik pengamatan dengan aliran rated sebesar 515 GPM, hasil dari analisis grid size pada tabel 2 menunjukkan bahwa ukuran mesh memiliki dampak signifikan terhadap akurasi hasil simulasi pompa.



Gambar 7. Meshing Zone

Untuk ukuran grid 0,001 mm, yang menghasilkan 48.791 elemen, head yang terukur adalah 59,3 ft dengan kesalahan 0,64% dan daya 115 Hp dengan kesalahan 2,45%. Ketika ukuran grid dikurangi menjadi 0,0005 mm, dengan 111.507 elemen, head meningkat menjadi 116,8 ft dengan kesalahan 0,31%, dan daya turun menjadi 56,1 Hp dengan kesalahan 0,68%. Pada ukuran grid yang lebih kecil lagi, 0,0001 mm, dengan 159.551 elemen, head mencapai 160,3 ft dengan kesalahan hanya 0,05%, dan daya 40 Hp dengan kesalahan 0,20%. Dengan ukuran grid 0,00005 mm, yang menghasilkan 213.930 elemen, head sedikit meningkat menjadi 161,4 ft dengan kesalahan 0,04%, dan daya sedikit meningkat menjadi 41,5 Hp dengan kesalahan 0,24%. Akhirnya, pada ukuran grid terkecil 0,00001 mm, dengan 287.472 elemen, head tercatat 160,9 ft dengan kesalahan 0,04%, dan

daya 41,2 Hp dengan kesalahan 0,23%. Secara keseluruhan, data menunjukkan bahwa meskipun ukuran mesh yang lebih kecil meningkatkan akurasi hasil, dengan kesalahan yang sangat kecil dalam head dan daya, ukuran mesh yang sangat kecil juga meningkatkan jumlah elemen dan waktu komputasi.

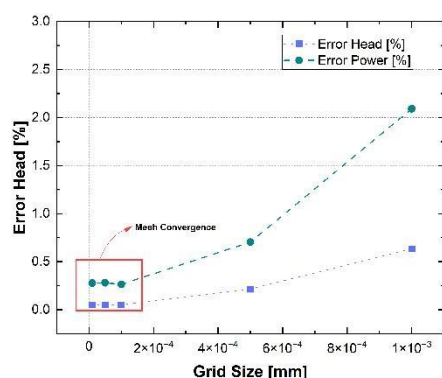
Tabel 2. Parameter Mesh Grid Size

C as e	Grid Size [mm]	Number of Elemen t	Hea d [ft]	Er ror He ad [%]	Po wer [Hp]	Err or Po wer [%]
1	0.001	48791	59.3	0.6 4	115	2.4 5
2	0.000 5	111507	116. 8	0.3 1	56. 1	0.6 8
3	0.000 1	159551	160. 3	0.0 5	40	0.2 0
4	0.000 05	213930	161. 4	0.0 4	41. 5	0.2 4
5	0.000 01	287472	160. 9	0.0 4	41. 2	0.2 3

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Validasi Model

Untuk menguji independensi grid, hasil simulasi dibandingkan dengan data eksperimen aliran air untuk memvalidasi akurasi model numerik dan bertujuan untuk mengurangi waktu komputasi tanpa mengorbankan akurasi [26]. Detail hasil numerik dan jumlah elemen untuk berbagai ukuran grid ditunjukkan dalam Tabel 2. Gambar 8 menunjukkan hasil Grid Independence Test (GIT), di mana mesh yang konvergen terlihat pada ukuran grid 0,00005 mm dan 0,00001 mm, ditandai dengan garis mendatar yang menunjukkan bahwa hasil tidak berubah secara signifikan dengan perubahan ukuran mesh. Namun, dalam penelitian ini dipilih ukuran mesh 0,00005 mm karena mempertimbangkan biaya komputasi yang lebih rendah tanpa mengurangi akurasi secara signifikan, mengingat perbedaan hasil antara 0,00005 mm dan 0,00001 mm kecil. Oleh karena itu, grid yang dioptimalkan pada ukuran 0,00005 mm dipilih untuk mencapai keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi. Hasil ini dapat diterima karena error yang dihasilkan lebih kecil yaitu dibawah 2% berbeda yang dilakukan oleh Cardenas, dkk yaitu sebesar 4% [27].



Gambar 8. Grid Independence Test

2. Perbandingan Hasil Simulasi dan Eksperimen

Perbandingan antara hasil eksperimen dan simulasi CFD ditunjukkan pada tabel 3 dan gambar 9. Pada aliran nol (0 GPM), baik efisiensi maupun daya tidak tersedia, sedangkan head memiliki nilai yang signifikan baik dalam eksperimen maupun CFD. Ini mungkin menunjukkan bahwa pada kondisi tidak ada aliran, pompa tetap memerlukan energi untuk beroperasi.

Ketika aliran meningkat menjadi 178.9 GPM, terdapat penurunan efisiensi yang signifikan dalam hasil CFD dibandingkan dengan eksperimen, dari 31.2% menjadi 21.5%. Hal ini disertai dengan peningkatan daya dalam simulasi CFD yang lebih tinggi dibandingkan dengan eksperimen. Head pada kondisi ini juga lebih rendah pada CFD dibandingkan dengan eksperimen, yang mungkin menunjukkan perbedaan dalam karakterisasi aliran atau kondisi boundary di model CFD.

Untuk aliran 478 GPM dan 515 GPM, efisiensi CFD lebih rendah daripada efisiensi eksperimen, dengan perbedaan mencapai sekitar 15% pada aliran 478 GPM dan 16% pada 515 GPM. Meskipun daya pada CFD juga lebih tinggi dari eksperimen, perbedaan ini tidak terlalu besar. Head yang dihitung melalui CFD juga lebih rendah dibandingkan dengan hasil eksperimen pada kondisi ini, yang mungkin menunjukkan bahwa model CFD mungkin tidak sepenuhnya menangkap semua fenomena aliran yang terjadi pada pompa.

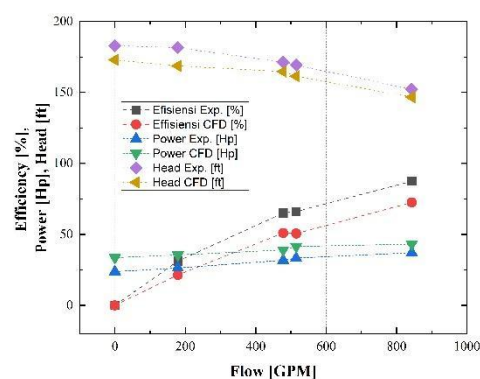
Pada aliran tinggi 843.3 GPM, efisiensi CFD menunjukkan angka yang sangat tinggi (72.5%) dibandingkan dengan eksperimen (87.4%), dan daya serta head CFD juga lebih rendah dibandingkan dengan hasil eksperimen. Perbedaan ini menunjukkan bahwa simulasi CFD pada kondisi ini mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan kondisi operasional pompa secara realistis.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa meskipun simulasi CFD memberikan wawasan yang berguna mengenai performa pompa,

masih terdapat perbedaan signifikan dibandingkan dengan hasil eksperimen. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor termasuk akurasi model CFD, kondisi boundary, dan metode mesh yang digunakan. Evaluasi dan kalibrasi lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan kesesuaian antara simulasi CFD dan data eksperimen.

Tabel 3. Perbandingan Hasil Eksperimen dan CFD

Flo w [GP M]	Efisie nsi Exp. [%]	Efisie nsi CFD [%]	Po wer Exp [Hp]	Pow er CF D [Hp]	He ad Ex p. [ft]	He ad CF D [ft]
0	0	0	23.7	33.6	18 3	17 2.9
178. 9	31.2	21.5	26.3	35.5	18 1.6	16 8.7
478	65.0	51.0	31.8	39.0	17 1.3	16 4.7
515	66.1	50.6	33.3	41.5	16 9.3	16 1.4
843. 3	87.4	72.5	37.1	43.1	15 2.3	14 6.7

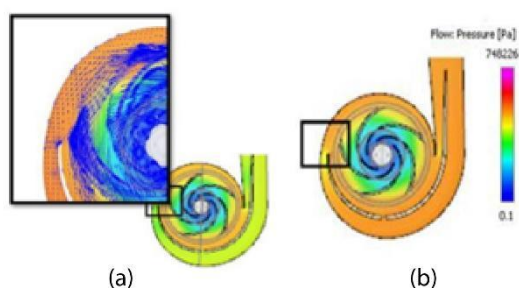


Gambar 9. Grafik perbandingan antara hasil eksperimen dan simulasi CFD

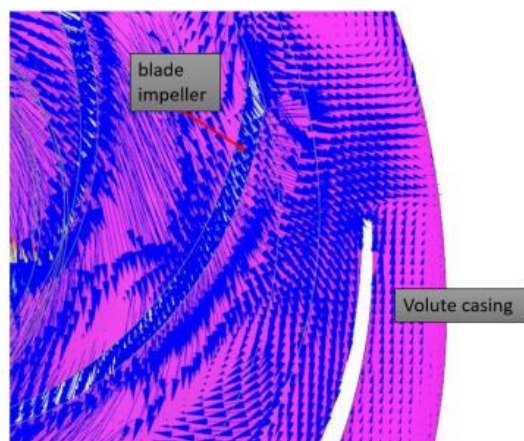
Berdasarkan analisis vektor kontur aliran fluida dan distribusi tekanan (Gambar 10), terlihat bahwa vektor aliran secara konsisten diarahkan menuju casing volute selama pergerakan sentrifugal dari impeller, menandakan pengendalian aliran yang efektif. Diameter impeller 415 mm memungkinkan aliran keluar diarahkan langsung ke casing volute tanpa mengalami gangguan, sehingga memastikan transisi aliran yang optimal dari impeller menuju casing. Desain ini berperan penting dalam menjaga kelancaran distribusi aliran dan tekanan seperti pada gambar 11.

Dalam simulasi CFD dan hasil eksperimen, hal ini menjadi semakin relevan, terutama pada aliran tinggi seperti 843,3 GPM di mana terdapat

perbedaan signifikan dalam efisiensi antara hasil simulasi dan eksperimen. Pengarahan aliran yang kurang optimal dapat menyebabkan penurunan efisiensi, seperti yang tercermin dalam perbedaan hasil tersebut. Oleh karena itu, desain impeller dan casing volute yang memperhitungkan diameter dan geometri menjadi faktor kritis dalam mengoptimalkan kinerja pompa. Celah dengan diameter 415 mm yang digunakan dalam desain ini mendukung kelancaran aliran menuju casing volute, sesuai dengan hasil simulasi yang menunjukkan distribusi aliran dan tekanan yang baik.



Gambar 10. Kontur (a) Aliran Impeller (b) Tekanan Impeller



Gambar 11. Fluid flow vector impeller, diameter 415mm

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mereproduksi data kurva prestasi dengan metode *reverse engineering* dan CFD dari *existing* pompa sentrifugal yang tidak memiliki kurva operasi. Dalam simulasi aliran fluida 3D, model turbulensi k -epsilon (k - ϵ) yang dikombinasikan dengan metode SIMPLE dan MRF terbukti efektif dalam memprediksi kinerja fluida dengan akurasi tinggi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa ukuran mesh mempengaruhi akurasi hasil

dengan kesalahan simulasi tetap di bawah 2%. Perbandingan antara simulasi CFD dan hasil eksperimen menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan dalam efisiensi, daya, dan head pompa. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai panduan untuk industri pompa dan sebagai dasar untuk pemilihan pompa yang sesuai pada daerah operasi yang optimum sesuai standar API 610.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Direktorat Riset, Teknologi, dan Pengabdian kepada Masyarakat Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang membiayai penelitian ini. (Hibah No. 105/E5/PG.02.00.PL/2024).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Handayani and P. Anugrah, "Assessing the implications of net-zero emissions pathways: An analysis of the Indonesian power sector," in *2021 International Conference on Technology and Policy in Energy and Electric Power (ICT-PEP)*, Sep. 2021, pp. 270–275. doi: 10.1109/ICT-PEP53949.2021.9600954.
- [2] D. Bordeasu, F. Dragan, I. Filip, I. Szeidert, and G. O. Tirian, "Estimation of Centrifugal Pump Efficiency at Variable Frequency for Irrigation Systems," *Sustainability*, vol. 16, no. 10, Art. no. 10, Jan. 2024, doi: 10.3390/su16104134.
- [3] Z. Lai, Q. Li, A. Zhao, W. Zhou, H. Xu, and D. Wu, "Improving Reliability of Pumps in Parallel Pump Systems Using Particle Swarm Optimization Approach," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 58427–58434, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2980396.
- [4] A. S. V.K., U. S., P. S., and N. Hanigovszki, "An Energy Efficient Control Algorithm for Parallel Pumping Industrial Motor Drives System," in *2018 IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES)*, Dec. 2018, pp. 1–6. doi: 10.1109/PEDES.2018.8707618.
- [5] Z. Wang, J. Li, D. Hou, Y. Qiao, and M. Wu, "Research and application of wide and efficient hydraulic design in centrifugal pump," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2707, no. 1, p. 012042, Feb. 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2707/1/012042.

- [6] 朱荣生, 陈一鸣, 安策, and 王秀礼, "Centrifugal pump performance curve fitting correction method," CN110242589B, Jul. 31, 2020 [Online]. Available: <https://patents.google.com/patent/CN110242589B/en>.
- [7] G. A. Maria Castorino, L. Manservigi, S. Barbarelli, E. Losi, and M. Venturini, "Development and validation of a comprehensive methodology for predicting PAT performance curves," *Energy*, vol. 274, p. 127366, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.energy.2023.127366.
- [8] J. Souček, E. Bílková, and P. Nowak, "Reverse engineering of pump as turbine for CFD analysis," *Acta Polytechnica*, vol. 64, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2024, doi: 10.14311/AP.2024.64.0052.
- [9] M. Fathi, H. Alemi, M. Raisee, and A. Nourbakhsh, "Numerical investigation of axial force of a centrifugal pump in the reverse mode," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2707, no. 1, p. 012047, Feb. 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2707/1/012047.
- [10] W. Li, "Effects of interface model on performance of a vortex pump in CFD simulations," *International Journal of Fluid Engineering*, vol. 1, no. 1, Mar. 2024, doi: 10.1063/5.0196213.
- [11] Zhengsu C., Yaguang H., Ping X., Qifeng J., Xipeng L. U. O., and Kun S., "Influence of Particle Properties on the Performance and Wear of Centrifugal Pumps Based on CFD-DPM," *xhdxzbzrkxb*, vol. 43, no. 1, pp. 87–96, 102, Jan. 2024, doi: 10.12198/j.issn.1673-159X.4892.
- [12] E. Pagayona and J. Honra, "Multi-Criteria Response Surface Optimization of Centrifugal Pump Performance Using CFD for Wastewater Application," *Modelling*, vol. 5, no. 3, Art. no. 3, Sep. 2024, doi: 10.3390/modelling5030036.
- [13] J. Dong and W. Li, "Numerical Simulation of Centrifugal Pump Cavitation Based on ANSYS," *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2450, no. 1, p. 012031, Mar. 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2450/1/012031.
- [14] X. Sun *et al.*, "Experimental Analysis of Radial Centrifugal Pump Shutdown," *FDMP*, vol. 20, no. 4, pp. 725–737, 2024, doi: 10.32604/fdmp.2023.045541.
- [15] R. X. Perez, "Evaluating Centrifugal Pumps in Petrochemical Applications," in *Maintenance, Reliability and Troubleshooting in Rotating Machinery*, John Wiley & Sons, Ltd, 2022, pp. 87–140. doi: 10.1002/9781119631668.ch6.
- [16] L. Achour, M. Specklin, M. Asuaje, S. Kouidri, and I. Belaidi, "Energy loss analysis of volute centrifugal pump handling non-Newtonian emulsions through entropy production theory," *Mechanics & Industry*, vol. 25, p. 13, 2024, doi: 10.1051/meca/2024009.
- [17] P. Raut, R. Rathod, R. Tidke, N. Rathod, S. Rokade, and Prof. N. Kulkarni, "Design and CFD Analysis of Centrifugal Pump," *IJRASET*, vol. 10, no. 12, pp. 638–646, Dec. 2022, doi: 10.22214/ijraset.2022.47958.
- [18] Durvesh, R. K. Singh, and M. K., "Performance Enhancement and Numerical Simulation of Inter-Stage of Multistage Centrifugal Pump by varying number of blades Using CFD," May 29, 2023. doi: 10.21203/rs.3.rs-2984996/v1.
- [19] J. Lu, Y. Zhou, Y. Ge, J. Liu, and C. Zhang, "Research into Prediction Method for Pressure Pulsations in a Centrifugal Pump Based on Variational Mode Decomposition–Particle Swarm Optimization and Hybrid Deep Learning Models," *Sensors*, vol. 24, no. 13, Art. no. 13, Jan. 2024, doi: 10.3390/s24134196.
- [20] V. V. Ghatbandhe, P. P. Mahajan, R. H. Gavhane, and A. Sharma, "Numerical Estimation and Validation of Pressure Pulsation in Centrifugal Pump Discharge Pipes," in *Fluid Mechanics and Fluid Power, Volume 3*, K. M. Singh, S. Dutta, S. Subudhi, and N. K. Singh, Eds., Singapore: Springer Nature, 2024, pp. 519–531. doi: 10.1007/978-981-99-6343-0_40.
- [21] X. Liu, J. Fu, J. Yang, D. Yin, Z. Zhou, and H. Li, "Numerical simulation research on multiphase flow of aviation centrifugal pump based on OpenFOAM," *Chinese Journal of Aeronautics*, vol. 37, no. 4, pp. 256–275, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.cja.2023.11.016.
- [22] A. F. S. A. Hassan, S. Saleh, and A. Hashish, "Simulation Based Design Tool for Radial Impellers of Centrifugal Pumps," Mar. 26, 2024. doi: 10.21203/rs.3.rs-3948294/v1.

- [23] Prof. Nitin Deshmukh and Mr. Mohammed Ishak Shaikh, "Design, Analysis and Optimization of Centrifugal Pump Impeller using CFD," *IJAR SCT*, pp. 466–480, Aug. 2024, doi: 10.48175/IJAR SCT-19358.
- [24] A. A. Alubokin, B. Gao, Z. Ning, L. Yan, J. Jiang, and E. K. Quaye, "Numerical simulation of complex flow structures and pressure fluctuation at rotating stall conditions within a centrifugal pump," *Energy Science & Engineering*, vol. 10, no. 7, pp. 2146–2169, 2022, doi: 10.1002/ese3.1123.
- [25] H. Wang, B. Long, C. Wang, C. Han, and L. Li, "Effects of the Impeller Blade with a Slot Structure on the Centrifugal Pump Performance," *Energies*, vol. 13, no. 7, Art. no. 7, Jan. 2020, doi: 10.3390/en13071628.
- [26] L. Dong, Y. Zhang, Z. Ge, Cui. Dai, and J. Guo, "Study and Verification of Large-Scale Parallel Mesh Generation Algorithm for Centrifugal Pump," *Mathematical Problems in Engineering*, vol. 2020, no. 1, p. 1956852, 2020, doi: 10.1155/2020/1956852.
- [27] J. Cardenas-Gutierrez, G. Valencia, and J. Forero, "Parametric Analysis CFD of the Hydraulic Performance of a Centrifugal Pump with Applications to the Dredging Industry," *Journal of Engineering Science and Technology Review*, vol. 13, pp. 8–14, Jan. 2020, doi: 10.25103/jestr.133.02.

RANCANG BANGUN PENDINGIN OTOMATIS PADA SAMBUNGAN PLAT BAJA GULUNGAN (*HOT ROLL COIL*) PASCA PENGELASAN

Abdul Haris Mubarak¹, Moh. Afandy², Kadriadi³

^{1,2} Program Studi Teknik Listrik dan Instalasi, Politeknik Industri Logam Morowali

³ Program Studi Teknik Perawatan Mesin, Politeknik Industri Logam Morowali

Jalan Trans Sulawesi, Desa Labota, Kecamatan Bahodopi, Morowali 94974, Indonesia

haris@pilm.ac.id¹

Abstrak

Proses penyambungan *Hot Roll Coil* (HRC) melalui pengelasan menghasilkan peningkatan suhu sambungan hingga 100–200°C, yang jika tidak segera diturunkan dapat menyebabkan kegagalan sambungan dan menghambat proses produksi. Penelitian ini merancang dan membangun sistem pendingin otomatis berbasis sensor suhu MLX90614 dan sensor ultrasonik HC-SR04, yang dikontrol melalui mikrokontroler Arduino Mega 2560. Sistem ini secara otomatis menyemprotkan air pendingin pada sambungan baja pasca pengelasan sehingga suhu dapat diturunkan ke rentang aman 40–60°C. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menurunkan suhu sambungan baja dari rata-rata 175°C menjadi 57°C dengan waktu pendinginan lebih cepat dibandingkan metode manual. Implementasi sistem ini di lingkungan industri berpotensi meningkatkan produktivitas dan efisiensi operasional.

Kata kunci : sistem pendingin, sensor infrared, *hot roll coil*.

Abstract

The process of joining Hot Roll Coil (HRC) through welding results in a temperature increase at the weld joint up to 100–200°C, which, if not immediately reduced, can cause joint failure and hinder production processes. This study designed and developed an automatic cooling system based on the MLX90614 temperature sensor and the HC-SR04 ultrasonic sensor, controlled by an Arduino Mega 2560 microcontroller. The system automatically sprays cooling water onto the welded steel joints to lower the temperature to a safe range of 40–60°C. The testing results demonstrate that the system successfully reduced the weld joint temperature from an average of 175°C to 57°C with a faster cooling time compared to the manual method. The implementation of this system in an industrial environment has the potential to enhance productivity and operational efficiency.

Key words : sistem pendingin, sensor infrared, *hot roll coil*.

PENDAHULUAN

Dalam penyambungan logam, pengelasan merupakan teknik yang paling banyak digunakan. Hal ini untuk mendapatkan hasil sambungan yang lebih ringan dan sederhana namun tetap memiliki kekuatan yang sama dengan jenis penyambungan logam lainnya. Perlakuan pendinginan pada logam yang akan dilas akan sangat mendukung untuk memperoleh hasil sambungan yang baik dan berkualitas.

Salah satu media yang sering digunakan untuk mendinginkan logam pada proses pengelasan yaitu air. Pendinginan dengan air selama 5 detik memiliki tegangan tarik rata-rata 23,01kgf/mm². [1].

Pengelasan merupakan bagian terpenting dalam pembuatan pipa baja. Plat baja yang berbentuk lembaran digulung dengan mesin SPM (Spiral Pipe Machine). Plat yang digulung pada mesin dilas luar dalam unruk menghasilkan pipa yang utuh. [2]

Pengelasan adalah suatu teknik yang digunakan untuk menyambungkan logam dengan cara mencairkan sebagian dari logam induk dan logam pengisi, baik dengan atau tanpa penambahan logam. Proses pengelasan ini menghasilkan logam yang kontinu. [3] Salah satu metode yang umum digunakan adalah Las SMAW, yang memanfaatkan tenaga listrik sebagai sumber panas dan elektroda sebagai bahan tambahan. Las SMAW dipilih karena prosesnya yang sederhana, ekonomis, serta menghasilkan kualitas las yang baik dari segi sifat

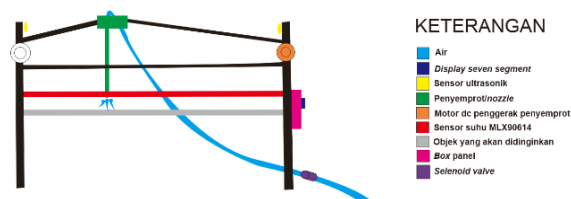
mekanik dan fisik, di samping biaya investasi yang relatif rendah. Namun, perlu dicatat bahwa kualitas sambungan yang dihasilkan sangat bergantung pada beberapa faktor, termasuk keterampilan juru las, jenis elektroda yang digunakan, kuat arus, dan kecepatan pengelasan.[4]

Kekuatan las yang kurang memadai dapat menyebabkan dampak negatif terhadap aplikasinya, seperti penurunan tingkat keamanan pada konstruksi. Oleh karena itu, penerapan perlakuan panas (*Heat Treatment*) dengan media pendingin yang sesuai sangat penting untuk mencapai nilai kekuatan material yang optimal. Pengaruh temperatur perlakuan panas dan media pendingin merupakan faktor kunci yang dapat digunakan sebagai alternatif untuk memperbaiki dan meningkatkan sifat mekanik material pasca pengelasan.[5]

METODE PENELITIAN

Desain dan Tahap Penelitian

Perancangan sistem pendingin sambungan baja menggunakan sensor infrared MLX90614 sebagai pengukur suhu sambungan baja pasca pengelasan dan sensor ultrasonik sebagai pembatas gerak penyemprot dimana *nozzle* digunakan di ujung penyemprot untuk mengatur kecepatan dan volume air yang digunakan[6]



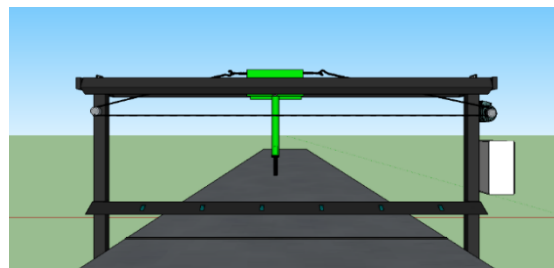
Gambar 1. Perancangan Sistem Pendingin

Gambar 1. dijelaskan tentang perancangan sistem yang akan digunakan untuk tugas akhir kali ini, di mana ketika sambungan baja berada dibawah sensor MLX90614, pada saat itu juga *solenoid valve* dan motor penggerak penyemprot aktif. Ketika penyemprot berada dekat dengan sensor ultrasonik 2 maka sensor ultrasonik 2 yang berfungsi sebagai pembatas akan memberi perintah kepada motor penggerak untuk menarik penyemprot untuk kembali ke sensor ultasonik 1 dan sistem akan kembali ke kondisi awal dimana ketika sensor suhu MLX90614 mendapat suhu 100°C - 200°C untuk mengaktifkan sistem pendingin.

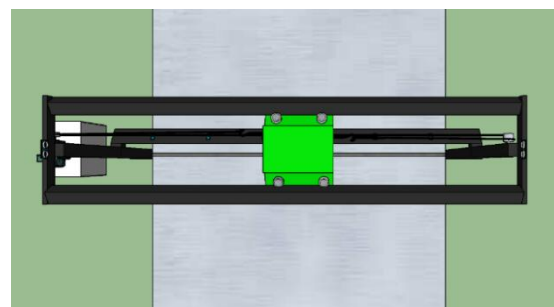
Perancangan Mekanik

Langkah awal dari pembuatan hardware ini adalah membuat rancangan hardware pada aplikasi

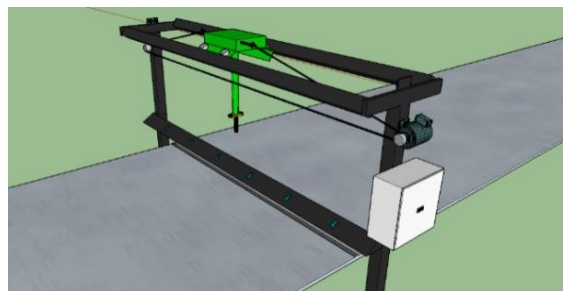
sketchup. Pada perancangan ini ditentukan bahan dan ukuran dari hardware yang akan dibuat, serta penempatan dan posisinya. Hardware berfungsi sebagai kerangka alat penyemprot sekaligus tempat untuk sensor ultrasonik dan suhu[7]. Untuk perancangan hardware yang akan dibuat dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 2. Desain tampak depan



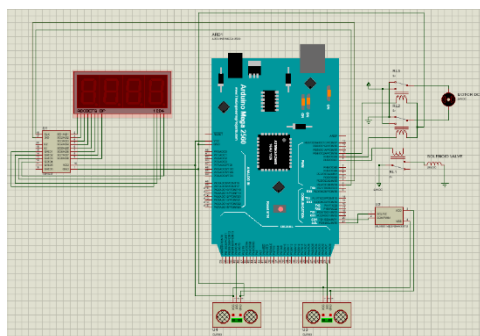
Gambar 3. Desain tampak atas



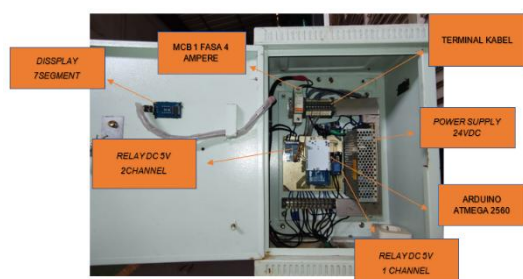
Gambar 4. Desain tampak samping

Perancangan Elektronika

Rancangan elektronika dapat dilihat pada Gambar 5 di bawah ini. Gambar ini terdiri atas beberapa komponen yaitu MLX90614 (Sensor suhu), HC-SR24 (Sensor ultrasonik), Arduino ATMEGA 2560 sebagai mikrokontroler, power supply 24V 5 A dan seven segment sebagai pembacaan nilai suhu dan kabel sebagai penghubung antar komponen. Power supply berfungsi sebagai sumber tegangan untuk Arduino ATMEGA 2560. [8]



Gambar 5. Perancangan elektronika



Gambar 6. Rangkaian Elektrik

Gambar 6 di atas merupakan hasil rangkaian elektrik yang telah terpasang pada panel kontrol sistem kendali. Panel ini telah berisi Arduino ATMEGA 2560, relay dan power suplay 24 Vdc.

Pembuatan Program

Perancangan dan pembuatan program ini meliputi software Arduino IDE yang digunakan pada modul mikrokontroler seperti Arduino ATMEGA 2560. Software Arduino IDE digunakan untuk pembuatan sistem monitoring dan sistem kendali penelitian ini. Software ini membuat program yang akan memerintah sensor serta komponen lainnya dan memastikan bahwa sistem monitoring dan sistem kendali berfungsi dengan baik sesuai dengan program yang telah ditentukan.

Tes_kendali_motor_menggunakan_Relay | Arduino 1.8.19

File Edit Sketch Tools Help

```
Tes_kendali_motor_menggunakan_Relay$
#include <TM1637Display.h>
#include <Adafruit_MLX90614.h>
TM1637Display display (CLK, DIO);
#define CLK 2
#define DIO 3
Adafruit_MLX90614 mlx = Adafruit_MLX90614();
int trig = 23; // Pertama
int echo = 25;
unsigned int durasi, jarak;

int trig_1 = 51; // untuk kembali motor
int echo_1 = 53;
unsigned int durasi_1, jarak_1;

int valve = 7;
// putaran motor menggunakan relay
int kanan = 8;
int kiri = 9;

void setup() {
```

Gambar 7. Library yang digunakan

Gambar 7 merupakan *library* yang digunakan untuk menyusun program sistem pendingin otomatis sambungan baja *hot roll coil* (HRC) pasca pengelasan.

Kalibrasi Sensor

Kalibrasi dilakukan pada sensor infrared MLX90614 dan dua buah sensor ultrasonik HC-R04 untuk mendapatkan tingkat keakuratan sensor yang akan digunakan. Kalibrasi merupakan proses untuk melakukan verifikasi terhadap suatu alat ukur untuk mengetahui kesesuaian alat ukur dengan rancangannya. Karena setiap sensor memiliki galat yang berbeda sehingga sebelum penggunaan sensor harus dikalibrasi terlebih dahulu.[6]

Untuk sensor suhu (infrared MLX90614), kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan dengan termogun yang telah terstandar [9]. Adapun hasil kalibrasi dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Table 1. Kalibrasi Sensor Suhu

Waktu Percobaan (menit)	Alat Ukur Standar (°C)	Besar Nilai Sensor (°C)	Error (%)
0	31,35	31,24	0,35
1	33,25	33,23	0,06
2	35,53	35,68	0,42
3	36,47	36,36	0,30
4	37,43	37,34	0,24
5	37,41	38,13	1,92
6	37,49	37,29	0,53
7	39,51	39,27	0,60
8	40,11	40,44	0,82
9	40,11	40,73	1,54
RATA-RATA	36,86	36,97	0,67

Gambar 8. Grafik perbandingan alat ukur dengan sensor *infrared* MLX90614

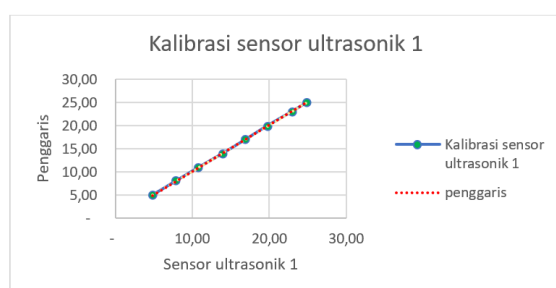
Dari data diatas didapatkan nilai error pada sensor infrared MLX90614 sebesar 0,67% dibawah $\pm 5\%$. Sehingga dapat dikatakan sensor suhu yang akan digunakan memiliki tingkat keakuratan yang baik.

Untuk sensor ultrasonik 1 dan 2 dilakukan kalibrasi menggunakan penggaris yang telah

terstandar dan diperoleh hasil kalibrasi sebagaimana tabel 2 dan tabel 3 berikut:

Table 2. Kalibrasi Sensor ultrasonik 1

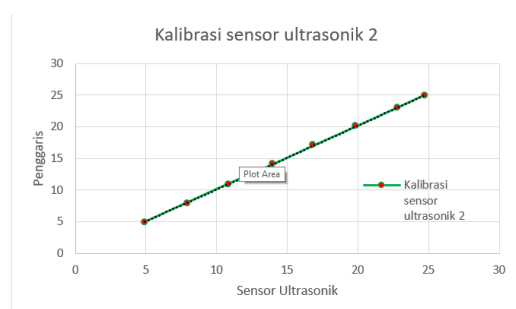
Waktu (Menit)	Penggaris (CM)	Sensor HC-SR04 (CM)	Error (%)
1	5	4.83	3.4
2	8	7.83	2.25
3	11	10.84	1.45
4	14	13.95	0.35
5	17	16.91	0.52
6	20	19.78	1.1
7	23	22.90	0.43
8	25	24.86	0.56
RATA-RATA	15.37	15.23	1.25



Gambar 9. Grafik perbandingan antara alat ukur penggaris (mistar) dengan sensor ultrasonik HC-SR04.

Table 3. Kalibrasi Sensor ultrasonik 2

Waktu (Menit)	Penggaris (CM)	Sensor HC-SR04 (CM)	Error (%)
1	5	4.95	1
2	8	7.90	1.25
3	11	10.85	1.36
4	14	13.95	0.35
5	17	16.86	0.82
6	20	19.86	0.7
7	23	22.80	0.86
8	25	24.74	1.04
RATA-RATA	15.37	15.23	0.92



Gambar 10. Grafik perbandingan antara alat ukur penggaris (mistar) dengan sensor ultrasonik HC-SR04.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rangkaian elektronik dirancang menggunakan software *Proteus*, hardware dibuat berdasarkan perancangan 3D *SketchUp*, dan program kendali dikembangkan dengan Arduino IDE.

Alat pendingin otomatis pada sambungan plat baja ini dibuat dengan menggunakan *nozzle* untuk menyemburkan air pada sambungan plat baja yang baru dilakukan penyambungan dengan cara pengelasan. *Solenoid valve* digunakan untuk mengatur aliran air yang akan digunakan untuk menyemprot, sementara buka tutupnya *solenoid valve* ditentukan oleh sensor suhu. Jika sensor membaca suhu diatas 100°C maka *solenoid valve* akan terbuka dan akan menyemprot. *Nozzle* yang menyemprot akan bergerak secara horizontal ke kiri dan ke kanan menggunakan motor DC sebagai penggerak. Sensor ultrasonik 1 dan 2 digunakan untuk mengatur putaran maju dan mundur motor DC yang menggerakkan *nozzle*.

Sensor MLX90614 mengukur suhu sambungan. Jika suhu melebihi 100°C, Arduino mengaktifkan *solenoid valve* dan motor DC untuk melakukan penyemprotan. Saat suhu turun di bawah 60°C, sistem kembali ke kondisi siaga. Sensor ultrasonik digunakan untuk mengontrol batas gerak *nozzle* saat proses pendinginan.

Untuk mengetahui apakah alat ini bekerja sesuai yang direncanakan maka dilakukan pengujian pada setiap sensor yang telah terpasang pada alat.

Pengujian Sensor Ultrasonik HC-SR04

Tujuan dilakukannya percobaan pada sensor ultrasonik HC-SR04 agar untuk mengetahui apakah sensor ultrasonik HC-SR04 dapat berfungsi dengan baik dan dapat membaca nilai jarak dengan baik atau tidak.[10]

Tabel 5: Pengujian sensor ultrasonik HC-SR04

Sensor	Kondisi	Keterangan
Sensor Ultrasonik 1	Jarak penyemprot <=12 cm	Motor forward
Sensor Ultrasonik 2	Jarak penyemprot <=12 cm	Motor reverse

Berdasarkan Table 5 dapat dilihat hasil pengujian sensor ultrasonik HC-SR04, apabila sensor ultrasonik 1 membaca nilai jarak 1 membaca nilai <=12CM dan sensor ultrasonik 2 membaca nilai >12CM maka motor bergerak *forward* dan ketika sensor ultrasonik 2 membaca jarak <=12CM dan sensor ultrasonik 1 membaca jarak >12CM maka motor bergerak *reverse*.

Pengujian Keseluruhan Sistem

Pada pengujian sistem keseluruhan merupakan tahap akhir dari semua pengujian yang dilakukan sebelumnya, dimana keseluruhan pengujian setiap komponen disatukan. Dengan pengujian sistem keseluruhan ini bertujuan untuk membuktikan sistem yang telah dirancang sebelumnya apakah berfungsi dengan baik. Pengujian yang dilakukan diantaranya sensor infrared MLX90614 digunakan sebagai pembaca suhu sambungan baja dan *output* pembacaan suhu menggunakan *display seven segment*, dan juga sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan sebagai pembatas geraknya penyemprot. Berikut hasil pengujian sistem keseluruhan pada proses pendinginan sambungan baja.

Table 6. Pengujian Keseluruhan Sistem

No	Pengujian	Motor	valve	Keterangan
1	Suhu <100°C dan jarak 1 <12CM, jarak 2 >12CM	Stand by	LOW	Berhasil
2	Suhu ≥100°C dan jarak 1 <12CM, jarak 2 >12CM	Forward	HIGH	Berhasil
3	Suhu ≥100°C dan jarak 1 >12CM, jarak 2 <12CM	Reverse	HIGH	Berhasil
4	Suhu <100°C dan jarak 1 >12CM, jarak 2 <12CM	Reverse	LOW	Berhasil

Pada Table 6. Merupakan hasil pengujian dari keseluruhan sistem pendingin yang dibuat dengan beberapa kondisi kasus yang berbeda-beda. Dengan input tersebut akan diketahui bagaimana kondisi output keluarannya. Kemudian Ketika output sistem sesuai dengan yang diinginkan berarti, secara keseluruhan sistem bekerja dan berfungsi dengan baik. Pengujian ini dilakukan di departemen HAPL tepatnya di jalur mesin 3.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem pendingin otomatis sambungan baja HRC pasca pengelasan menggunakan sensor suhu non-kontak dan aktuator berbasis Arduino. Sistem terbukti efektif dalam menurunkan suhu dari kisaran 175–200°C ke 40–60°C secara lebih cepat dan akurat dibandingkan metode manual.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Industri Logam Morowali, PT. IRNC yang telah mengizinkan untuk melakukan penelitian di pabrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Adi Tyagita, A. Irawan, J. Teknik, P. Negeri Jember Jl Mastrip Kotak Pos, and S. Jember, *Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Dana BOPTN Tahun*. 2016.
- [2] Muhammad Muchlisin, "2020_TA_IDN_16612144_HALAMAN JUDUL," *Tugas Akhir*, no. ANALISIS KINERJA MESIN SPIRAL PIPE MACHINE (SPM) PRODUKSI PIPA BAJA AWWA C 200 DENGAN MENGGUNAKAN METODE OVERALL EQUIPMENT EFFECTIVENESS (OEE) DAN FAULT TREE ANALYSIS (FTA) DI PT. INDAL STEEL PIPE, 2020.
- [3] Wiryosumatro H and Okumura T, *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan Ke-8. Jakarta: PT. Pradnya Paramitha, 2000.
- [4] S. A. Jalil, A. Husna, and J. Teknik Mesin Politeknik Negeri Lhokseumawe Jl Banda Aceh-Medan Km, "PENGARUH VARIASI ARUS PENGELASAN TERHADAP SIFAT MEKANIK PADA PROSES PENGELASAN SMAW," 2017.
- [5] S. M, R. E. Putra, J. Jamaluddin, and S. Sahrul, "ANALISIS KEKUATAN TARIK PENGARUH PERLAKUAN PANAS HASIL PENGELASAN KAMPUH V BAJA 42 DENGAN MEDIA PENDINGIN AIR DAN OLI," *ILTEK: Jurnal Teknologi*, vol. 16, no. 01, pp. 6–10, Apr. 2021, doi: 10.47398/iltek.v16i01.36.

- [6] I. Inayah, “Analisis Akurasi Sistem Sensor IR MLX90614 dan Sensor Ultrasonik berbasis Arduino terhadap Termometer Standar,” *Jurnal Fisika Unand*, vol. 10, no. 4, pp. 428–434, Oct. 2021, doi: 10.25077/jfu.10.4.428-434.2021.
- [7] K. Widhy Wirakusuma, A. Salim Opu, A. Bahri Pratama, J. H. Fan Saragi, and E. Putra Dairi Boangmanalu, “SINERGI Polmed : JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN RANCANG BANGUN ALAT PENYEMPROT OTOMATIS UNTUK BAN DUMP TRUCK PADA PT. DEXIN STEEL INDONESIA I N F O A R T I K E L,” 2015. [Online]. Available: <http://ojs.polmed.ac.id/index.php/Sinergi/inde>.
- [8] C. Yohana Windra, “Penerapan Mikrokontroller Arduino Mega 2560 sebagai Monitoring pada Pembacaan Arus 3 Fasa di Gardu Induk 150 kV Lubuk Alung,” vol. 10, no. 1, p. 2021, doi: 10.21063/JTE.2021.31331007.
- [9] A. Muthiah, “KARAKTERISASI ESP32 CAMERA DAN SENSOR SUHU MLX90614-DCI PADA SISTEM PENGENDALI PINTU OTOMATIS,” 2024. doi: 10.21009/03.1201.FA15.
- [10] T. N. Arifin, G. Febriyani Pratiwi, and A. Janrafsasih, “SENSOR ULTRASONIK SEBAGAI SENSOR JARAK”, [Online]. Available: <http://jurnal.undira.ac.id/index.php/jurnaltera/>.

ANALISA KARAKTERISASI KOMPOSISI CAMPURAN TANAH LIAT, ALUMINA, KANJI SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN ISOLATOR

Sallolo Suluh¹, Inggrid Selly Alfrianty¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Indonesia Toraja

Jalan Nusantara No 12, Makale, Tana Toraja, Sulawesi Selatan, Indonesia

sallolosuluh3@gmail.com¹

Abstrak

Pemanfaatan tanah liat kebanyakan digunakan untuk membuat berbagai kerajinan seperti vas bunga, kendi tempayak dan juga dibuat menjadi gerabah, batu bata dan genteng. Tujuan dari penelitian ini mengetahui pengaruh komposisi campuran tanah liat, alumina dan tepung kanji terhadap sifat fisik material panas. Penelitian ini yang telah dilaksanakan yaitu membuat material dari campuran tanah liat, alumina, kanji sebagai alternatif bahan isolator. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi yang terbaik didapatkan pada sampel E dengan kadar air, densitas dan porositas masing-masing sebesar 9,49% ; 26,97% ; dan 1.514,80 kg/m³.

Kata kunci : alumina, isolator, komposisi, porositas, dan tepung kanji.

Abstract

The use of clay is mostly used to make various crafts such as flower vases, jugs and also made into pottery, bricks and roof tiles. The purpose of this study is to determine the effect of the composition of the mixture of clay, alumina and starch on the physical properties of the material. heat. This study that has been carried out is to make material from a mixture of clay, alumina, starch as an alternative insulating material. The results of the study showed that the best composition was obtained in sample E with water content, density and porosity of 9.49%; 26.97%; and 1,514.80 kg / m³, respectively.

Key words : alumina, insulator, composition, porosity, and starch.

PENDAHULUAN

Tanah podsolik merupakan jenis tanah mineral tua yang terbentuk pada daerah dengan curah hujan tinggi (2500–3000 mm/tahun) dan suhu rendah[1]. Tanah ini umumnya berwarna kekuningan hingga kemerahan akibat oksidasi besi dan aluminium, serta memiliki pH rendah, kandungan silika tinggi, dan tingkat kesuburan yang rendah. Ciri fisiknya meliputi tekstur lempung atau pasir, mudah basah, serta mengalami pencucian hara intensif [2]. Podsolik banyak ditemukan di wilayah pegunungan Sumatra, Kalimantan, Jawa Barat, Maluku, Papua, dan Nusa Tenggara, dan umum dimanfaatkan untuk pertanian tanaman seperti kelapa, karet, jambu mete, dan kelapa sawit [1].

Alumina dikenal memiliki kekerasan tinggi serta sifat isolator panas dan listrik yang baik, sehingga banyak dimanfaatkan di industri keramik, pelapisan, polishing, dan tungku pemanas. Lebih dari 90% produksinya digunakan untuk pembuatan logam aluminium, serta berperan sebagai bahan

abrasif pengganti intan karena biayanya lebih rendah[3]. Ada beberapa penelitian sebelumnya yaitu[4]. Melakukan penelitian dengan menambahkan alumina pada komposisi tanah liat dan kanji menghasilkan porositas sebesar 25,16%. [3] dalam pemaparannya tentang alumina menyampaikan bahwa alumina ini berfungsi sebagai insulator (penghambat) panas dan listrik yang baik. Melakukan penelitian untuk mengetahui nilai penempaan logam cair dengan bervariasi serbuk alumina menghasilkan sebesar 1,27 Ra pada 15% sehingga semakin tinggi nilai kandungan alumina, maka semakin tinggi juga nilai kekasarannya. [5] melakukan penelitian terhadap *Aluminium Matrix Composite* (AMC) penguat *Silicon Carbida* dan alumina partikel. Dimana Variasi perlakuan waktu sintering adalah 1 jam dan 3 jam pada temperatur 500, 550 dan 600°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa densitas sebesar 2,589 gr/m³ dan keausan sebesar 0,005r pada perlakuan sintering 600°C. Kedua hal ini meningkat seiring dengan penambahan penguat alumina. [6]meneliti dengan mencampurkan tanah liat dengan alumina 70% untuk membuat batu tahan api untuk melapisi kilan,

tungku industry dengan variasi temperatur pemanasan 1200 °C, 1300 °C, 1400 °C dan 1500 °C dapat menghasilkan produk bata yang tahan terhadap guncangan termal. [7] telah menganalisis alumina berpori ditambahkan pembentuk pori (ragi) dengan metode taughi yang hasilnya menunjukkan isolator termal semakin meningkat. [8] meneliti dengan menambahkan alumina pada ko-doping ($\text{TiO}_2 + \text{MnO}_2$) menghasilkan ko doping alumina mampu meningkat kerapatan relative 98 %, modulus young 370 GPa dan kekerasan 14,8 GPa pada suhu sintering 1250 °C-1300 °C.[9] menambahkan alumina pada campuran komposit HDPE, serbuk kayu mahoni komposit menghasilkan nilai uji tarik sebesar 14,453 Mpa dan temperatur leleh 139,1°C. [10] menganalisis campuran komposit serat kelapa, NaOH dan alumina dengan berbagi persentase didapatkan hasil nila kekerasan yang optimal sebesar 30,1 HV pada presentase 50% Serat kelapa:15% NaOH:5% Alumina.

Berdasarkan pertimbangan di atas, belum ada penelitian sebelumnya yang membahas tentang karakterisasi terhadap tanah liat dalam bentuk kadar air, massa jenis dan porositas. Oleh karena itu akan dilakukan penelitian dengan mengkombinasikan tanah liat, alumina dan tepung kanji. Serta mengetahui lebih lanjut tentang sifat isolator panas.

METODE PENELITIAN

Penelitian yang telah dilakukan dengan memanfaatkan tanah liat, alumina dan tepung kanji dengan berbagai komposisi bahan, sebagai berikut :

Tabel 1. Komposisi bahan

Sampel	Tanah Liat(%)	Alumina (%)	Tepung Kanji (%)
A	60	20	20
B	50	30	20
C	40	40	20
D	30	50	20
E	20	60	20

Pemrosesan dan Pengujian Spesimen

Pembuatan spesimen

1. Persiapan semua bahan yaitu tanah liat, serbuk alumina, dan tepung kanji.
2. Tanah liat melalui serangkaian proses yaitu penjemuran kemudian dibakar, setelah itu dihaluskan dengan cara ditumbuk. Serta dilakukan pengayakan menggunakan mesh 60.
3. Kemudian ketiga bahan dicampurkan sesuai komposisi yang telah ada menghasilkan 5 sampel pengujian dan siap untuk di cetak.

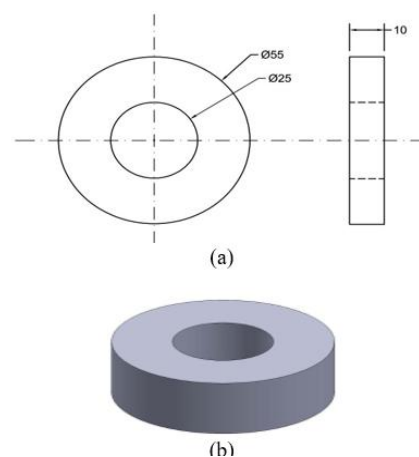
Pencetakan material

Cara mencetak material dengan mencampur ketiga bahan seperti sampel A (secara bergantian untuk semua data B-E yang dicetak) pada wadah loyang, diberikan air panas. Selanjutnya diaduk. Setelah di ukur bahwa ketiga bahan itu tidak terpisah lagi. Maka adonan di masukkan ke dalam cetakan yang berdiameter 25mm dan tinggi 10mm, lalu adonan di tutup bagian atas dan bawah. Kemudian cetakan diletakkan di atas hidrolik untuk proses penekanan dengan 1ton selama 15 menit.

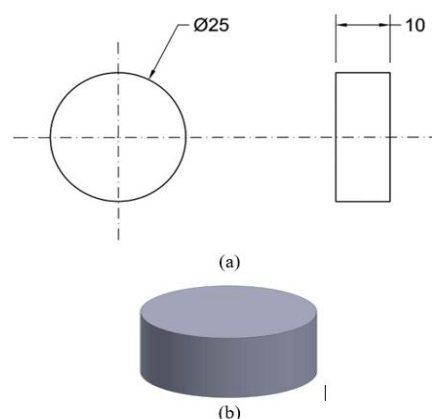
Proses Pemanasan

Pada proses pemanasan menggunakan pemanas *furnance* atau tungku 80 pecime yang terdapat pada di *workshop* Sinar Kasih. Dimana 80pecimen dimasukan ke dalam tungku pemanasan selama 2 jam dengan temperatur maksimum 800°C dengan waktu *holding* selama 1 jam. Proses pemanasan dilakukan tidak lain untuk mengurangi kadar air yang terdapat dalam 80 pecimen saat dilakukan proses pembuatan.

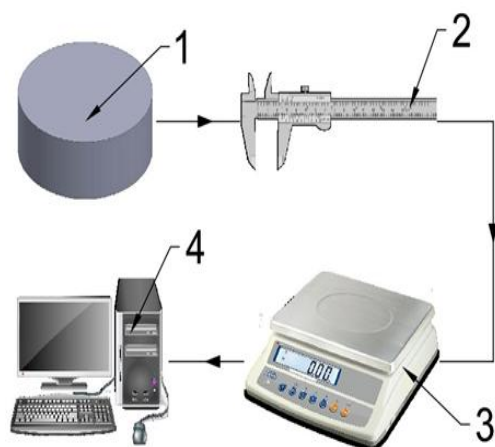
Adapun bentuk 80pecimen material yang diuji sebagai berikut :



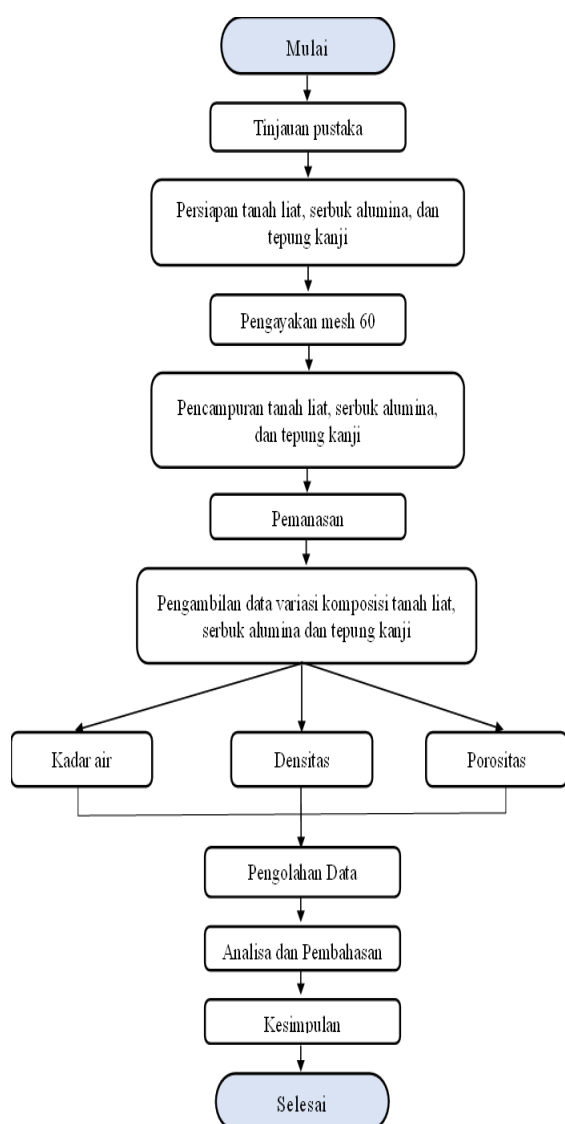
Gambar 1. (a) Ukuran cetakan ; (b) Cetakan



Gambar 2. (a) Ukuran Bahan, (b) Bentuk Bahan Penelitian



Gambar 3. Alur Pengambilan Data



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun spesimen yang telah dianalisis dalam bentuk hubungan komposisi bahan terhadap kadar air, massa jenis dan porositas dapat diuraikan dalam bentuk perhitungan dan grafik.

Kadar Air

Persamaannya dapat di analisis seperti berikut :

$$Ka = \frac{W_0 - W_1}{W_0} \times 100 \% \dots \dots \dots (1)$$

$$= \frac{5,87 - 5,47}{5,87} \times 100 \%$$

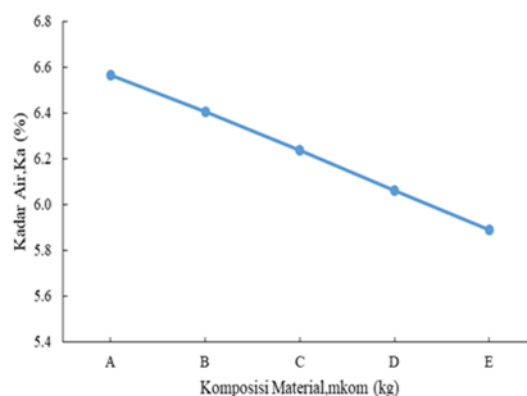
$$= 6,81 \%$$

Hasil perhitungan selanjutannya pada tabel 2.

Tabel 2 Kadar Air

Sampel	Kadar Air (%)					
	1	2	3	4	5	Rata-rata
A	6,81	5,95	6,06	6,04	5,93	6,16
B	6,00	6,03	6,00	6,02	6,02	6,02
C	6,10	6,00	5,14	5,24	6,85	5,86
D	5,23	6,00	5,21	6,01	6,12	5,71
E	5,35	6,72	5,31	5,18	5,23	5,56

Terlihat pada tabel 2, specimen E mempunyai kandungan kadar air yang paling kecil sebesar 5,56%, setelah itu Spesimen D sebesar 5,71%. Kemudian Spesimen C sebesar 5,86%, Spesimen B sebesar 6,02%. Serta yang paling banyak mengandung kadar air sebesar 6,16% pada A.



Gambar 4. Kadar Air

Pada gambar 4, grafik menunjukkan korelasi komposisi material terhadap kadar air. Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa pada sampel A memiliki nilai kadar air 6,16%, Pada sampel B sebesar 6,02%, Kemudian pada sampel C dan pada sampel D memiliki nilai masing-masing sebesar 5,86% dan 5,71%. Pada sampel E sebesar 5,56%. Nilai kadar air tertinggi pada sampel A dan nilai

terendahnya pada sampel E. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi persentase alumina dalam campuran, akan mengakibatkan menurunnya nilai kadar air campuran.

Densitas

Perhitungannya dapat dijelaskan sebagai berikut:

$$P = m/V \dots\dots\dots(2)$$

$$= 5,47/(4.908,73)$$

$$= 0,001114341 \text{ g/mm}^3$$

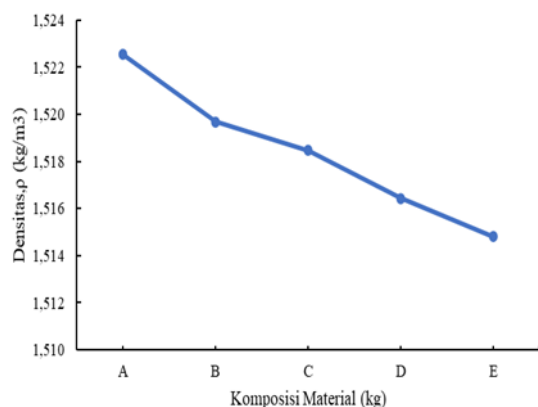
$$= 1.114,34 \text{ kg/m}^3$$

Selanjutnya dijabarkan dalam bentuk tabel 3.

Tabel 3. Densitas

Sam pel	Densitas (Kg/m ³)					Rata- rata
	1	2	3	4	5	
A	1.114,34	1.126,56	1.106,19	1.108,23	1.130,64	1117,19
B	1.116,94	1.110,83	1.116,94	1.112,87	1.112,87	1114,09
C	1.098,6	1.116,94	1.129,17	1.106,75	1.198,79	1112,05
D	1.108,79	1.116,94	1.112,87	1.114,9	1.094,52	1109,61
E	1.082,29	1.131,21	1.090,45	1.118,98	1.108,79	1106,34

Pada tabel 3 diatas memperlihatkan data densitas yang didapatkan dari hasil analisis perhitungan setiap specimen yang di uji. Sampel A mempunyai densitas sebesar 1117,19 kg/m³, Sampel B sebesar 1114,09 kg/m³, sampel C sebesar 1112,05, sampel D sebesar 1109,61 kg/m³ dan terakhir sampel E sebesar 1106,34%.



Gambar 5. Densitas

Pada gambar 5, grafik memperlihatkan hubungan antara Komposisi material terhadap Densitas. Campuran tanah liat, serbuk alumina dan tepung kanji. Gambar 5 memperjelas sampel A memiliki nilai densitas 1,522,55 kg/m³, sampel B memiliki nilai densitas lebih rendah 1,519,69 kg/m³, Kemudian pada sampel C dan pada sampel D memiliki nilai densitas 1,518,47 kg/m³ dan

1,516,43 kg/m³, Pada sampel E memiliki nilai poroaitas 1,514,80 kg/m³. Nilai densitas paling tinggi pada variasi komposisi campuran material sampel A, Pada variasi tersebut, densitas rata-rata dari material berada di kisaran 1,522,55 kg/m³, Sementara pada variasi komposisi campuran material sampel E memiliki nilai densitas yang paling rendah, Nilai rata-rata densitas pada variasi campuran material sampel E berada di kisaran 1,514,80 kg/m³, Dari gambar 4,3 tersebut ditemukan bahwa semakin tinggi persentase serbuk alumina nilai densitas material.

Porositas

Perhitungannya data-datanya, sebagai berikut :

$$P = \frac{mb-ms}{mb} \times 100 \% \dots\dots\dots(3)$$

$$= \frac{7,470 - 5,55}{7,470} \times 100 \%$$

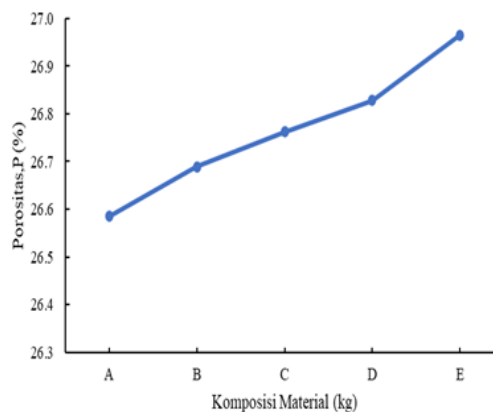
$$= 27,16 \%$$

Selengkapnya disajikan dalam bentuk tabel 4 :

Tabel 4. Porositas

Sam pel	Porositas (%)					Rata- rata
	1	2	3	4	5	
A	27,16	25,87	27,50	26,88	25,50	26,58
B	26,74	26,55	26,44	26,91	26,81	26,69
C	27,65	26,74	25,84	26,02	27,56	26,76
D	26,98	26,64	27,10	26,28	27,14	26,83
E	28,44	25,30	27,80	26,21	27,08	26,97

Pada tabel 4. terlihat hasil analisis perhitungan yang didapatkan setiap specimen dalam 5 kali pengujian dan diambil rata-ratanya masing-masing sebesar untuk sampel A sebesar 26,58%, sampel B sebesar 26,69 %, sampel C sebesar 26,76%, sampel D sebesar 26,83% dan terakhir untuk sampel E sebesar 26,97%.



Gambar 6. Porositas

Pada gambar 6, grafik menunjukkan korelasi antara komposisi material terhadap porositas. Gambar 6 terlihat sampel A sebesar 26,58%, sampel B lebih tinggi sebesar 26,69%. Kemudian sampel C dan sampel D masing-masing sebesar 26,76% dan 26,83%. Sampel E sebesar 26,97%. Nilai porositas paling tinggi pada variasi komposisi campuran material sampel E, Pada variasi tersebut, porositas rata-rata dari material berada di kisaran 26,97%, Sementara pada variasi komposisi campuran material sampel A memiliki nilai porositas yang paling rendah, Nilai rata-rata porositas pada variasi campuran material sampel A berada di kisaran 26,58%, Dari grafik tersebut ditemukan bahwa semakin tinggi persentase alumina dalam campuran, akan mengakibatkan naiknya porositas campuran.

KESIMPULAN

Kesimpulan dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Hasil kadar air terbaik sebesar 5,89% pada variasi 20% tanah, 60% serbuk alumina, dan 20% tepung kanji.
2. Hasil densitas terbaik sebesar 1,514,80 kg/m³ pada variasi 20% tanah, 60% serbuk alumina dan 20% tepung kanji.
3. Hasil porositas terbaik sebesar 26,97% pada variasi 20% tanah, 60% serbuk alumina, dan 20% tepung kanji.

UCAPAN TERIMA KASIH

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada masyarakat Universitas Kristen Indonesia Toraja yang telah memberikan kesempatan kepada mengikuti hibah penelitian internal sehingga penelitian bisa saya publikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Muhammad Helmy Abdillah, "Aplikasi Limbah Padat Karet Remah Pada Tanah Podsolik Merah Kuning Terhadap Ketersediaan Hara Makro Dan Perbaikan Sifat Fisika Tanah Application," vol. 16, no. 2, pp. 264–275, 2020.
- [2] B. Santoso, "Pemberdayaan Lahan Podsolik Merah Kuning," *Perspektif*, vol. 5, no. 1, pp. 1–12, 2006.

- [3] A. I. Nafili, S. M. B. Respati, and B. Santoso, "Pengaruh kandungan alumina terhadap kekasaran permukaan dan foto mikro permesinan pada komposit Al-Al₂O₃," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 12, no. 2, p. 94, 2018, doi: 10.36289/jtmi.v12i2.79.
- [4] S. Suluh, F. R. Bethony, C. Geraldi, F. B. Gallaran, P. Aket, and E. Pasampa, "Optimization of Clay, Alumina, and Starch Composition for Enhanced Thermal Insulation Propertie," vol. 23, no. 1, 2025.
- [5] K. Suarsana, I. M. Astika, and L. Suprpto, "Karakterisasi Konduktivitas Termal Dan Kekerasan Komposit Aluminium Matrik Penguat Hibrid SiCw/AL₂O₃," *J. Muara Sains, Teknol. Kedokt. dan Ilmu Kesehat.*, vol. 1, no. 2, pp. 108–116, 2018, doi: 10.24912/jmstkik.v1i2.1456.
- [6] Q. A. Sattar, "Production of High Alumina Fire Brick from Iraqi Clay," vol. 4, no. 1, 2012.
- [7] M. A. Aswad, A. N. Saud, and M. A. Ahmed, "Thermal conductivity optimization of porous alumina ceramics via Taguchi model," *Mater. Sci. Forum*, vol. 1002, no. June, pp. 125–131, 2020, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1002.125.
- [8] C. L. Gnanasagaran, K. Ramachandran, S. Ramesh, S. Ubenthiran, and N. H. Jamadon, "Effect of co-doping manganese oxide and titania on sintering behaviour and mechanical properties of alumina," *Ceram. Int.*, no. July, 2022, doi: 10.1016/j.ceramint.2022.10.027.
- [9] F. I. A. Fathan Hasfi, "Pengaruh Penambahan Serbuk Alumina terhadap kuat tarik dan sifat termal HDPE/Serbuk kayu mahoni."
- [10] K. W. Widantha, "Optimisasi Kekerasan Komposit Alami Dengan Penguat Serat Kelapa Dan Alumina Menggunakan Metode Taguchi."

THE ANALYSIS OF ELVIRA EV-1 CHASSIS MECHANICAL PERFORMANCE WITH VARIOUS BEAM CROSS-SECTION

Eka Sari Wijianti¹, Agus Sarwono¹, Jeri Ariksha¹, Saparin¹, Adam Zuyyinal Adib^{1*}

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Science and Engineering,
Universitas Bangka Belitung

Kampus Terpadu UBB, Balunijuk, Merawang, Bangka, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia

adamadib21@ubb.ac.id¹

Abstract

Elvira EV-1, as an electric vehicle (EVs) has become one of the latest developments that contributes to achieving sustainable and reliable transportation. These EVs were built to serve as a relevant solution for campus operational mobility. However, at the core of its framework system, Elvira EV-1 still uses a ladder-type chassis, which is inferior to other types of chassis in terms of torsional rigidity. Therefore, to enhance its mechanical performance, this study determined the best option of beam cross-section for the Elvira EV-1 chassis. There were three types of the selected beam section, namely rectangular, I-beam, and C-channel. The mechanical performance of each type of chassis was examined using the Frame Analysis module provided by Autodesk Inventor. The results show that the rectangular chassis experienced the highest bending stress of the other types of chassis due to its low moment of inertia, which is almost 26.27% higher. Nonetheless, with the same setup, the shear stress that occurred at the C-channel type of chassis was greater than its material. The chassis would fail under the load subjected to it. Similarly, I-beam chassis has the maximum torsional stress greater than the yield strength of the material due to low torsional rigidity. In addition, the mass of the chassis with rectangular section provided a more lightweight structure, about 36,92% lower than the other type of chassis. According to these findings, it can be concluded that the chassis with a rectangular section has promising performance to be an option as the Elvira EV-1 chassis.

Key words : electric vehicle, frame analysis, cross-section, mechanical performance, stress

INTRODUCTION

Nowadays, the global transportation technology shown rapid development with a clear shift from the use of combustion engine vehicles to electric vehicles (EVs), which offer a more eco-friendly and energy-efficient vehicle [1]. In localized settings and limited range of transportation, such as university campuses, a small scale of EVs serve highly relevant solution for operational mobility. One of the innovation is the development of Elvira EV-1, an electric vehicle designed capable to carrying up to nine passengers and also build up as campus operational transportation, as shown in Figure 1.

Elvira EV-1 expected to have robust structural that ensures its durability, comfortable, and also safety to the passengers while remain lightweight and energy-efficient. The design of Elvira EV-1 prioritize simplicity, reliability, and cost-effectiveness, making it appropriate for operates at low speeds within short distance trips around the campus premises. In order to achieve

this, at the core of its framework system is using ladder-type chassis, a configurations conventionally used in commercial vehicle for its ease of manufacturing and robustness [2]. Generally, the ladder chassis consist of two longitudinal beams which connected by multiple cross members, which forming ladder-like structure [3], [4]. The ladder-type chassis offers advantages in load-bearing capacity and manufacturing simplicity; however, it is generally inferior to monocoque or space frame designs in terms of torsional rigidity [5]. To improve its mechanical performance while maintaining its weight, the selection of proper cross-sectional profile for the beam becomes essential.



Figure 1 Elvira EV-1

The geometry of chassis cross-sectional beam significantly influences the vehicles mechanical performance, such as strength, stiffness, and weight [6]. The study conducted by Zuo et al. (2016), which the analysis of sensitivity on vehicle body frames comprises of rectangular tubes, shows that the cross-sectional geometry play significant role to the stress distribution and deformation under dynamic loads [7]. Moreover, Kawamura et al. (2023) carried out the study on the cross-sections shape for automobile frame under multiple axial loads, demonstrated that hybrid and non-standard profile capable to improve its efficiency without increasing the weight [8].

Furthermore, in the context of EVs, Zhang et al. (2020) examined a light-duty electric truck's frame and created a finite element model to assess dynamic behaviour and load response, highlighting the significance of profile selection in enhancing durability and ride quality [9]. Moreover, Using finite element methods, Mureşanu et al. (2024) examined the crashworthiness of battery enclosure frames in EVs, highlighting the importance of structural profiles in energy management and rigidity under impact [10].

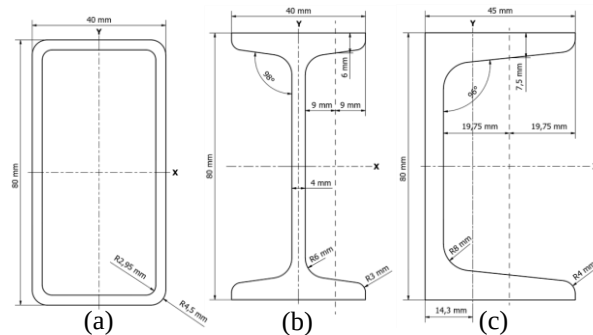


Figure 2 Beam section dimension, (a) rectangular; (b) I-beam (S-section); and (c) C-channel

Table 1 Beam cross-section properties

Properties	Symbol	Unit	Beam Section		
			Rectangular [11]	I-Beam (S-Section) [13]	C-Channel [12]
Cross section area	A	cm ²	6.74	7.69	10.5
Area moment of inertia about x-axis	I _x	cm ⁴	54.2	77.7	102
Area moment of inertia about y-axis	I _y	cm ⁴	18	5.65	18
Polar moment of inertia	J	cm ⁴	43.8	9.61	1.92
Elastic section modulus about x-axis	W _x	cm ³	13.6	19.4	25.6
Elastic section modulus about y-axis	W _y	cm ³	9	2.82	5.85

Despite these developments, there is still a research gap that focuses on the mechanical analysis of ladder-type chassis for multi-passenger, low-speed electric cars that operate on campuses. Commercial vehicles and high-performance EVs, which have distinct design requirements and operating conditions, are the subject of the majority of existing research nowadays. Therefore, the purpose of this study is to use different cross-sectional profiles for the main longitudinal and cross members in order to examine and compare the mechanical behaviour of the Elvira EV-1 ladder chassis. Using finite element analysis to model realistic loading conditions, the study will evaluate performance in terms of bending stiffness, shear resistance, and torsional rigidity, and overall structural efficiency.

By addressing this research gap, the study will help improve the Elvira EV-1 platform and serve as a guide for the development of future EV chassis in applications that combine environmental sustainability, high occupancy, and low speed.

MATERIALS AND METHOD

In this study, three types of beam section were used to construct the Elvira EV-1 chassis, namely Rectangular, I-beam (S-Section), and C-Channel as shown in Figure 1, which each section according to ISO 657/14-2000, ISO 657/15-1980, and ISO 657/11-1980 standard, respectively [11]–[13]. The cross-section properties of each beam section presented in Table 1.

Properties	Symbol	Unit	Beam Section		
			Rectangular [11]	I-Beam (S-Section) [13]	C-Channel [12]
Torsional section modulus	W_z	cm^3	15.3	1	1.727
Radius of gyration about x-axis	i_x	mm	2.84	3.18	3.12
Radius of gyration about y-axis	i_y	mm	1.63	0.857	1.3

Moreover, the chassis were designed using Frame Generator (FG) module which provided by Autodesk Inventor. The first step to this process was importing the sketch chassis into assembly file, then each line of the sketch were defined as beam with selected profile. The generated chassis are shown in Figure 3. The chassis has overall dimension which were 4055 mm $\times$ 1340 mm $\times$ 8 mm with 3380 mm wheel base, and 1060 track width.

After the chassis were generated, the next step was Frame Analysis (FA) which is a static analysis module of a structural frame, and this was also provided by Autodesk Inventor. The basis of FA was Finite Element Method (FEM) which is an analytical method using numerical technique to find the solution to the certain problems of partial differential equations by narrow down them to algebraic equations [14]. To perform an FA, there were several behaviour need to be assigned, namely material, constraint, and loads. The material of Elvira EV-1 chassis was using S235JR steel or well known as St37-2 steel which its properties was standardized by EN 10025-2:2004 standard [15], as presented in Table 2.

Table 2 Properties of S235JR (St37-2) steel [15]

Properties	Symbol	Unit	Value
Density	ρ	g/cm^3	7.85
Poisson's ratio	ν	-	0.3
Yield strength	σ_y	MPa	235
Tensile strength	σ_u	MPa	360
Young's modulus	E	GPa	205
Shear modulus	G	GPa	80

Moreover, the constraint of the chassis were four support, which was a floating pinned support and each of it located at main beam where the wheel axis was rested. The front support position was 252.45 mm from forefront, while the rear support located at 250.16 mm from the rearmost of the chassis, as shown in Figure 4. Meanwhile, the load subjected into the chassis was continuous load type and located at the top of the four longitudinal beam with total length of the load was 12,000 mm and with 1 N/mm magnitude. Therefore, the force total experienced by the chassis was 12,000 N or equal to 1,223.24 kg. The material, constraint, and load were the same for each type of chassis.

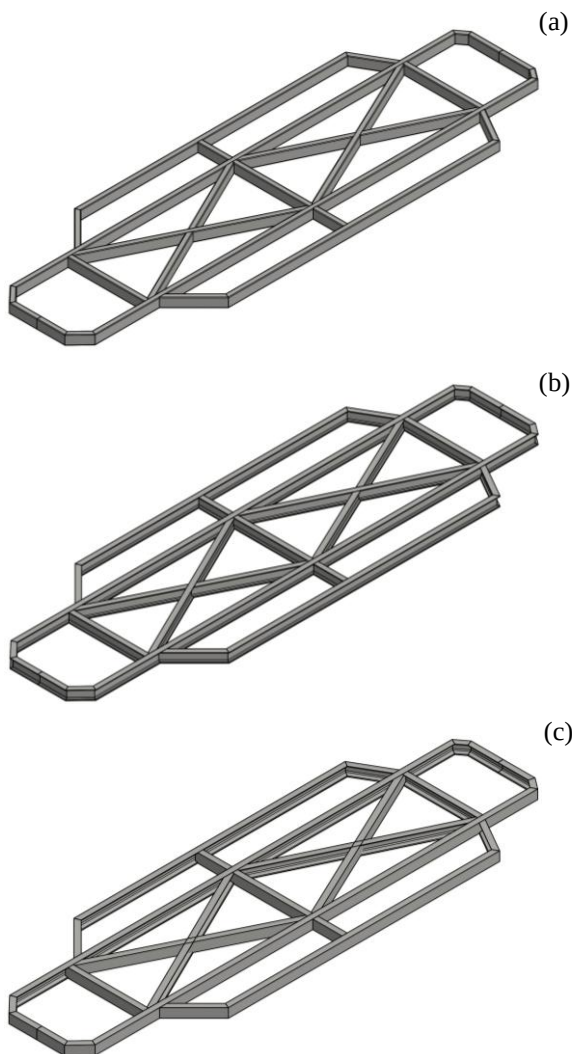


Figure 3 Generated chassis with (a) rectangular; (b) I-beam (S-section); and (c) C-channel section

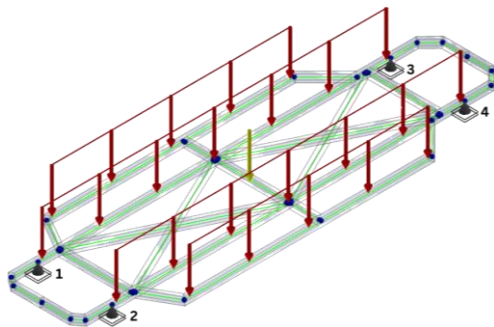


Figure 4 Chassis support and load location

RESULTS AND DISCUSSION

Frame analysis was conducted to determine the mechanical performance of Elvira EV-1 chassis with various beam section, namely rectangular, I-beam (S-section) and C-channel. The examined mechanical performance were displacement, bending, shear, and torsional stress. The analysis result respectively shown in Figure 5, 6 and 7 for each mechanical performance. The mass, displacement, and bending stress also presented in bar chart as shown in Figure 8, in order to simplify the discussion.

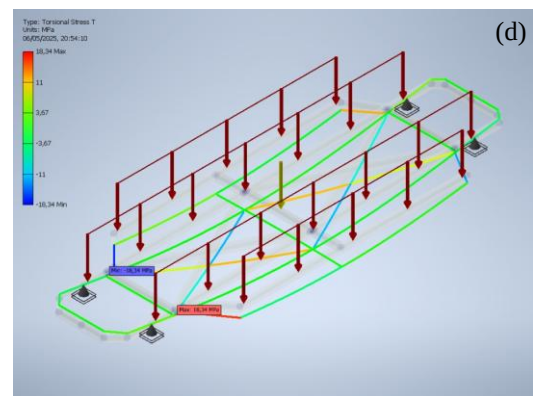
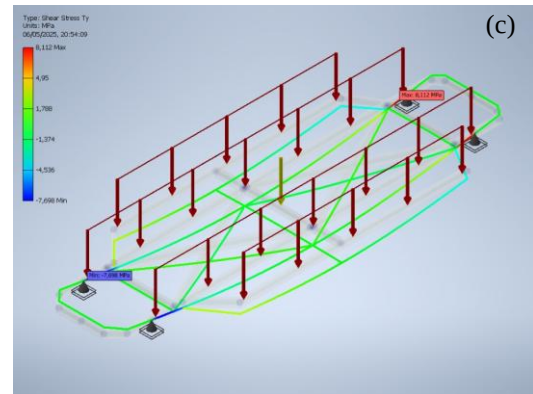
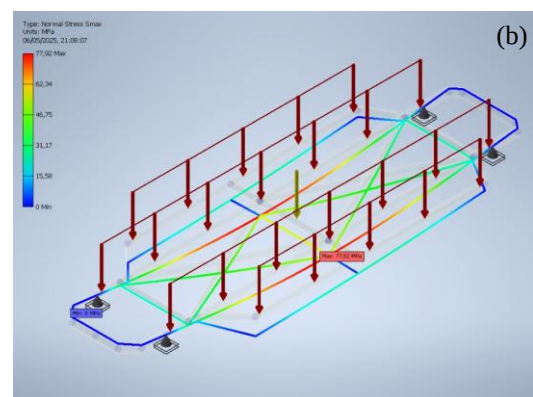
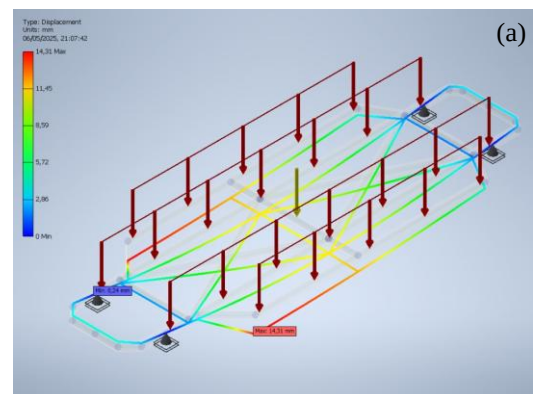
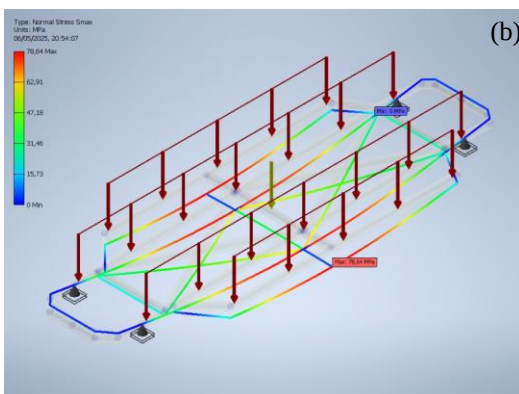
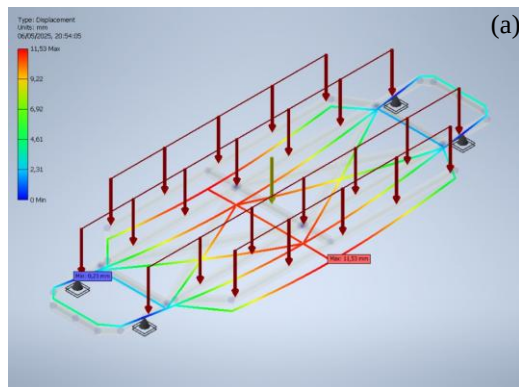


Figure 5 Analysis results of chassis with rectangular section; (a) displacement; (b) bending stress; (c) shear stress; and (d) torsional stress



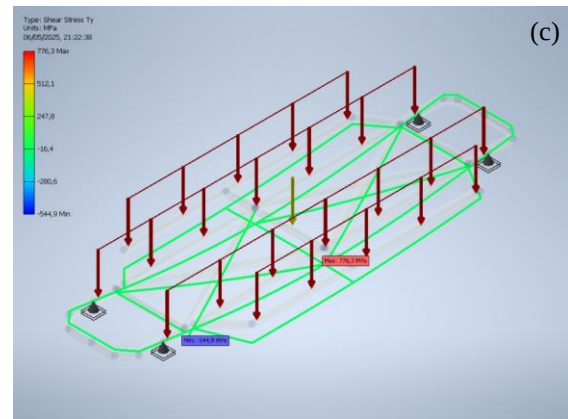
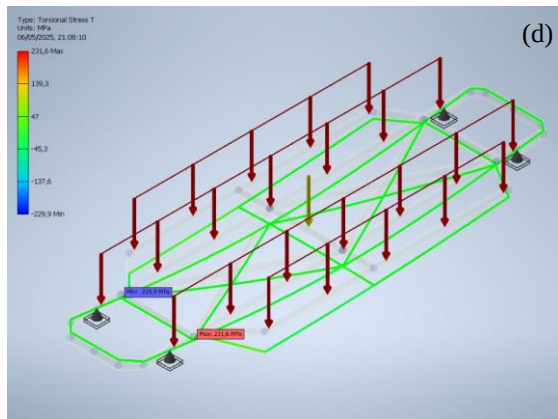
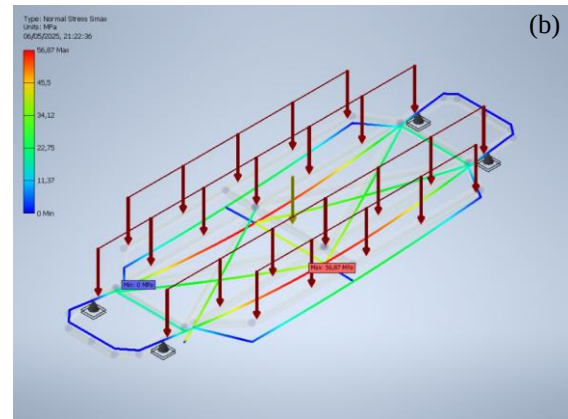
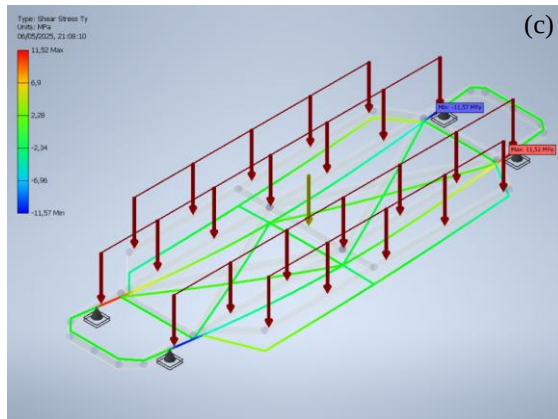


Figure 6 Analysis results of chassis with I-beam section; (a) displacement; (b) bending stress; (c) shear stress; and (d) torsional stress

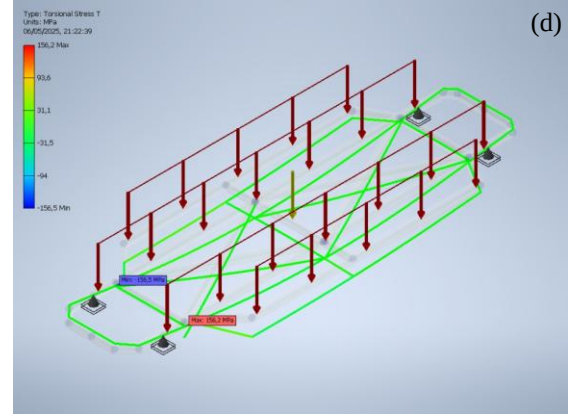
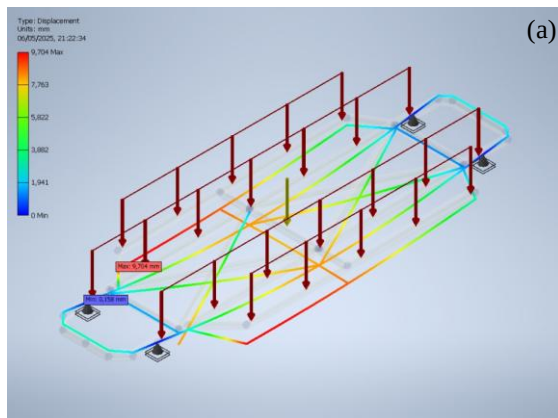


Figure 7 Analysis results of chassis with C-channel section; (a) displacement; (b) bending stress; (c) shear stress; and (d) torsional stress

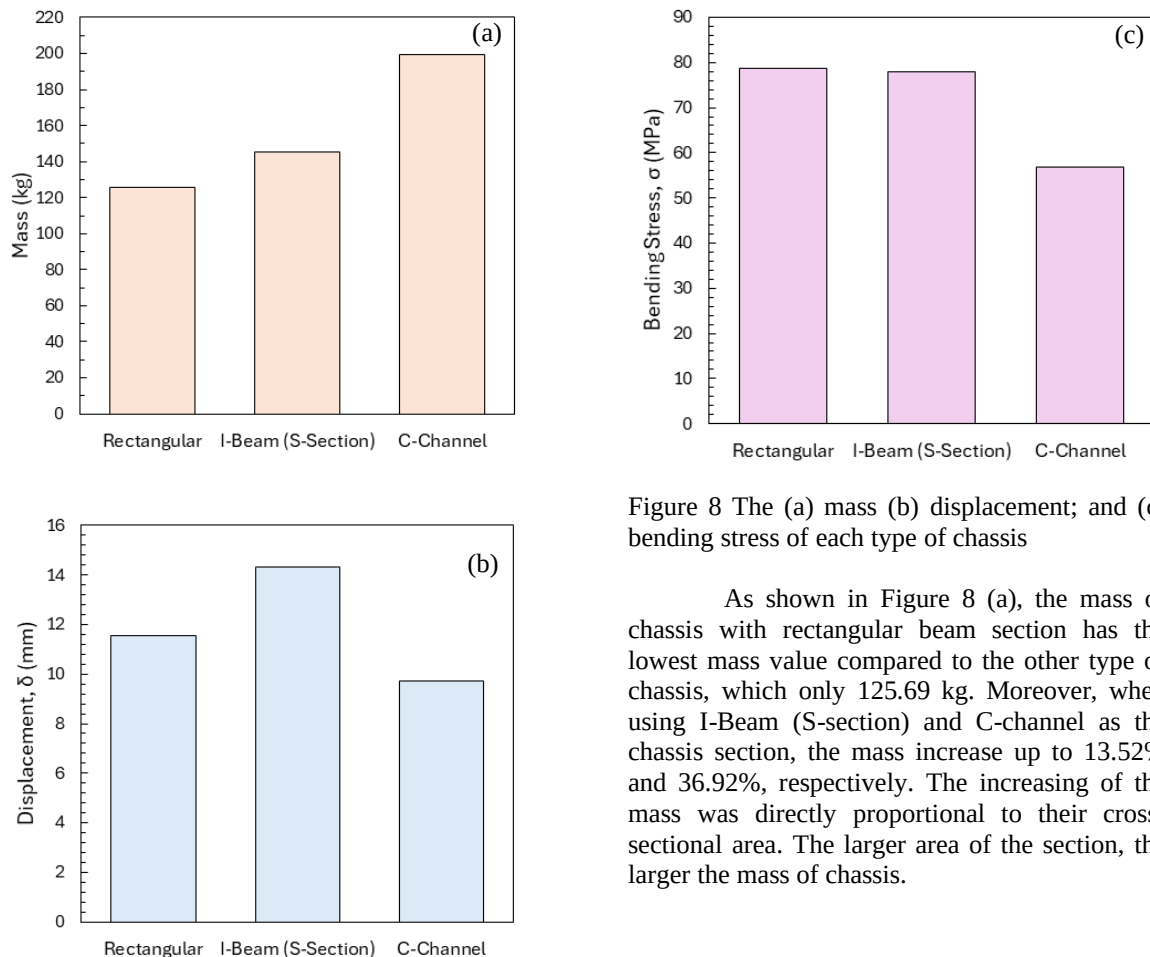


Figure 8 The (a) mass (b) displacement; and (c) bending stress of each type of chassis

As shown in Figure 8 (a), the mass of chassis with rectangular beam section has the lowest mass value compared to the other type of chassis, which only 125.69 kg. Moreover, when using I-Beam (S-section) and C-channel as the chassis section, the mass increase up to 13.52% and 36.92%, respectively. The increasing of the mass was directly proportional to their cross-sectional area. The larger area of the section, the larger the mass of chassis.

Table 3 The summary of Elvira EV-1 chassis mechanical performance with various beam section

Beam Section	Mass (kg)	Displacement, δ (mm)		Bending Stress, σ (MPa)		Shear Stress, τ (MPa)		Torsional Stress, T (MPa)	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Rectangular	125.69	0	11.53	0	78.639	-7.698	8.112	-18.337	18.337
I-Beam	145.34	0	14.31	0	77.921	-11.575	11.52	-229.94	231.56
C-Channel	199.27	0	9.7	0	56.874	-544.85	776.31	-156.55	156.19

Furthermore, Figure 8 (b) shows the chassis with I-beam section has 14.31 mm maximum displacement, which were the highest among all the type of chassis. In comparison, I-beam section has 77.7 cm³ moment area of inertia about x-axis, this was more higher than the rectangular one, which only has 54.2 cm³. Generally, in bending structure, the displacement directly affected by the inertia of the beam section. Larger inertia usually came with lower displacement [16]. Nevertheless, by the observation of the results presented in Figure 5(a) and 6(a), the maximum displacement of both chassis occurs at

distinct place, the displacement of rectangular chassis lie at the middle side of the longitudinal beam, while the I-beam chassis, occur at the angled corner of the side beam. Consequently, high torsional stress could exist due to the twisted beam. The chassis with C-channel beam also experienced same phenomenon as I-beam chassis does, as shown in Figure 7(a). In addition, the value of maximum torsional stress of both chassis also confirmed this phenomenon, precisely 231.56 MPa for I-beam chassis and 156.55 MPa for the C-channel chassis, as shown in Figure 5(d) and 6(d). Compared to the chassis with rectangular section, it

only has 18.337 MPa of maximum torsional stress, as shown in Figure 7(d). Therefore, it can be concluded that, the reason I-beam and C-channel chassis experienced this due to their low torsional rigidity [17], [18]. Besides, the maximum displacement of both section also occurs at the same spot. In addition, the maximum torsional stress of I-beam chassis more greater than its material yield strength, which obviously caused permanent deformation to the chassis.

Figure 8 (c) shows the maximum bending stress that happened on each type of the chassis. The chassis with rectangular experienced higher bending stress than the other, which was 78.639 MPa. Nonetheless, while using I-beam section, the stress only reduced up to 0.91%. Meanwhile, C-channel section could significantly reduce the stress occurs at the chassis up to 27.67%. The stress reduction was directly proportional to the value of inertia moment area each section. The larger the inertia, the less bending stress occurred [19]. The maximum bending stress of all the type of chassis exist at the middle beam due to it is the furthest point from the support, as shown in Figure 5(b), 6(b), and 7(b).

On the other hand, the shear stress value of each chassis has upside down state compared to the bending stress value, as shown Figure 5(c), 6(c), and 7(c). The chassis with C-channel experienced the highest shear stress, even much higher than the tensile strength of its material (360 MPa), which up to 776.31 MPa. This definitely would lead the chassis to fail against the load. This unique phenomenon might be caused by asymmetrical geometry of C-channel section. Unlike rectangular and I-beam, the C-channel neutral axis were off its centre, while the shear stress mostly occurs on this axis. In addition, C-channel has open-section geometry, which caused low value of polar moment inertia (see Table 1) and lead to higher torsional shear stress.

Table 3 shows the summary analysis results of mechanical performance each type of chassis with the addition mass produced by the chassis with different beam section. According to these findings, the rectangular section seems offer promising mechanical performance compared to the other type of chassis. Although this type of chassis has the highest maximum bending stress, however, on the other mechanical performance seems more stable, such as shear and torsional stress. Besides, the bending stress value yet below its material yield strength. Therefore, it still safe for Elvira EV-1 to use the chassis with rectangular section. In addition, the rectangular chassis provided most lightweight structure, which was important properties to increase the efficiency most of EVs.

CONCLUSIONS

This study determine the mechanical performance of Elvira EV-1 chassis with various beam cross-section. The results showed that the rectangular section chassis has the highest value of maximum bending stress due to its low moment area of inertia. However, when changed to I-beam section, the value only reduced 0.91%, while the C-channel provided better performance which could significantly reduce the stress up to 27.67%. Nonetheless, C-channel chassis has the most significant value on its shear stress, which was 776.31 MPa. This value even more higher than the tensile strength of its material. Therefore, the chassis obviously would fail against the load subjected to it. Similarly, I-beam chassis has the maximum torsional stress about 231.56 MPa, which was greater than the yield strength of St37-2 material due to low torsional rigidity of this section. This surely could leave a permanent deformation to the chassis. In addition, the mass of chassis with rectangular section provided more lightweight structure with 125.69 kg of mass, which 36.92% lower among the other type of chassis. According to this findings, it can be concluded that the chassis with rectangular section has promising performance to be the Elvira EV-1 chassis.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thanks for the financial assistance provided by Universitas Bangka Belitung on this work as the part of author's research project entitled "ELVIRA-1 The Buggy Car Prototype using BLDC 3KW 60V Motor" under the 2024 Featured Research (Penelitian Unggulan) Program with Grant Number 3.1/UN50/SP/IV/2024.

REFERENCES

- [1] T. R. Hawkins, B. Singh, G. Majeau-Bettez, and A. H. Strømman, "Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles," *J. Ind. Ecol.*, vol. 17, no. 1, pp. 53–64, Feb. 2013, doi: 10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x.
- [2] P. Seyfried, E. J. M. Taiss, A. C. Calijorne, F.-P. Li, and Q.-F. Song, "Light weighting opportunities and material choice for commercial vehicle frame structures from a design point of view," *Adv. Manuf.*, vol. 3, no. 1, pp. 19–26, Mar. 2015, doi: 10.1007/s40436-015-0103-8.

- [3] I. A. Majid, F. B. Laksono, H. Suryanto, and A. R. Prabowo, "Structural Assessment of Ladder Frame Chassis using FE Analysis: A Designed Construction referring to Ford AC Cobra," *Procedia Struct. Integr.*, vol. 33, pp. 35–42, 2021, doi: 10.1016/j.prostr.2021.10.006.
- [4] A. Agarwal and L. Mthembu, "Structural Analysis and Optimization of Heavy Vehicle Chassis Using Aluminium P100/6061 Al and Al GA 7-230 MMC," *Processes*, vol. 10, no. 2, p. 320, Feb. 2022, doi: 10.3390/pr10020320.
- [5] G. V. N. Gowtham, M. K. Baashkaran, and S. N. Naveen, "Improvement of Ladder Chassis Torsional Stiffness without Additional Sections," Aug. 2023, doi: 10.4271/2023-01-5060.
- [6] M. R. Murshed, B. Ud Duja, S. I. Ranganathan, and B. M. Darras, "Design Maps and Shape Optimization of a Prototype Vehicle Chassis," *Appl. Mech. Mater.*, vol. 367, pp. 101–105, Aug. 2013, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.367.101.
- [7] W. Zuo, J. Yu, and K. Saitou, "Stress sensitivity analysis and optimization of automobile body frame consisting of rectangular tubes," *Int. J. Automot. Technol.*, vol. 17, no. 5, pp. 843–851, Oct. 2016, doi: 10.1007/s12239-016-0082-1.
- [8] C. Kawamura, M. Honda, J. Arakawa, H. Akebono, and A. Sugeta, "Study on the Cross-Section Shape for Automotive Frame on Multiple Axial Loads," *Trans. Soc. Automot. Eng. Japan*, vol. 54, no. 4, pp. 738–744, 2023, doi: 10.11351/jsaeronbun.54.738.
- [9] H. Zhang, G. Huang, and D. Yu, "Numerical modeling for the frame structure of light van-type electric truck," *Sci. Prog.*, vol. 103, no. 2, Apr. 2020, doi: 10.1177/0036850420927204.
- [10] A. D. Muresanu, M. C. Dudescu, and D. Tica, "Study on the Crashworthiness of a Battery Frame Design for an Electric Vehicle Using FEM," *World Electr. Veh. J.*, vol. 15, no. 11, p. 534, Nov. 2024, doi: 10.3390/wevj15110534.
- [11] The International Organization for Standardization (ISO), "ISO 657/14-2000 - Hot-rolled steel sections - Part 14: Hot-finished structural hollow sections — Dimensions and sectional properties," 2000.
- [12] The International Organization for Standardization (ISO), "ISO 657/15-1980 - Hot-rolled steel section - Part 15: Sloping flange beam sections (Metric series) - Dimensions and sectional properties," 1980.
- [13] The International Organization for Standardization (ISO), "ISO 657/11-1980 - Hot-rolled steel section - Part 11: Sloping flange channel sections (Metric series) - Dimensions and sectional properties," 1980.
- [14] F. Popescu, R. M. Chivu, K. Uzunescu, and I. Ion, "Design and finite element analysis of a circular steel profile frame using Autodesk Inventor," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1262, no. 1, p. 012069, Oct. 2022, doi: 10.1088/1757-899X/1262/1/012069.
- [15] British Standard (BS) EN, "EN 10025-2:2004- Hot rolled products of structural steels - Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels," 2004.
- [16] L. Olanitori, M. Oniyide, S. Oni, and M. Otuaga, "Effective moment of inertia of reinforced concrete slender beams with only tension reinforcement," *J. Civ. Eng. Environ. Sci.*, vol. 9, no. 2, pp. 033–041, Jul. 2023, doi: 10.17352/2455-488X.000065.
- [17] M. Fortan and B. Rossi, "Lateral Torsional Buckling of Welded Stainless Steel I-Profile Beams: Experimental Study," *J. Struct. Eng.*, vol. 147, no. 3, Mar. 2021, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002927.
- [18] J. Papangelis, "On the Stresses in Thin-Walled Channels Under Torsion," *Buildings*, vol. 14, no. 11, p. 3533, Nov. 2024, doi: 10.3390/buildings14113533.
- [19] A. Z. Adib *et al.*, "Flexural strength of the sandwich-structured parts made of polylactic-acid and thermoplastic-polyurethane fabricated by using extrusion-based multi-material additive manufacturing," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 132, no. 9–10, pp. 4805–4827, Jun. 2024, doi: 10.1007/s00170-024-13608-6.

Petunjuk Umum

Panjang maksimal sebuah jurnal ilmiah adalah 6 - 8 halaman dengan penulisan spasi tunggal, *justify*, huruf Times New Roman ukuran 10 point *regular* 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 dengan 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 margin 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 penulis¹, nama penulis² (Style Penulis)

¹ Program Studi, Fakultas, Universitas (Style Keterangan)

Alamat Universitas

² Program Studi, Fakultas, Universitas

Alamat Universitas

Email penulis¹

<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)

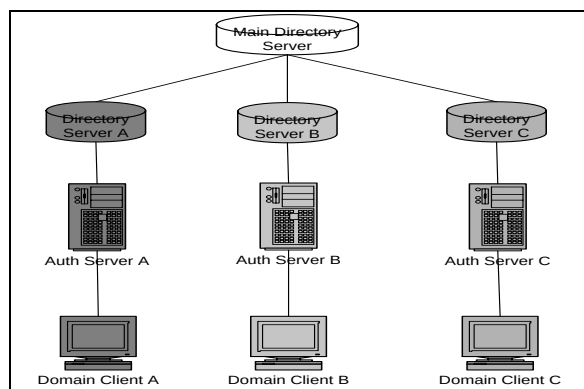
| Kolom 1 | Kolom 2 | Kolom 3 | Kolom 4 |
|---------|---------|---------|---------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

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:

$$Y=ax+bx \dots\dots\dots (1)$$

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 Jurusan Teknik Mesin- Fakultas Sains dan Teknik
Universitas Bangka Belitung
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung
Balunijuk, Kab. Bangka, Prov. Kep. Bangka Belitung
Laman : <https://journal.ubb.ac.id/index.php/machine>
e-Mail : mesinubb@yahoo.com

