



# JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

## MODEL NUMERIK UJI TARIK PADUAN ALUMINIUM DAUR ULANG VELG DAN PISTON MOTOR DENGAN METODE ELEMEN HINGGA EKSPLISIT DINAMIS

Tsania Yusril Wibowo <sup>1)</sup>, Ahmad Fauzan Zakki, Imam Pujo Mulyatno

<sup>1)</sup>Laboratorium Struktur dan Kekuatan Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

\*e-mail :yusrilwibowo354@gmail.com

### Abstrak

Model numerik memainkan peran penting dalam analisis perilaku struktural, bahan dan komponen, memungkinkan prediksi kinerja dalam berbagai kondisi. Penggunaan aluminium bekas velg dan piston motor dapat didaur ulang untuk aplikasi bangunan yang mencakup komponen bangunan jendela kapal. Penelitian ini menganalisis sifat mekanik paduan aluminium daur ulang melalui uji tarik numerik dan eksperimental. Simulasi elemen hingga menggunakan Abaqus dibandingkan dengan hasil uji tarik eksperimental berbasis ASTM E8 pada variasi komposisi 100% velg, 100% piston, serta kombinasi 75%-25%, 50%-50%, dan 25%-75%. Hasil menunjukkan akurasi model simulasi yang tinggi dengan error di bawah 5% dan korelasi Pearson mendekati 1. Metode elemen hingga mampu memprediksi sifat mekanik aluminium daur ulang dengan akurasi tinggi, sehingga dapat digunakan sebagai pendekatan numerik yang andal dalam analisis material.

Kata Kunci :uji tarik, metode elemen hingga, Abaqus,

### 1. PENDAHULUAN

Model numerik, sebagai representasi matematis sistem fisik, memiliki peran krusial dalam menganalisis perilaku struktur bangunan, material, dan komponennya. Penerapannya memungkinkan insinyur untuk memprediksi kinerja struktur di bawah berbagai kondisi beban dan lingkungan [1]. Sejalan dengan itu, penggunaan aluminium bekas seperti velg dan piston motor dapat didaur ulang guna pembangunan komponen jendela kapal. proses pencampuran skrap paduan aluminium dari velg dan piston bekas memerlukan evaluasi sifat mekanik material untuk menentukan kelayakan dalam pengaplikasiannya [2]. Salah satu metode evaluasi umum yang digunakan adalah uji tarik, yang dapat mengukur kekuatan dan ketahanan deformasi material.

Uji tarik berfungsi menentukan material bersifat getas (*brittle*) atau ulet (*ductile*) berdasarkan ketangguhan materialnya. Uji tarik

merupakan salah satu metode utama yang digunakan untuk mengukur sifat mekanik suatu material, seperti kuat tarik, regangan, dan modulus elastisitas [3]. Pengaturan eksperimental pengujian pada spesimen yang sesuai standar, dilakukan pembebanan secara uniaxial sehingga spesimen mengalami deformasi dan pertambahan panjang [4]. Mengikuti perkembangan zaman, metode elemen hingga dapat digunakan untuk menganalisis sifat mekanik dari suatu material.

Metode elemen hingga merupakan metode numerik yang digunakan untuk memecahkan masalah teknik. Metode elemen hingga atau *Finite element method* adalah prosedur numerik yang membagi geometri menjadi elemen kecil untuk menganalisis pergeseran setiap nodal untuk mendapatkan solusi yang sesuai [5]. Salah satu *software* metode elemen hingga adalah *Abaqus*. *Abaqus* merupakan salah satu program yang digunakan untuk menganalisis metode elemen hingga. Perangkat lunak ini dapat melakukan simulasi linier dari analisis paling sederhana

hingga analisis non linier dengan kondisi kontak yang kompleks [6].

Penelitian mengenai studi numerik uji tarik telah dilakukan dalam beberapa penelitian. Penelitian pada material komposit tempurung kelapa menggunakan AUTOCAD 2019 untuk memodelkan dan simulasi menggunakan ANSYS *Workbench* yang berbasis *Finite Element Method* (FEM) dan ekperimental menghasilkan perubahan nilai tarik dengan tegangan hasil simulasi 33,368 MPa dan ekperimental 3,114 MPa, maka diperoleh selisih 30,254 MPa dan untuk regangan diperoleh hasil simulasi 1,6684, sedangkan hasil ekperimental 0,0575 maka diperoleh selisih 1,6109[7]. Selanjutnya penelitian mengenai analisis numerik uji tarik baja karbon rendah menghasilkan rata-rata kekuatan tegangan yang disimulasikan  $2.455e+09$  N/m<sup>2</sup> dan pada ekperimental diperoleh kekuatan tegangan  $2.451e+09$ N/m<sup>2</sup> [8]. Selain dua penelitian diatas didapati juga penelitian mengenai model elemen hingga sederhana dan eksperimen tentang sifat tarik polimer poliester yang diperkuat kaca menghasilkan kekuatan tegangan maksimum dengan persentase dari campuran fiber 4CSM 32,8% pada ekperimental 62,526 MPa dan numerik 61,928 MPa. Pada campuran fiber 4WRC 34,2% dihasilkan tegangan hasil ekperimental 110,884 MPa dan simulasi 88,319 MPa, sedangkan pada campuran fiber 4WRC45 33,5% dihasilkan tegangan hasil ekperimental 93,308 MPa dan simulasi 78,695 MPa [9].

Berdasarkan peneltian sebelumnya mengenai analisa kekuatan material aluminium daur ulang dari bahan velg dan piston motor sebagai bahan komponen jendela kapal didapatkan hasil nilai tegangan 100% velg 247,02 MPa, 75% velg 25% piston 228,63 MPa, 50% velg 50% piston 234,81 MPa, 25% velg 75% piston 258,78 MPa, 100% piston 233,36 MPa [10]. Dengan adanya material baru dari daur ulang paduan aluminium velg dan piston motor, penulis melakukan kajian model numerik dari material daur ulang paduan aluminium velg dan piston motor yang bisa merepresentasikan keakuratan dari material campuran. Metode yang digunakan melibatkan perbandingan eksperimen dan simulasi. Model simulasi yang diusulkan akan diuji dan divalidasi dengan eksperimen memastikan bahwa definisi material atau karakteristik material yang dihasilkan akurat.

## 2. METODE

Pada penelitian ini menggunakan desain studi literatur. Studi literatur yang dilakukan adalah mendapatkan data uji tarik dari penelitian tugas

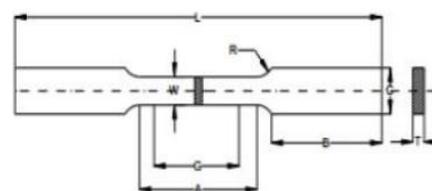
akhir mahasiswa sebelumnya. Data yang diperoleh dari penelitian tugas akhir mahasiswa sebelumnya menggunakan material paduan aluminium daur ulang velg dan piston dengan variasi 100% velg, 75% velg 25 % piston, 50% velg 50% piston, 25% velg 75% piston, dan 100% piston. Kandungan spesimen dari tiap variasi terlampir pada tabel 1. Geometri material menggunakan ASTM E8 terlampir pada gambar 1. Hasil uji tarik secara ekperimental didapati pada data yang terlampir pada tabel 2.

Pada penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan dari pengujian secara numerik pada nilai kekuatan tarik, elongasi, dan modulus elastisitas dibandingkan dengan pengujian secara ekperimental yang telah dilakukan oleh penelitian tugas akhir mahasiswa sebelumnya terlampir pada tabel 2.

Keterbatasan masalah penelitian ini dimanfaatkan sedemikian rupa agar pembahasan penelitian dapat terfokus pada pertanyaan yang diajukan dan tujuan yang diharapkan, sehingga pembahasan tidak menyimpang dari tujuan semula. Penelitian ini memiliki ruang lingkup permasalahan yaitu studi numerik uji tarik menggunakan simulasi Abaqus.

Tabel 1 Kandungan Komposisi Variasi Spesimen

Unsur	25%	75%	50%	100%	100%
	Velg 75%	Velg 25%	Velg 50%		
	Piston	Piston	Piston		
Si	11.79	10.66	9.78	13.24	9.46
Fe	0.61	0.37	0.37	0.54	0.36
Cu	1.07	0.44	0.60	1.17	0.21
Mn	0.07	0.09	0.02	0.10	0.02
Mg	0.63	0.33	0.51	0.63	0.24
Cr	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01
Ini	0.51	0.12	0.42	0.13	0.10
Zn	0.03	0.03	0.01	0.09	0.00
Ti	0.08	0.09	0.10	0.79	0.12
Pb	<0.00	<0.00	<0.00	0.01	<0.00
Sn	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
V	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Sr	<0.00	0.00	<0.00	0.00	0.00
Zr	0.00	0.00	0.00	0.00	<0.00
Co	0.00	<0.00	<0.00	0.00	<0.00
Ca	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Al	85.18	87.84	88.14	83.93	89.46



Gambar 1 Geometri Spesimen

Spesimen uji tarik yang digunakan memiliki gage length (G) sebesar 50 mm dengan panjang bagian reduksi (A) sepanjang 57 mm. Dimensi penampang pada bagian reduksi terdiri dari lebar (W) sebesar 12,5 mm dan tebal (T) sebesar 10 mm, sedangkan pada bagian transisi terdapat radius fillet (R) sebesar 12,5 mm. Secara keseluruhan, spesimen memiliki panjang total (L) 200 mm, dengan lebar bagian pegangan (C) sebesar 20 mm dan panjang bagian pegangan (B) sebesar 50 mm. Dimensi tersebut mengikuti standar spesimen uji tarik sehingga dapat merepresentasikan kondisi pengujian secara akurat.

Tabel 2 Hasil Uji Tarik Eksperimen

Variasi	$\sigma$ Max (MPa)	Regangan	Modulus Elastisitas (GPa)
100% Velg	241.732	13.09%	59.43
75% Velg			
25% Piston	244.607	11.09%	61.16
50% Velg			
50% Piston	249.650	11.57%	49.80
25% Velg			
75% Piston	223.894	13.50%	66.94
100% Piston	243.206	12.05%	70.13

Peralatan yang digunakan selama penelitian ini adalah satu perangkat laptop yang berfungsi sebagai pengerjaan simulasi, pembentukan gambar dan bahan, menyimpan dan mengolah data.

## 2.1 Model dan Material Properti

Geometri pengujian tarik dimodelkan berdasarkan standar pengujian ASTM E8 terlampir pada gambar 2.



Gambar 2 Model Simulasi Spesimen

Model desain material disesuaikan setiap ukuran pada model dengan perhitungan yang telah dilakukan. Material properti dan *plasticity* pada model disesuaikan dengan data hasil pengujian secara eksperimental, data terlampir pada tabel 3 dan tabel 4.

Tabel 3 Material Properti

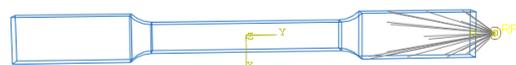
Variasi	Material Properties		
	Density (g/mm <sup>3</sup> )	Modulus Young	Poisson Rasio
100% Velg	0.0027	59432	0.33
75% Velg	0.0027	61159	0.33
25% Piston	0.0027	49801	0.33
50% Velg	0.0027	66943	0.33
50% Piston	0.0027	70130	0.33
25% Velg	0.0027		
75% Piston	0.0027		
100% Piston	0.0027		

Tabel 4 *Plasticity*

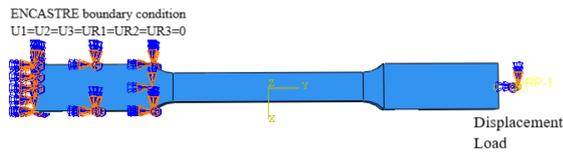
Variasi	No	Yield Stress (MPa)	Plastic Strain
	1	9.580838323	0
100% Velg	2	78.85766928	0.000438148
	3	95.80838323	0.034175551
	4	241.7319208	0.118738133
75% Velg	1	13.54244461	0
	2	78.8648245	0.000439492
25% Piston	3	97.18695544	0.040872588
	4	244.6067712	0.101082744
50% Velg	1	11.03896104	0
	2	56.04395604	0.000359583
50% Piston	3	97.65234765	0.028407048
	4	249.6503497	0.085940309
25% Velg	1	10.45556385	0
	2	77.66990291	0.000394664
75% Piston	3	96.34055265	0.037098429
	4	223.8939507	0.090378088
100% Velg	1	9.580838323	0
	2	62.64394288	0.000369634
100% Piston	3	100.2303086	0.043246845
	4	243.2058959	0.096843357

## 2.2 Load dan Boundary Condition

Pembebanan pada penelitian ini menggunakan *Displacement Load* untuk deformasi model. Pembebanan disimulasikan menggunakan pengaturan *displacement load*, dengan beban gaya sebesar 22 kN diterapkan pada titik referensi dan *boundary condition* diatur menggunakan *encastre* untuk membatasi wilayah kebebasan seluruh noda akan dibuat tetap sehingga tidak akan terjadi translasi dan rotasi terhadap seluruh sumbu yang ada.



Gambar 3 *Interaction Coupling*

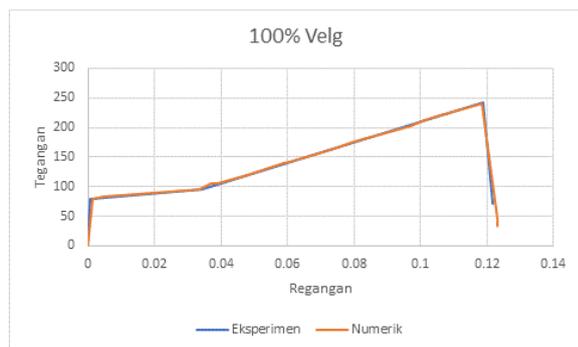


Gambar 4 Load dan Boundary Condition

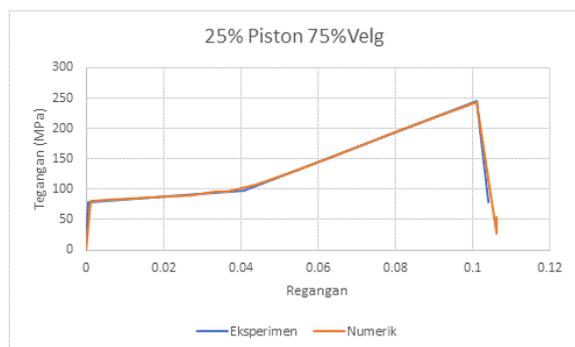
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Hasil Simulasi Numerik Uji Tarik

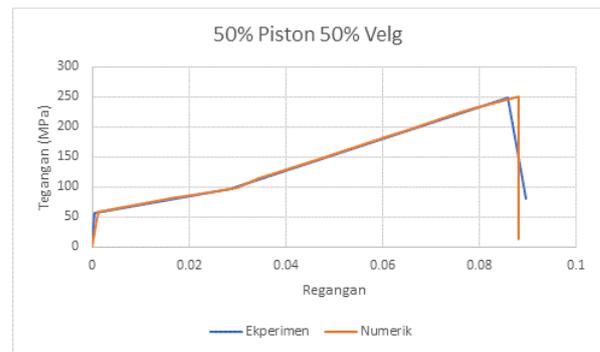
Hasil simulasi numerik uji tarik yang dilakukan dengan metode elemen hingga eksplisit dinamis menunjukkan evaluasi perilaku sifat mekanik, seperti kekuatan tarik maksimum (UTS), elongasi (ME), dan modulus elastisitas (MY). Nilai-nilai ini dibandingkan dengan hasil uji tarik eksperimen untuk menilai akurasi model numerik menggambarkan respon material terhadap beban tarik. Perbandingan hasil simulasi dan eksperimen terlampir pada tabel 5 sampai tabel 7 dan gambar 5 sampai gambar 9.



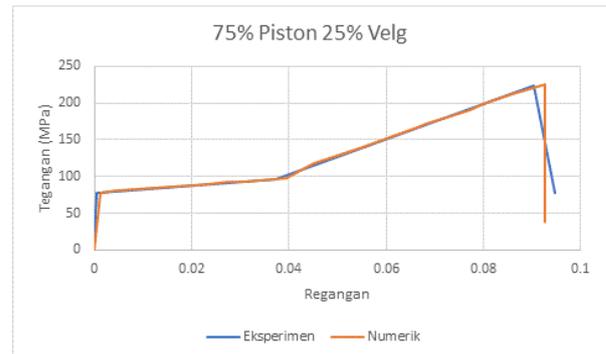
Gambar 5 Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen 100% Velg



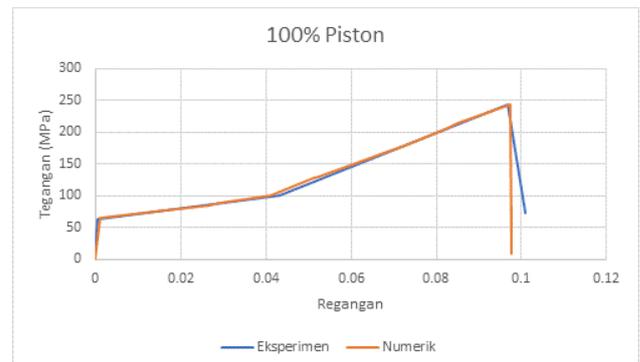
Gambar 6 Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen 25% Piston 75% Velg



Gambar 7 Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen 50% Piston 50% Velg



Gambar 8 Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen 75% Piston 25% Velg



Gambar 9 Grafik Perbandingan Simulasi dan Eksperimen 100% Piston

Tabel 5 Perbandingan Kekuatan Tarik

Variasi	Kekuatan Tarik Maksimum (MPa)		
	Eksperimen	Simulasi	Error
100% Velg	241.732	240.393	0.55%
75% Velg	244.607	244.096	0.21%
25% Piston	249.650	250.604	0.38%
50% Velg	223.894	225.822	0.86%
50% Piston	243.206	244.399	0.33%
25% Velg			
75% Piston			
100% Piston			

Dari hasil perbandingan pengujian tarik pada tabel 5 hasil simulasi kekuatan tarik maksimum

memiliki kesesuaian yang baik dengan eksperimen. *Error* perbandingan tiap variasi spesimen antara 0.21% sampai 0.86%. rentang *error* menunjukkan model simulasi cukup akurat.

Tabel 6 Perbandingan Elongasi

Variasi	Elongasi (mm)		
	Eksperimen	Simulasi	<i>Error</i>
100% Velg	9.988	10.089	1.01%
75% Velg	8.437	8.612	2.03%
25% Piston			
50% Velg	7.252	7.142	1.55%
50% Piston			
25% Velg	7.767	7.597	2.18%
75% Piston			
100% Piston	7.844	7.909	0.83%

Perbandingan hasil elongasi simulasi dengan eksperimen pada tabel 6 memiliki kesesuaian yang baik. *Error* perbandingan simulasi dengan eksperimen memiliki rentang 0.83% sampai 2.18%. rentang *error* menunjukkan model simulasi untuk elongasi cukup akurat.

Tabel 7 Perbandingan Modulus Elastisitas

Variasi	Modulus Elastisitas (GPa)		
	Eksperimen	Simulasi	<i>Error</i>
100% Velg	59.43	56.94	4.19%
75% Velg	61.16	63.33	3.43%
25% Piston			
50% Velg	49.80	47.54	4.55%
50% Piston			
25% Velg	66.94	69.82	4.30%
75% Piston			
100% Piston	70.13	67.40	3.90%

Perbandingan hasil modulus elastisitas simulasi dengan eksperimen pada tabel 7 memiliki kesesuaian yang cukup baik. *Error* perbandingan simulasi dengan eksperimen memiliki rentang 3.43% sampai 4.55%. Rentang *error* menunjukkan model simulasi untuk modulus elastisitas cukup akurat.

### 3.2. Analisis Korelasi Sifat Mekanik

Analisis hubungan sifat mekanik antara eksperimen dan simulasi menggunakan korelasi pearson(*r*). Korelasi pearson berfungsi mengukur kekuatan hubungan linear dua variabel dengan hasil koefisien korelasi antara 0 – 1. Data yang digunakan untuk perhitungan korelasi dapat dilihat

pada tabel 5 sampai tabel 7. Hasil perhitungan disajikan pada tabel 8.

Tabel 8 Matriks Korelasi Pearson

		Simulasi		
		Kekuatan Tarik Maks	Elongasi	Modulus Elastisitas
Eksperimen	Kekuatan Tarik Maks	0.9985	0.7585	0.6325
	Elongasi	0.6473	0.9724	0.9264
	Modulus Elastisitas	0.4363	0.7532	0.9538

Analisis korelasi Pearson memberikan informasi kuantitatif tentang seberapa baik model simulasi merepresentasikan hubungan linier antara sifat mekanik yang diuji.

- Korelasi Eksperimen vs. UTS Simulasi ( $r = 0.9985$ ): Nilai korelasi mendekati 1 ini menunjukkan korelasi positif yang sangat kuat antara UTS eksperimen dan UTS simulasi.
- Korelasi ME Eksperimen vs. ME Simulasi ( $r = 0.9724$ ): Nilai korelasi yang sangat tinggi ini menunjukkan korelasi positif yang sangat kuat antara ME eksperimen dan ME simulasi.
- Korelasi MY Eksperimen vs. MY Simulasi ( $r = 0.9538$ ): Nilai korelasi yang sangat tinggi ini menunjukkan korelasi positif yang sangat kuat antara MY eksperimen dan MY simulasi.
- Korelasi Silang (*Cross-Correlations*): Korelasi antara sifat yang berbeda antara eksperimen dan simulasi memberikan informasi tentang bagaimana model merepresentasikan hubungan antar sifat. Interpretasi yang lebih detail adalah sebagai berikut:
  - UTS Eksperimen vs ME Simulasi ( $r = 0.7585$ ): Korelasi positif yang cukup kuat ini menunjukkan bahwa model cukup baik dalam merepresentasikan hubungan antara UTS dan ME. Artinya, ketika UTS pada eksperimen meningkat, model simulasi memprediksi peningkatan ME, meskipun tidak selalu dalam proporsi yang sama persis.
  - UTS Eksperimen vs. MY Simulasi ( $r = 0.6325$ ): Korelasi positif sedang ini menunjukkan adanya hubungan antara UTS dan MY, tetapi tidak sekuat hubungan antara UTS dan ME. Artinya, perubahan pada UTS eksperimen mempengaruhi MY pada simulasi, tetapi pengaruhnya tidak terlalu dominan.
  - ME Eksperimen vs. UTS Simulasi ( $r = 0.6473$ ): Korelasi positif sedang ini menunjukkan bahwa perubahan ME pada eksperimen juga tercermin pada perubahan

UTS pada simulasi, meskipun hubungannya tidak terlalu kuat.

- ME Eksperimen vs. MY Simulasi ( $r = 0.9264$ ): Korelasi positif yang sangat kuat ini menunjukkan bahwa model sangat baik dalam merepresentasikan hubungan antara ME dan MY. Artinya, perubahan ME pada eksperimen sangat baik diprediksi oleh perubahan MY pada simulasi.
- MY Eksperimen vs. UTS Simulasi ( $r = 0.4363$ ): Korelasi positif yang lemah ini menunjukkan bahwa hubungan antara MY eksperimen dan UTS simulasi tidak terlalu kuat. Ini merupakan korelasi silang yang paling lemah di antara yang dianalisis. Hal ini mengindikasikan bahwa model kurang baik dalam merepresentasikan hubungan spesifik ini. Kemungkinan, ada faktor-faktor lain yang mempengaruhi hubungan antara MY dan UTS yang belum sepenuhnya tertangkap oleh model.
- MY Eksperimen vs. ME Simulasi ( $r = 0.7532$ ): Korelasi positif yang cukup kuat ini menunjukkan bahwa model cukup baik dalam merepresentasikan hubungan antara MY dan ME.

#### 4. KESIMPULAN

Simulasi uji tarik menggunakan metode elemen hingga telah dilakukan. Dalam hal ini, simulasi dimodelkan sesuai dengan pengujian secara eksperimental serta berdasarkan ASTM E8. Model simulasi yang digunakan dalam penelitian ini mampu memprediksi sifat mekanik material daur ulang paduan aluminium velg dan piston dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Hal ini ditunjukkan oleh nilai eror yang rendah antara hasil eksperimen dan simulasi untuk semua sifat mekanik yang diuji, yaitu kekuatan tarik maksimum (UTS), elongasi (ME), dan modulus elastisitas (MY) memiliki eror kurang dari 5% sehingga hubungan korelasi antar sifat mekanis cukup tinggi antara hasil eksperimen dan simulasi yaitu kekuatan tarik maksimum (UTS) eksperimen dengan kekuatan tarik maksimum (UTS) simulasi memiliki nilai korelasi pearson ( $r$ ) = 0.9985, elongasi (ME) eksperimen dengan pertambahan elongasi (ME) memiliki nilai korelasi pearson ( $r$ ) = 0.9724, dan modulus elastisitas (MY) eksperimen dengan modulus elastisitas (MY) simulasi memiliki nilai korelasi pearson ( $r$ ) = 0.9538.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. A. R. S. Hasibuan, *METODE NUMERIK UNTUK ANALISIS STRUKTUR GEDUNG DAN MATERIAL*, 1 ed. Mojokerto: Insight Mediatama, 2024.
- [2] D. Raabe *dkk.*, "Making sustainable aluminum by recycling scrap: The science of 'dirty' alloys," *Prog Mater Sci*, vol. 128, hlm. 100947, Jul 2022, doi: 10.1016/J.PMATSCI.2022.100947.
- [3] D. L. Zariatn, R. M. Kurniawan, dan N. Ikhsan, "Pengembangan alat uji tarik dengan beban maksimal 2 kN," *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 11, no. 2, hlm. 96–106, Okt 2021, doi: 10.29303/dtm.v11i2.371.
- [4] Y. B. Pratiknyo dan S. Candra, "METODE PENGUKURAN TEGANGAN DAN REGANGAN MENGGUNAKAN CAD/CAM/CAE SOFTWARE; STUDY KOMPARASI DENGAN UNIVERSAL TESTING MACHINE," dalam *SEMINAR NASIONAL OTOMASI II*, Bandung, Des 2004.
- [5] E. Y. Kurniawan, B. S. Umniati, dan K. Karyadi, "Penambahan Bambu Bulat Pada Balok Beton Pracetak Menggunakan Software Berbasis Elemen Hingga," *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, vol. 12, no. 1, hlm. 23–36, Jan 2024, doi: 10.33558/bentang.v12i1.7252.
- [6] M. Anwar, R. Ridwan, dan E. Yuniarto, "Analisis Elemen Hingga Terhadap Perilaku Balok Beton Bertulang Yang Diperkuat Dengan Menggunakan Metode Deep Embedment," *Journal of Infrastructure and Construction Technology*, vol. 1, no. 1, hlm. 10–19, Apr 2023, doi: 10.56208/jictech.1.1.10-19.
- [7] D. Darianto, A. Siregar, B. Umroh, dan D. Kurniadi, "MECHANICAL STRENGTH SIMULATION OF COCONUT SHELL COMPOSITE MATERIAL USING FINITE ELEMENT METHOD," *JMEMME (Journal of Mechanical*

*Engineering, Manufactures, Materials and Energy*), vol. 3, no. 1, hlm. 39–44, Jul 2019, doi: 10.31289/jmemme.v3i1.2443.

- [8] A. R. Nasution dan E. Widodo, “Numerical Analysis of Low Carbon Steel Tensile Strength Using Software (SolidWorks),” *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal*, vol. 7, no. 1, hlm. 1–6, Apr 2022, doi: 10.21070/r.e.m.v7i1.1629.
- [9] A. F. Zakki dan A. Windyandari, “Simplified FE model and experimental study on the tensile properties of the glass fiber reinforced polyester polymer,” *Heliyon*, vol. 8, no. 10, Okt 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e10999.
- [10] B. S. Nugroho, U. Budiarto, dan Kiryanto, “Analisa Kekuatan Material Aluminium Daur Ulang Dari Bahan Velg dan Piston Motor sebagai Bahan Komponen Jendela Kapal,” *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 10, no. 2, 2022.