

Pengembangan Mesin Uji Tarik Kapasitas Kecil Untuk Peraga Pendidikan

Development of a Small-Capacity Tensile Testing Machine for Educational Demonstration

Paryana Puspaputra¹, Hendra Setiawan^{2*}, Arif Rahman Hakim³

^{1,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri,

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri,
Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584, Indonesia

*Corresponding author: hendra.setiawan@uii.ac.id

ABSTRAK

DOI:
[10.30595/jrst.v9i2.26246](https://doi.org/10.30595/jrst.v9i2.26246)

Histori Artikel:

Diajukan:
01/04/2025

Diterima:
07/08/2025

Diterbitkan:
08/09/2025

Permasalahan utama dalam pengujian material komposit dan plastik di lingkungan pendidikan adalah keterbatasan mesin uji tarik konvensional yang berukuran besar, tidak portabel, dan kurang sesuai untuk pembelajaran. Penelitian ini bertujuan mengembangkan mesin uji tarik kapasitas kecil yang portabel, dilengkapi sistem kendali berbasis PLC dan antarmuka HMI, serta fitur pencatatan data (data logging) untuk keperluan peraga pendidikan dan uji komposit. Metode yang digunakan mencakup perancangan mekanik dan elektronik, integrasi sensor perpindahan ± 25 mm dan load-cell 1 ton, serta pemrograman HMI Monitouch untuk ekstraksi data berbasis USB. Pengujian dilakukan pada dua spesimen material—PLA dan aluminium—dengan dimensi sesuai standar ASTM D638. Hasil menunjukkan mesin mampu mencatat kekuatan maksimum hingga 60,2 kgf dan regangan hingga 6,5 mm, dengan kecepatan penarikan 0,29–4,02 mm/s dan resolusi pencatatan 0,01 mm. Mesin uji tarik ini menunjukkan potensi besar sebagai alat peraga pendidikan yang sederhana dan efektif untuk mendukung pembelajaran teknik material dan pengujian material ringan secara mandiri dan terjangkau.

Kata Kunci: Mesin Uji Tarik Portabel; Uji Komposit; Peraga Kelas; UTM; Uji Tarik Sederhana

ABSTRACT

The tensile testing machine is a device used to characterize the mechanical properties of materials. Most tensile testing machines currently available are designed for high-capacity applications, such as testing metals and concrete, making them less suitable for testing composite and plastic materials. Therefore, a small-capacity tensile testing machine that is more flexible and efficient is needed for testing and educational purposes. This study aims to develop and improve the performance of a small-capacity tensile testing machine by enhancing its control system and human interface. Improvements include increasing the displacement sensor sensitivity from 200 mm to 50 mm, using a load cell with a more appropriate capacity (reduced from 2 tons to 1 ton), and adding a data logging feature via USB in text format. The test results indicate that the developed system is capable of performing tensile tests in accordance with ASTM D638 standards, with higher accuracy compared to the previous version. The implementation of the new control system also enables better data recording, thereby enhancing the machine's reliability as a tool for education and research.

Keywords: Portable Tensile Testing Machine; Composite Testing; Classroom Demonstration; UTM; Simple Tensile Test

1. PENDAHULUAN

Pengujian tarik (*tensile test*), digunakan untuk mendapatkan informasi mengenai kekuatan tarik, *yield strength*, deformasi plastis, dan *ultimate strength* [1]. Pengujian ini penting untuk memahami perilaku mekanik berbagai material, termasuk material berbasis polimer dan komposit, yang semakin banyak digunakan dalam industri modern [1].

Mesin uji tarik umumnya dirancang untuk pengujian material sangat kuat seperti logam dan beton. Mesin-mesin ini berukuran besar, memiliki kapasitas tinggi, sehingga sulit dipindahkan.

Kapasitasnya yang sangat besar membuatnya juga tidak sesuai untuk pengujian material komposit dan plastik yang ringan. Pengujian material komposit memiliki metode dan standar tersendiri, seperti ASTM D3039/D3039M-08, yang digunakan untuk menentukan sifat tarik material komposit berbasis polimer [2][3].

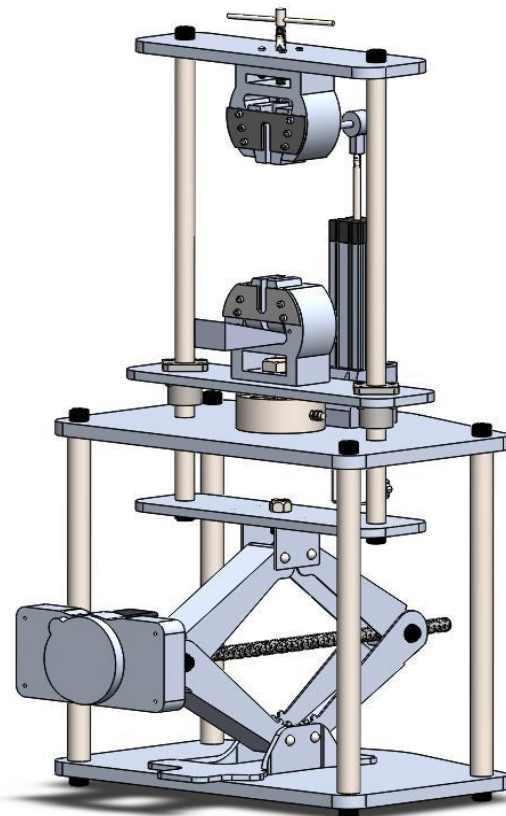
Dalam konteks pendidikan, alat peraga yang kompak dan mudah dioperasikan sangat dibutuhkan agar mahasiswa dapat mengamati pengujian secara langsung dan memahami sifat mekanik material dengan lebih baik [4].

Material komposit memiliki keunggulan karena kombinasi sifat mekanik yang unik, termasuk kekuatan spesifik yang tinggi dan ketahanan terhadap kelelahan yang lebih baik [1].

Struktur komposit memungkinkan optimalisasi performa mekanik dengan berat yang lebih ringan dibandingkan logam konvensional [1][6]. Oleh karena itu, untuk menguji material ini dengan akurat, diperlukan mesin uji tarik yang dapat bekerja dengan rentang beban yang lebih kecil, sensor dengan sensitivitas tinggi, serta sistem kendali yang lebih canggih [4][5].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan mesin uji tarik berkapasitas kecil untuk keperluan pendidikan dan penelitian material komposit (Perhatikan **Gambar 1**) [4][5]. Pada penelitian tersebut terdapat beberapa keterbatasan dalam desain, seperti kurangnya sensitivitas sensor perpindahan, keterbatasan sistem penyimpanan data, serta kurang keefektifan sistem kendali dan antarmuka pengguna (*human interface*) [5]. Selain itu untuk material yang kuat masih terjadi slip pada bagian pemegang sehingga benda uji bisa terlepas. *Research gap* ini menunjukkan perlunya pengembangan alat uji tarik kapasitas kecil yang dilengkapi sistem kendali dan antarmuka pengguna modern.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan mesin uji tarik portabel yang sesuai untuk pengujian material ringan dan kebutuhan edukasi, dengan kontribusi utama berupa: (1) pengembangan sistem kendali berbasis PLC dan HMI, (2) integrasi fitur data logging dan ekstraksi data berbasis USB, dan (3) perbaikan desain gripper untuk meningkatkan kestabilan dan keandalan hasil uji tarik.



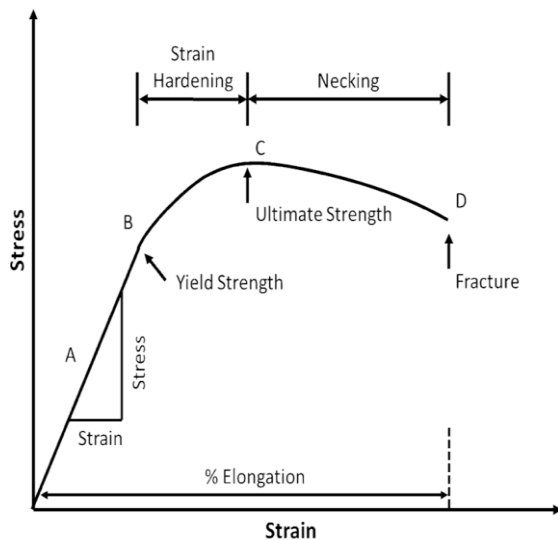
Gambar 1. Mesin Uji Tarik hasil penelitian sebelumnya [4][5]

2. TEORI

Berikut merupakan hal-hal yang mendasari pengembangan peralatan uji tarik yang dilaksanakan.

2.1. *Tensile Test*

Pengujian tarik bertujuan untuk memperoleh informasi mengenai kekuatan tarik, *yield strength*, keuletan material dan sebagainya [1]. Dari hasil uji tarik sebagaimana tampak pada **Gambar 2**, informasi material dapat diketahui, dan dimanfaatkan baik pada kegiatan perencanaan, proses pembentukan maupun pemesinan. Data pengujian logam dapat dimanfaatkan untuk analisis kekuatan struktur, perancangan dan strategi pemesinan dan pemilihan pahat, serta analisis pembentukan seperti *rolling*, *forging*, *forming* dan sebagainya [1][4][5].



Gambar 2. Diagram Stress vs Strain

2.2. Programmable Logic Control (PLC)

Programmable Logic Control (PLC) adalah sistem kendali berbasis logika yang terdiri dari beberapa input dan output yang melakukan pengganti relay dan switch untuk mengontrol mesin [6].

PLC memiliki fungsi utama sebagai pengendalian dan fungsi tambahan yang dalam penelitian ini digunakan yaitu ADC (Analog to Digital) yang digunakan sebagai penerima sinyal hasil pengukuran dari sensor [6][7].

ADC dapat menerima sinyal masukan berupa tegangan DC 0-10 volt maupun arus 4-20mA [7].

2.3. Computer Aided Design (CAD)

Computer Aided Design (CAD) merupakan perangkat lunak untuk membantu dalam visualisasi desain, pembuatan, modifikasi, analisis, dan optimalisasi [8][9]. Sementara itu CAD oleh Parametric Technology Corporation didefinisikan juga sebagai cara untuk membuat gambar model dua atau tiga dimensi secara digital dari sebuah produk nyata sebelum dibuat. Dengan model digital model dapat dibagikan ke pengguna lain, dianalisis dan dilakukan perubahan desain dengan mudah dan bisa memasuki pasar lebih awal [9].

Perangkat CAD yang ada di pasar, terutama CAD untuk engineering, memiliki fitur yang disebut parametrik. Fitur ini memungkinkan dibuatnya hubungan matematik antara satu fitur dengan yang lain dalam bentuk persamaan antara dimensi satu terhadap yang lain, sehingga perubahan dapat mudah dilakukan dengan tetap menjaga hubungan satu ukuran terhadap yang lain [10].

Fasilitas parametrik membuat aktifitas perancangan menjadi lebih mudah pada saat diperlukan modifikasi model. Lebih lanjut analisis kekuatan bahan dan prediksi perubahan dimensi akibat bekerjanya gaya-gaya selama mesin bekerja dapat diperkirakan dengan memanfaatkan fasilitas *stress analysis* atau analisis tegangan. [11][12].

2.4. Pencekam (Gripper)

Sebagaimana tampak pada Gambar 3, klem atau *gripper* adalah alat bantu yang berguna untuk menahan atau mencekam suatu benda kerja dengan kuat. Pencekam dapat dikategorikan menjadi empat kelompok yaitu *one side clamping*, *two side clamping*, *centered clamping*, dan *self-clamping* [13].



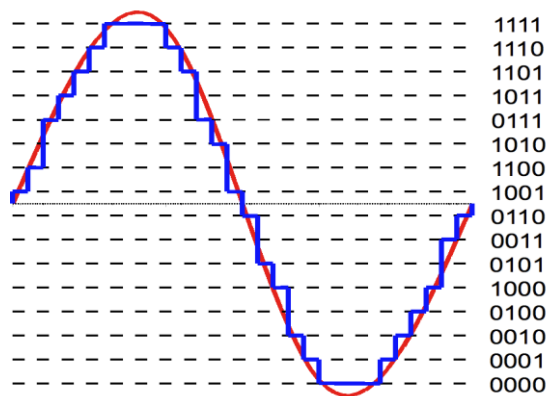
Gambar 3. Self-Clamping Gripper

Mekanisme *self-clamping* yang digunakan pada penelitian sebelumnya memiliki masalah pada kekuatan *gripper* dalam memegang benda uji. [4][5][13]. Pada material yang kuat pencekaman kurang kuat sehingga benda uji terlepas sebelum adanya kegagalan (putus).

2.5. Akuisisi Data

Akuisisi data merupakan sistem yang menangani proses memperoleh sinyal berdasarkan kondisi fisik dan mengubah sinyal tersebut menjadi nilai digital yang dapat digunakan oleh pengguna [14][15].

Sebelum proses data akuisisi berlangsung terdapat proses yang dinamakan *analog to digital converter* atau dapat disingkat ADC. Proses ini merubah nilai sinyal analog yang berbentuk *wave*/gelombang kedalam bentuk *bit* yang dapat dibaca dan diproses oleh computer [16] (lihat Gambar 4).



Gambar 4. Sinyal Analog to Digital

Tergantung pada ukuran *bit* yang digunakan oleh ADC, semakin besar ukurannya maka pembacaan akan semakin sensitif. Sebagai contoh jika ADC berukuran 4 bit maka sinyal 0-10 volt akan dibagi menjadi 16 data, 0 menyatakan sinyal yang masuk 0 volt sementara jika sinyal yang masuk bernilai 10 ADC akan memunculkan nilai 16 (lihat Gambar 4).

Untuk data akuisisi ini hal penting untuk diperhatikan adalah kecepatan perubahan data atau sinyal masuk. Hal tersebut sangat tergantung pada kecepatan konversi sinyal analog menjadi digital, yaitu waktu yang diperlukan oleh ADC untuk menyelesaikan perubahan sinyal analog ke dalam nilai digitalnya. [15][16].

Hal lain yang juga perlu diperhatikan adalah waktu pengambilan sampel data (*sampling time*), yaitu waktu yang digunakan untuk mengambil data digital di memori penyimpanan data setelah konversi dari analog ke digital [16]. Untuk sinyal dinamik, parameter ini sangat penting dan tidak boleh salah karena dapat mengubah bentuk sinyal yang masuk (*aliasing*) [17].

2.6. Data Logging & Ekstraksi

Data logging dan data ekstraksi merupakan proses yang mengumpulkan dan merekam data dari sensor dengan tujuan untuk pengarsipan atau analisis data mandiri (*custom*) [18]. Proses ini merupakan fitur yang tersedia dalam HMI HAKKO Monitouch yang memungkinkan untuk melakukan transfer data yang telah dikumpulkan ke dalam perangkat eksternal [19][20] yang kemudian dapat diproses sesuai dengan kebutuhan.

Penyimpanan dalam bentuk data teks memungkinkan pengguna untuk mengolah data ataupun menyajikannya pada grafik yang dapat mudah dipahami.

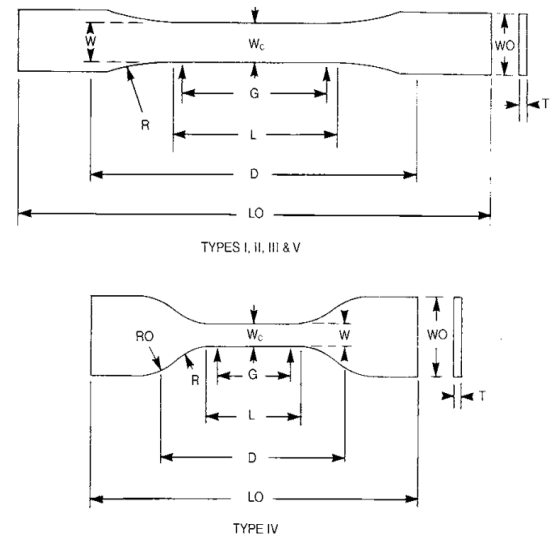
2.7. Human Machine Interface (HMI)

Human Machine Interface (HMI) merupakan tampilan yang memberikan bantuan bagi pengguna untuk berkomunikasi antara mesin dengan manusia yang memberikan visualisasi keadaan mesin, kontrol mesin, dan peringatan suara [14][19][20].

Hal-hal yang menjadi penting dalam perencanaan HMI adalah warna, tampilan, komunikasi dan sebagainya. Sederhana dan mudah dipahami oleh pengguna merupakan kriteria penting HMI. Pemilihan warna, ukuran huruf, dan gambar yang tidak akan menghambat unjuk kerja peralatan meskipun memiliki spesifikasi teknik yang sangat bagus [14].

2.8. ASTM D638

ASTM D638 merupakan standar pengujian tarik yang dikeluarkan oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Untuk D638 tersebut dimensi benda uji yang disyaratkan adalah sebagaimana tampak pada Gambar 5. [2][3][4].



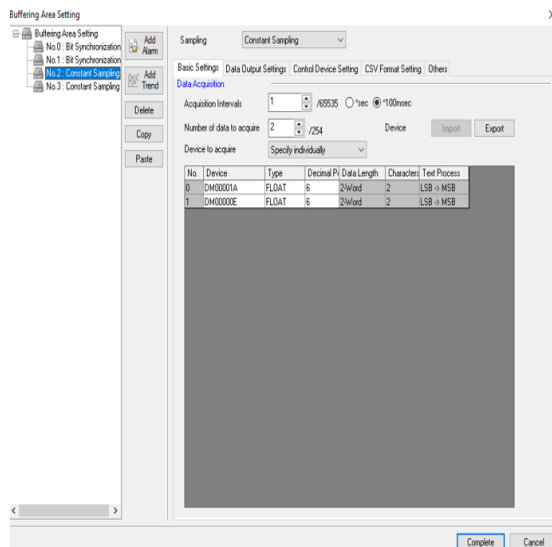
Gambar 5. Dimensi Standard ASTM D638

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perancangan Data Logging & Ekstraksi

Sebelum melakukan perancangan *data logging* & ekstraksi, perlu dilakukan penambahan grafik dengan fungsi *historical graph*. Penambahan grafik ini (lihat pada Gambar 6) dilakukan karena penggunaan *real time graph* pada penelitian sebelumnya tidak memungkinkan [4].

Data logging & ekstraksi dapat diprogram melalui HMI Monitouch dengan cara memanfaatkan memori internal pada perangkat tersebut (lihat Gambar 6) [20].



Gambar 6. Pengaturan Data logging & Ekstraksi

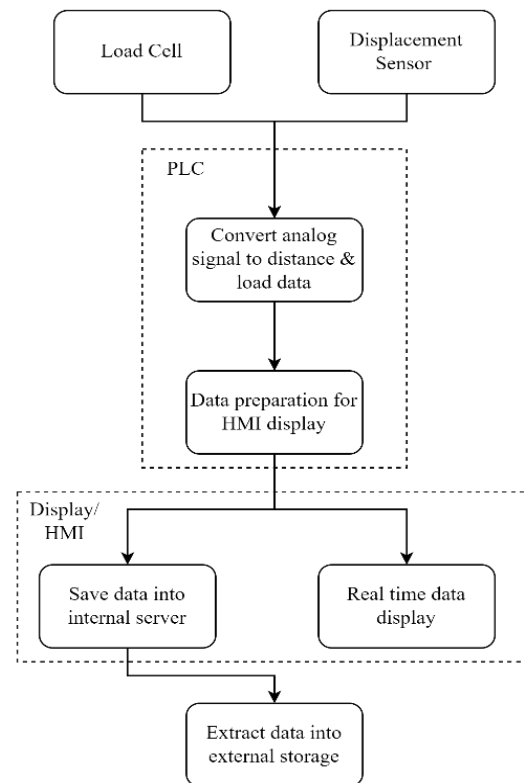
Sebelum melakukan program *data logging* & ekstraksi perlu menyamakan penggunaan sistem bilangan pada sistem *addressing* [20]. Sebagai contoh, pada PLC menggunakan tipe data *decimal* sedangkan data pada HMI menggunakan *hexa-decimal*. Untuk penulisan alamat yang sama, tujuannya akan berbeda. Misalnya 11 pada hexa-desimal akan dimaknai sebagai 17 pada desimal, akibatnya alamat data yang dibaca akan berbeda. Kesalahan demikian tentu saja tidak boleh terjadi.

Terdapat 2 data yang disimpan pada memori internal HMI yaitu data jarak dan data beban. Interfala *data logging* disimpan setiap 100 mili detik atau 0,1 detik agar mendapatkan pembacaan data yang baik pada saat spesimen putus.

Sistem data ekstraksi pada perangkat ini memungkinkan data pengujian diekstrak dengan format .CSV dengan cara membubuhkan tombol dengan pengaturan fungsi "*storage removal*" dan membuat program *macro* dengan fungsi untuk melakukan transfer data ke perangkat USB[20].

Terdapat beberapa tahapan (lihat **Gambar 7**) yang terjadi sebelum data dapat disimpan dan diekstrak kedalam perangkat USB. Data yang dibaca oleh sensor beban dan jarak akan di transfer ke PLC untuk dilakukan proses ADC dan proses konversi dari sinyal ke data jarak dan beban.

Setelah data yang sudah diproses oleh PLC akan dibaca oleh display / HMI yang akan menampilkan dalam bentuk grafik dan angka serta menyimpan data tersebut kedalam memori internalnya sebelum proses ekstraksi data.



Gambar 7. Alur Data Acquisition, Data Logging dan Data Display

3.2. Perancangan Gripper

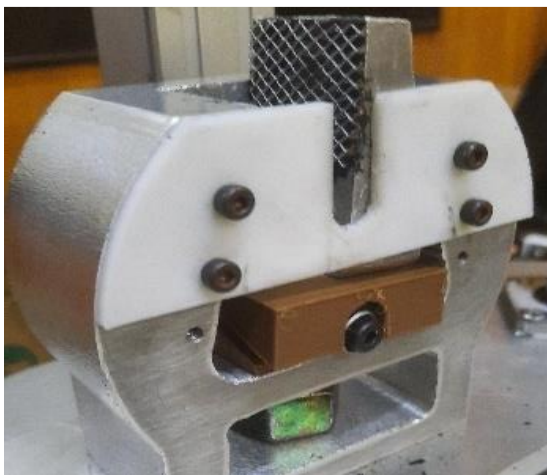
Gripper pada mesin pengujian merupakan komponen sensitif yang dapat menimbulkan gangguan pada hasil pengujian. Pada penelitian sebelumnya terdapat beberapa kekurangan yaitu cengkraman yang kurang kuat yang mengakibatkan spesimen yang selip [4][5].

Slip pada grip ini diakibatkan oleh kurangnya gesekan antara permukaan gripper dan spesimen. Gaya gesek merupakan gaya yang terjadi pada dua benda yang bergerak relatif [13][21]. Besar atau kecil gaya gesek yang terjadi dipengaruhi oleh kekasaran, kekerasan, dan gaya normal yang terjadi. Gaya gesek akan berbanding lurus dengan ketiga faktor tersebut [21].

Unjuk kerja gaya gesek ini sangat penting pada proses pengekaman benda uji. Kurangnya gaya gesek menyebabkan terlepasnya benda uji, sementara jika terlalu kuat bisa merusak benda uji, sehingga benda uji kerusakan terjadi bukan karena penarikan, namun karena rusak di lokasi pemegangan karena pengekaman yang berlebihan. Gesekan ini dapat ditingkatkan dengan cara meningkatkan kekasaran permukaan gripper dan meningkatkan gaya jepit pada saat gripper menjepit spesimen [21].

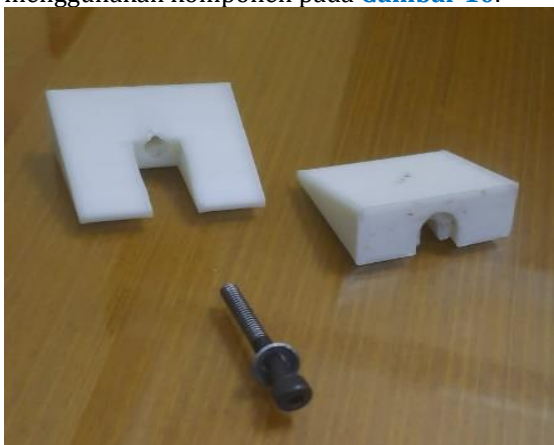


Gambar 8. Gripper Atas



Gambar 9. Gripper Bawah

Kekasaran permukaan *gripper* diperbaiki dengan melapisi permukaan dengan aluminium *wire mesh* yang direkatkan pada *gripper* (lihat Gambar 8 dan Gambar 9). Karena bentuk gripper dan ruangan minimal, gaya jepit *gripper* dapat dilakukan dengan mekanisme tirus. Untuk *gripper* bagian bawah peneliti menggunakan komponen pada Gambar 10.



Gambar 10. Sistem Pengunci Gripper Bawah

Pembuatan komponen ini dilakukan dengan 3D print plastik dengan material ABS dengan menggunakan infill 100%. Sedangkan pada *gripper* bagian atas menggunakan mekanisme ulir untuk mendorong gripper.

3.3. Hasil Pengujian

Terdapat dua pengujian yang dilakukan pada pengujian ini dengan tujuan yang berbeda, pengujian pertama merupakan pengujian kecepatan motor listrik dengan tujuan untuk mendapatkan data kecepatan penarikan pada tegangan motor tertentu.

Proses pengujian dilakukan dengan cara memberikan tegangan kepada motor sebesar 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, dan 12 volt. Motor dijalankan selama 5 detik dengan tegangan listrik yang sudah ditentukan, Pengujian dilakukan minimal dua kali pengulangan pada setiap tegangannya.

Data kecepatan dapat diambil dari data sensor jarak yang dibagi dengan waktu pengujian berlangsung dan mendapatkan data kecepatan penarikan dengan motor listrik dengan satuan milimeter per seconds (mm/s).

Pengujian kedua ini ditujukan untuk melihat hasil dari perubahan dan penambahan kemampuan pada program pengendalian, program HMI monitouch, sistem *data logging*, dan sistem ekstraksi data yang dilakukan pada penelitian ini.

Proses pengujian menggunakan dua spesimen material uji dengan spesifikasi dimensi ASTM D638 yang di tarik hingga putus. Pengujian pertama dilakukan dengan material spesimen 3D Print PLA dengan *infill* 100 % yang memiliki ketebalan 5 mm, spesimen kedua yang digunakan merupakan material aluminium dengan ketebalan 2 mm.

3.3.1. Hasil Pengujian Kecepatan Penarikan

Dalam pengujian ini mendapatkan hasil seperti pada Tabel 1. Data kecepatan penarikan sangat penting karena dalam pengujian berstandarisasi memiliki spesifikasi yang harus diikuti dalam pengujian baik pengujian tarik, lentur, tekan, dan pengujian lainnya.

Tabel 1. Perbandingan Tegangan dan Kecepatan Motor

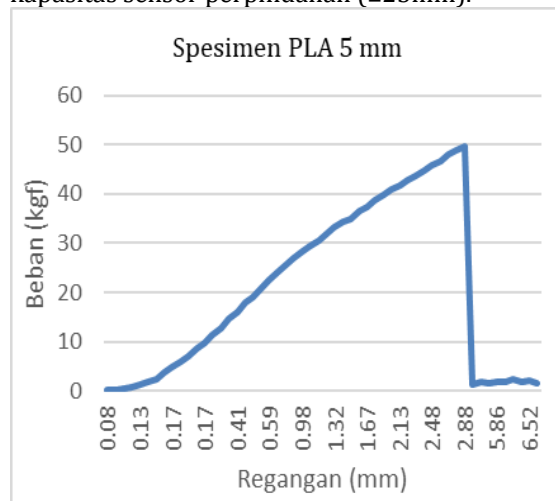
Tegangan (Volt)	Kecepatan (mm/s)
1,08	0.29
2,01	0.59
3,06	0.88
4,1	1.12
6,01	1.80
8,06	2.42
10,08	2.77
11,92	4.02

3.3.2. Hasil Pengujian Tarik

Pengujian tarik pada penelitian ini digunakan untuk menguji tampilan pada HMI dan validasi visual grafik pengujian tarik.

Keberanian data uji tarik belum bisa dinyatakan *valid* karena kalibrasi *load-cell* belum bisa dilakukan. Hal demikian karena belum memungkinkannya pembebanan bertahap yang presisi sesuai kapasitas *load-cell* (1 ton).

Kalibrasi sensor perpindahan yang presisi dilakukan dengan menggunakan blok ukur presisi dengan perubahan sepanjang kapasitas sensor perpindahan (± 25 mm).

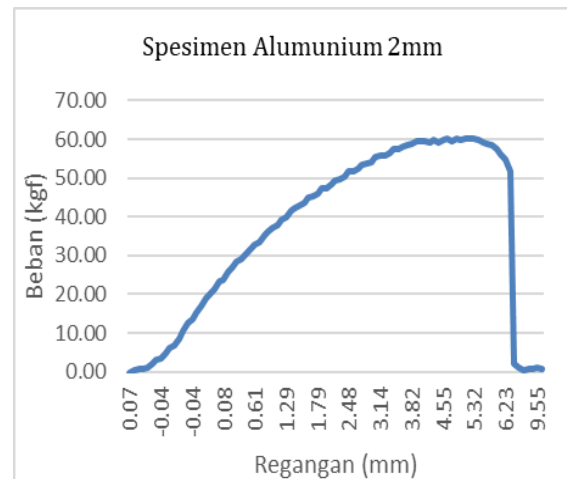


Gambar 11. Grafik Pengujian dengan Spesimen PLA 5 mm

Pengujian pertama digunakan material PLA dengan *infill* 100%, dilakukan dengan memberikan tegangan motor 3 volt dan menghasilkan kecepatan penarikan 0,88 mm/s. Pengujian dilakukan hingga spesimen PLA (Gambar 11) putus dengan waktu 5,7 detik.

Untuk pengujian ini pengambilan data dilakukan setiap 100 msec dan mendapatkan 58 data. Pada sisi pembacaan beban, pengujian ini mencatat data beban tertinggi sebesar 49,6 kgf dan regangan tertinggi mencapai 2,9 mm sebelum putus.

Pengujian selanjutnya menggunakan material aluminium (Gambar 12) dengan tegangan dan kecepatan motor yang sama seperti pengujian pertama dan dilakukan hingga spesimen putus. Pengujian berlangsung selama 8,3 detik, pengambilan data diambil tiap 100 msec, dan mendapatkan 87 unit data. Dalam pengujian ini mendapatkan beban tertinggi yang dibaca sensor beban mencapai 60,2 kgf dengan regangan tertinggi sebelum putus mencapai 6,5 mm.



Gambar 12. Grafik Pengujian dengan Spesimen Aluminium 2 mm

Pada kedua grafik pengujian spesimen PLA dan aluminium terdapat pergerakan data yang landai pada bagian awal, hal ini dikarenakan fase adaptasi gesekan pada *gripper* yang membuat *gripper* belum mengunci secara sempurna. Setelah *gripper* melewati masa adaptasi, *gripper* akan mengunci dengan sempurna.

4. SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan mesin uji tarik kapasitas kecil yang dirancang untuk kebutuhan peraga pendidikan dan pengujian material ringan. Sistem yang dikembangkan mampu menampilkan grafik pengujian tarik sesuai standar ASTM D638 dengan kekuatan tarik maksimum yang tercatat sebesar 60,2 kgf dan resolusi pencatatan data sebesar 0,01 mm. Fitur data logging yang terintegrasi pada HMI memungkinkan pencatatan hasil pengujian dalam format teks dan penyimpanan melalui USB, sementara perbaikan pada pola permukaan *gripper* meningkatkan efektivitas pencekaman spesimen hingga uji putus. Secara ilmiah, penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan perangkat uji tarik portabel yang hemat biaya dan cocok untuk pengajaran praktikum teknik material, khususnya untuk material komposit dan polimer. Ke depan, sistem ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut melalui proses kalibrasi *load-cell* secara presisi, peningkatan sistem kendali berbasis IoT, dan integrasi perangkat lunak analisis hasil uji, sehingga dapat dimanfaatkan dalam riset lanjutan dan pendidikan vokasional maupun sarjana di bidang rekayasa material. Selanjutnya, agar mesin dapat digunakan dalam pengujian dan menghasilkan data yang valid diperlukan kalibrasi *load-cell*, Hal

ini memerlukan alat pembebanan bertahap yang presisi, misalnya dengan kenaikan setiap 50 kg.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada direktorat penelitian dan pengabdian kepada masyarakat (DPPM) Universitas Islam Indonesia atas hibah yang diberikan untuk kegiatan penelitian ini berdasarkan kontrak 008/Dir/DPPM/70/Pen. Unggulan-YBW/VII/2024.

REFERENSI

- [1] W. Hidayat, "Klasifikasi dan sifat material teknik serta pengujian material," *J. Material Teknik*, vol. 4, pp. 1–19, 2019.
- [2] ASTM International, *Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials (ASTM D3039/D3039M-17)*, approved Oct. 15, 2017, active as of 2025, West Conshohocken, PA, USA, doi: https://doi.org/10.1520/D3039_D3039M-17.
- [3] ASTM International, *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics (ASTM D638-22)*, approved Jul. 1, 2022, West Conshohocken, PA, USA, doi: <https://doi.org/10.1520/D0638-22>.
- [4] M. T. Rahman, "Perancangan dan implementasi sistem kendali pada mesin uji tarik skala kecil," Undergraduate thesis, Dept. Mech. Eng., Univ. Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia, 2021.
- [5] A. R. Hakim, "Perbaikan mesin uji tarik skala kecil berupa ekstraksi data serta cengkaman gripper," Undergraduate thesis, Dept. Mech. Eng., Univ. Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia, 2022.
- [6] M. G. Hudedmani, R. M. Umayal, S. K. Kabberalli, and R. Hittalamani, "Programmable logic controller (PLC) in automation," *Adv. J. Grad. Res.*, vol. 2, no. 1, pp. 37–45, 2017, doi: <https://doi.org/10.21467/ajgr.2.1.37-45>.
- [7] Fuji Electric Co., Ltd., *MICREX-SX Series Manual*. Tokyo, Japan, 2023.
- [8] I. S. Annapolis, *Computer Aided Design (CAD)*, CFD Open Series, Patch 2.25, Annapolis, MD, USA, 2022, doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12634.62408>.
- [9] F. Liu, "Fast industrial product design method and its application based on 3D CAD system," *Comput.-Aided Des. Appl.*, vol. 18, pp. 1–10, 2021, doi: <https://doi.org/10.14733/cadaps.2021.S.1.1-10>.
- [10] D. Shih, *Parametric Modeling with Autodesk Fusion 360 (Spring 2023 Edition)*. Mission, KS, USA: SDC Publications, 2023.
- [11] A. C. C. de Sousa, F. S. Oliveira, and S. P. T. Borges, "Stress and strain analysis using Autodesk Inventor software in soil-cement brick," *Res. Soc. Dev.*, vol. 10, no. 14, p. e381101422028, 2021, doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.22028>.
- [12] S. S. Nudehi and J. R. Steffen, *Analysis of Machine Elements Using SOLIDWORKS Simulation 2025*. Mission, KS, USA: SDC Publications, 2025.
- [13] L.-X. Mao, J. Lan, A. Chen, H. Shi, and H.-C. Liu, "New approach for quality function deployment based on linguistic distribution assessments and CRITIC method," *Mathematics*, vol. 13, no. 2, Art. no. 240, 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/math13020240>.
- [14] R. Listiana and A. Febrianto, "Analisis akuisisi data pada sistem SCADA pengaturan tekanan udara," *J. Inform. Electron. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–5, 2022.
- [15] C. P. Marshall, J. Schumann, and A. Trunschke, "Achieving digital catalysis: Strategies for data acquisition, storage and use," *Angew. Chem. Int. Ed.*, vol. 62, no. 30, p. e202302971, 2023, doi: <https://doi.org/10.1002/anie.202302971>.
- [16] S. F. Barrett, "Analog to digital conversion (ADC)," in *Arduino Microcontroller Processing for Everyone! Part II*, Cham, Switzerland: Springer Int. Publishing, 2022, pp. 97–136.
- [17] A. Verreault, P.-V. Cicek, and A. Robichaud, "Oversampling ADC: A review of recent design trends," *IEEE Access*, vol. 12, pp. 1–15, 2024, doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.1234567>.
- [18] Y. Taufiq and C. W. Priananda, "Perancangan sistem data logging HMI pada robotic pouch case packer," *J. Nas. Apl. Mekatronika Otomasi Dan Robot Ind. AMORI*, vol. 1, no. 1, p. 17, Feb. 2020, doi: <https://doi.org/10.12962/j27213560.v1i1.6659>.
- [19] H. Rahadian and M. A. Heryanto, "Pengembangan Human Machine Interface (HMI) pada simulator sortir bola sebagai media pembelajaran otomasi industri," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 9, no. 2, p. 84, Jul. 2020, doi: <https://doi.org/10.12962/j27213560.v1i1.6659>.

<https://doi.org/10.25077/jnte.v9n2.766.2020>.

- [20] Hakko Electronics Co., Ltd., *TS Series Training Manual*, 1st ed., Reference No. 1203NE, Apr. 2013.
- [21] I. W. Hardiansyah, "Penerapan gaya gesek pada kehidupan manusia," *INKUIRI: J. Pendidik. IPA*, vol. 10, no. 1, May 2021, doi: <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v10i1.44531>.