
Pemanfaatan Sensor *Load Cell* Dalam Pembuatan Prototipe Alat Uji Tekan Portabel

Reza Alfian¹, Rahadi Wirawan^{1*}, L. Sahrul Hudha¹, Nurul Qomariyah¹, Susi Rahayu¹,
Marzuki¹

¹ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Mataram, Jl. Majapahit 62 Mataram 83125,
Indonesia

* Corresponding author. E-mail: rwirawan@unram.ac.id,

No. hp/WA: +62-812-97278049

ABSTRAK

Alat uji tekan merupakan instrumen uji mekanik yang digunakan untuk menentukan batas maksimum suatu material menerima tekanan yang diberikan. Tekanan yang diberikan pada suatu material dapat mengakibatkan terjadinya deformasi pada material tersebut. Sensor load cell merupakan suatu piranti yang mengkonversi deformasi yang terjadi menjadi perubahan nilai hambatan listrik. Pada penelitian ini dilakukan pembuatan alat uji tekan portabel yang memanfaatkan sensor *load cell*. Alat uji tekan ini menggunakan sensor *load cell*, modul mikrokontroler ATmega328, motor driver, dongkrak listrik, modul ADC HX7411, dan modul LCD. Pengujian sensor *load cell* dilakukan dengan memberikan gaya tekan pada sensor *load cell* pada 3 klasifikasi skala yaitu 10 N-100 N dengan kelipatan 10 N, 100 N-1000 N dengan kelipatan 100 N, dan skala 1000 N-5000 N dengan kelipatan 1000 N. Hasil pengujian unjuk kerja sensor menunjukkan tingkat akurasi sebesar 98,7%. Sementara itu, pengujian pengukuran uji tekan suatu sampel material menunjukkan deviasi nilai <1% terhadap hasil pengukuran menggunakan alat standar UTM-TENSILON.

Kata Kunci : *load cel*; tekanan; akurasi; ATmega328; HX7411.

ABSTRACT

The pressure test equipment is a mechanical test tool used to determine the maximum limit for material to receive a given pressure. The pressure applied to a material can cause deformation of the material. The load cell sensor is a device that converts the deformation that occurs into changes in the value of electrical resistance. In this research, the manufacture of portable compression test equipment that utilizes a load cell sensor is carried out. This pressure test equipment uses a load cell sensor, ATmega328 microcontroller module, motor driver, electric jack, ADC HX7411 module, and LCD module. The load cell sensor test is carried out by applying a compressive force to the load cell sensor on 3 scale classifications, namely 10 N-100 N with multiples of 10 N, 100 N-1000 N with multiples of 100 N, and on a scale of 1000 N-5000 N with multiples of 1000 N. The results of the sensor performance test show an accuracy rate of 98.7%. Meanwhile, the compression test of a material sample shows a deviation of <1% value to the measurement results using the UTM-TENSILON standard tool.

Keywords : *load cell; compression; accuracy; ATmega328; HX7411*

1. Pendahuluan

Setiap bahan memiliki karakteristik sifat mekanik berbeda-beda, dan menentukan tingkat kekuatan bahan menahan gaya atau beban yang diberikan. Informasi karakteristik sifat suatu bahan sangat penting terkait dengan pemanfaatan bahan tersebut. Untuk mendapatkan informasi tersebut, dilakukan suatu pengujian seperti halnya pengujian sifat mekanik suatu bahan-bahan untuk suatu

rancangan konstruksi yang sesuai dengan karakteristik material [1].

Universal Testing Machine (UTM) merupakan suatu alat uji untuk mengukur tingkat kekuatan suatu bahan atau material. Alat ini digunakan untuk uji tarik (*tensile test*) dan uji tekan (*compression test*) suatu material. *UTM* yang ada dipasaran saat ini cukup mahal, dimensi dan massanya cukup besar sehingga sulit digunakan secara mobile untuk pengukuran di lapangan.

Pengembangan desain UTM yang portabel dengan dimensi yang lebih kecil dan pengoperasian lebih mudah, namun memiliki fungsi yang sama dimungkinkan untuk dilakukan. Pemanfaatan beberapa jenis sensor untuk pengukuran besaran mekanik gaya dan tekanan seperti halnya sensor *load cell*, *strain gauge*, *piezoresistif* dan *piezoelektrik* memberikan peluang untuk mengembangkan UTM portabel dengan keandalan yang tinggi.

Sensor *load cell* merupakan suatu jenis sensor yang mendeteksi adanya 2 perubahan tekanan akibat suatu gaya. *Load cell* dapat diaplikasikan dalam untuk memperkirakan entalpi fluida dua fase panas bumi [2], sifat kerusakan primer batuan [3], penilaian gaya yang dihasilkan dalam pergerakan tubuh manusia [4], untuk mengukur endapan abu pada dasar boiler [5].

Sebagai transduser gaya *load cell* bekerja berdasarkan prinsip deformasi yang terjadi pada material akibat karena adanya tegangan mekanis. Deformasi yang ditimbulkan akibat adanya tegangan tersebut dikonversi menjadi besaran listrik menggunakan suatu sensor strain gauge [1]. Strain gauge mengubah kekuatan tekanan, tegangan, berat dan lainnya menjadi besaran

hambatan listrik yang akan mempengaruhi nilai tegangan terukur [6]. Strain gauge memiliki dimensi yang kecil dan sederhana sehingga massanya dapat diabaikan. Selain itu, *strain gauge* memiliki kepekaan yang tinggi terhadap getaran sehingga dapat digunakan untuk mengetahui rambatan fluktuasi tegangan yang sensitif terhadap getaran yang terjadi pada objek, dapat mendeteksi dan melokalisasi kerusakan pada material [7].

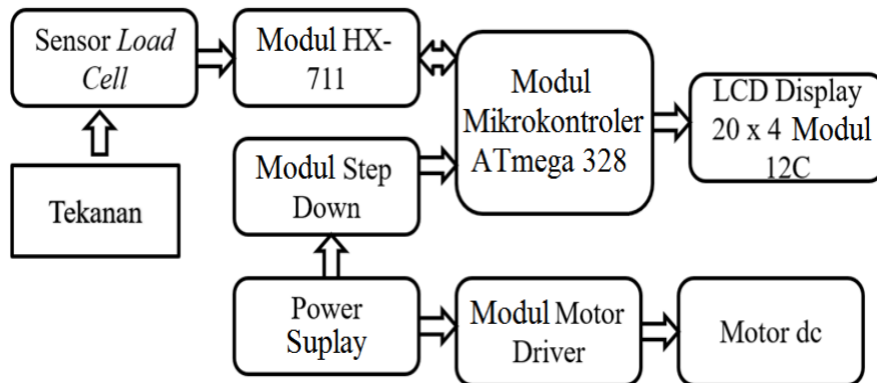
Pada penelitian ini, dirancang suatu sistem instrumentasi uji tekan portabel berbasis sensor *load cell* dengan sistem pengontrol menggunakan mikrokontroler ATmega328. Alat ini diharapkan dapat menjadi alat ukur uji tekan yang lebih fleksibel dalam penggunaannya dan memiliki pengukuran nilai tekan yang akurat.

2. Bahan dan Metode

Penelitian pembuatan prototipe alat uji tekan material portabel diawali dengan pembuatan rancangan sistem instrumentasi uji tekan dalam bentuk blok diagram seperti tampak pada Gambar 1. Modul HX711 digunakan sebagai pengubah tegangan luaran sensor *load cell* menjadi besaran berat atau gaya. Modul mikrokontroler ATmega328

(Arduino Uno) berperan sebagai pengendali sistem instrumentasi yang dibangun. Sementara itu, luaran hasil pengukuran kuat tekan ditampilkan pada

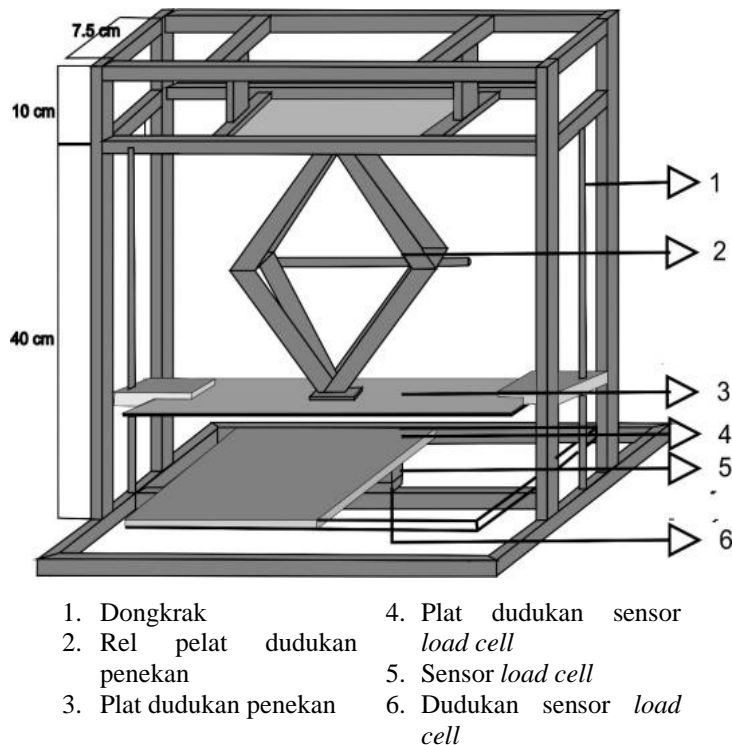
modul display LCD (*Liquid Crystal Display*) berukuran 20 x 4 karakter.



Gambar 1. Diagram blok sistem instrumentasi uji tekan.

Selanjutnya dilakukan pembuatan sistem mekanik alat uji tekan, dengan

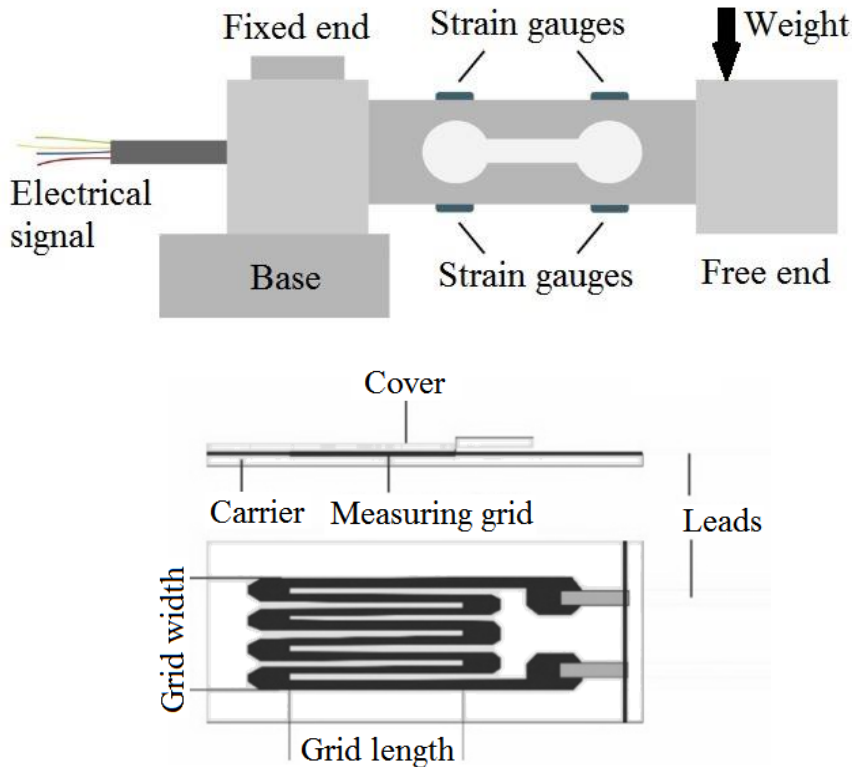
rancangan seperti ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain mekanik alat uji tekan.

Dongkrak berfungsi sebagai penggerak yang menekan bahan uji material. Tekanan yang diberikan akan diteruskan ke sensor *load cell*. Deformasi yang terjadi pada sensor *load cell* (Gambar 3) menyebabkan

perubahan nilai hambatan listrik empat buah *strain gauge* pada sensor *load cell* yang tersusun dalam rangkaian jembatan *wheatstone*.



Gambar 3. *Strain gauge* [8] dan struktur komponen *strain gauge* [9].

Perubahan yang terjadi pada hambatan *strain gauge* sebanding dengan perubahan regangan. Perubahan hambatan tersebut diungkapkan bentuk perubahan nilai resistivitas berikut [9].

$$S = \frac{\Delta\rho/\rho}{\Delta L/L} \quad (1)$$

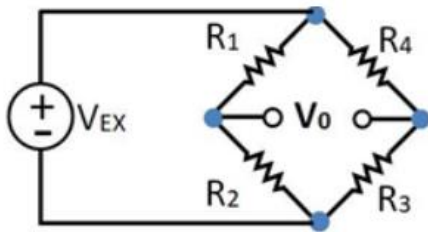
dimana $(\Delta\rho/\rho)$ merupakan resistivitas spesifik, $(\Delta L/L)$ merupakan regangan

(*strain*), dan S merupakan sensitivitas strain.

Perubahan nilai tegangan akibat perubahan regangan diukur menggunakan metode jembatan *wheatstone* (Gambar 4) dimana tegangan luaran yang dihasilkan menjadi referensi beban yang diterima sensor *load cell* [10]. Adapun besarnya tegangan keluaran (V_{output}) sebagai berikut.

$$V_{output} = \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right] \times E_{EX} \quad (2)$$

dimana V_{EX} merupakan tegangan masukan (V), dan R_1, R_2, R_3 dan R_4 masing-masing merupakan hambatan (Ω) [11].



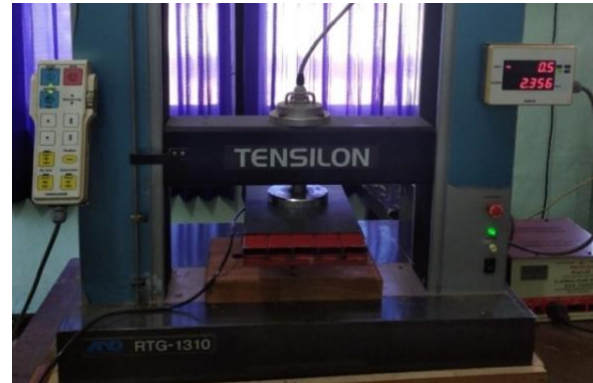
Gambar 4. Rangkaian jembatan *wheatstone* [7].

Untuk nilai hambatan awal yang sama (R) setelah terjadi kesetimbangan, maka besarnya perubahan tegangan ditentukan melalui persamaan (3) [9].

$$\Delta V_{output} = \frac{E_{EX}}{4R} [\Delta R_1 + \Delta R_3 - \Delta R_2 - \Delta R_4] \quad (3)$$

Pengujian sensor *load cell* dilakukan dengan pemberian gaya tekan (tekanan) menggunakan alat uji standar *Universal Testing Machine (UTM)*–TENSILON yang memiliki tingkat ketelitian 0,001 N (Gambar 5). Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi dan kalibrasi sensor *load cell*. Besarnya gaya tekan yang diberikan pada sensor *load cell* mulai dari 10 N sampai dengan 5000 N yang terbagi

dalam tiga kelipatan 10 N, 100 N, dan 1000 N.



Gambar 5. Pengujian menggunakan *UTM-TENSILON*.

Adapun kesalahan relatif (Δ) hasil pengukuran terhadap alat standar *UTM* ditentukan menggunakan persamaan (4) berikut.

$$\Delta(\%) = \frac{|x_s - x_p|}{x_s} \times 100 \quad (4)$$

dimana x_p adalah nilai hasil pengukuran menggunakan prototipe alat uji tekan, dan x_s adalah nilai hasil pengukuran menggunakan alat uji standar. Sementara itu, untuk akurasi pengukuran prototipe dapat ditentukan menggunakan persamaan 5 berikut.

$$Akurasi(\%) = 100 - \Delta(\%) \quad (5)$$

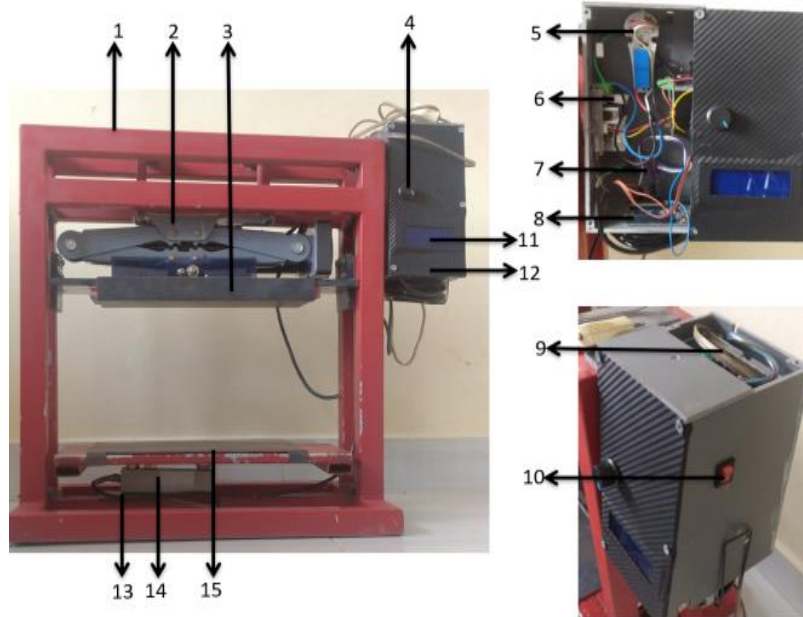
Selanjutnya dilakukan pengujian prototipe yang dibuat untuk suatu sampel material uji padat. Sampel bahan uji yang digunakan adalah blok dari campuran semen dan mill dengan ukuran 20mm \times 20mm \times 30mm. Untuk mengetahui prototipe alat uji tekan dapat

bekerja dan memberikan hasil yang benar maka dilakukan juga pengujian komparasi menggunakan alat uji standar *Universal Testing Machine (UTM)-TENSILON*.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada Gambar 6 ditampilkan prototipe alat uji tekan material yang dibuat. Dimensi dan massanya yang cukup kecil dibandingkan dengan *UTM-TENSILON* dan mudah untuk dipindahkan sehingga dapat dikatakan sebagai alat uji portabel. Prototipe menggunakan sistem penekan

dongkrak jenis gunting dan berfungsi memberikan tekanan pada bahan material yang akan diuji. Dongkrak bergerak secara vertikal dengan kapasitas beban 2 ton dan digerakkan oleh motor DC 12 volt. Motor DC tersebut dilengkapi dengan *gearbox* yang berfungsi untuk meningkatkan torsi motor. Pengontrolan pergerakan vertikal motor DC dilakukan menggunakan modul *high power PWM speed control motor DC LED 20 ampere*.

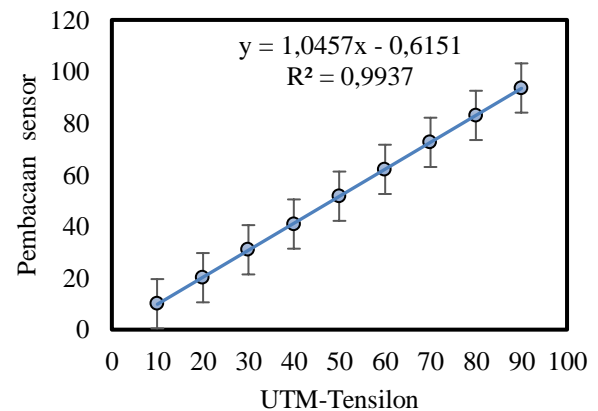


- | | |
|-----------------------------|-----------------------------|
| 1. Kerangka alat | 9. Power suplay |
| 2. Dongkrak | 10. Sakelar on/off |
| 3. Pelat penekan | 11. LCD |
| 4. Pengatur kecepatan motor | 12. Box mikrokontroler |
| 5. Kontrol dongkrak | 13. Dudukan sensor |
| 6. Motor driver | 14. Sensor <i>load cell</i> |
| 7. Modul HX711 | 15. Plat dudukan sampel |
| 8. Modul Arduino Uno | |

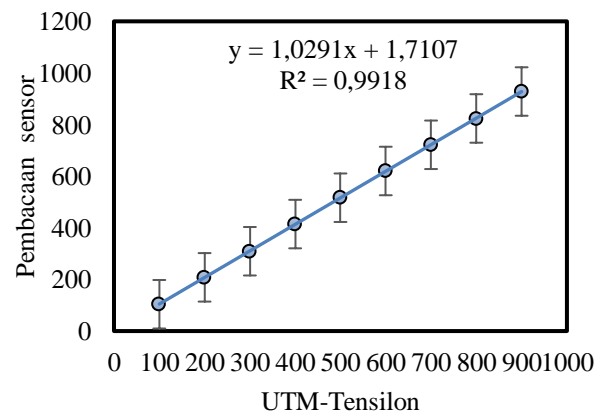
Gambar 6. Perangkat sistem instrumentasi uji tekan material.

Prototipe alat uji tekan memiliki kemampuan pembacaan tekanan sesuai dengan kapasitas *load cell* yang digunakan maksimal 2 Ton (~ 20000 N). Adapun cara kerja dari alat uji tekan tersebut adalah memberikan tekanan (gaya tekan) pada bahan uji sampai bahan tersebut retak atau hancur. Luaran besarnya nilai gaya tekan akan ditampilkan pada display LCD.

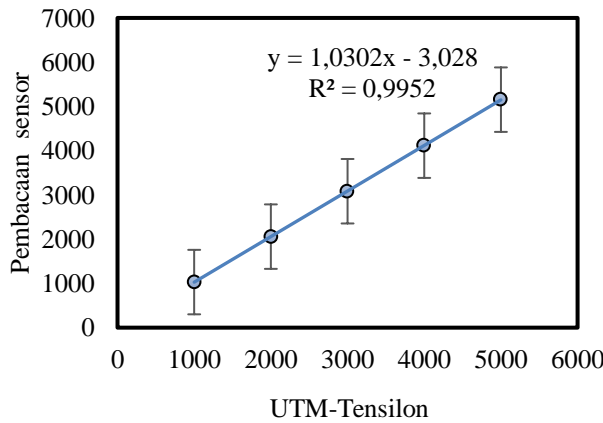
Proses kalibrasi sensor *load cell* dilakukan untuk memperoleh hubungan antara parameter nilai tekanan menggunakan *UTM-TENSILON* dengan grafik respon sensor seperti ditampilkan pada Gambar 7. Pada ketiga grafik ditunjukkan nilai kemiringan kurva hasil pencocokan kurva linier ≈ 1 . Hasil ini menunjukkan secara signifikan bahwa pembacaan gaya tekan oleh sensor *load cell* hampir sama dengan gaya tekan yang diberikan oleh alat standar *UTM-TENSILON*.



(a) Rentang skala 10N – 90N



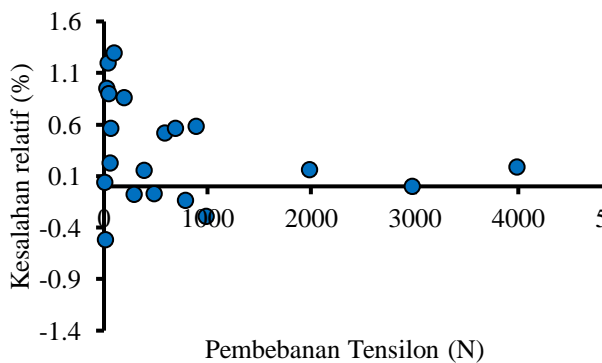
(b) Rentang skala 100N – 900N



(c) Rentang skala 1000N – 5000N

Gambar 7. Grafik pembacaan pensor *Load Cell* : a) tekanan 10 N sampai 90 N, b) tekanan 100 N sampai 900 N, dan c) tekanan 1000 N sampai 5000 N.

Adapun hasil pengujian untuk mendapatkan distribusi nilai kesalahan relatif pengukuran terhadap *UTM-TENSILON* bervariasi seperti ditampilkan pada Gambar 8. Besarnya kesalahan relatif maksimal diperoleh sebesar 1,3% dengan tingkat akurasi berdasarkan nilai tersebut sebesar 98,7%.



Gambar 8. Distribusi kesalahan relatif (*error*).

Selanjutnya dilakukan pengujian prototipe alat uji tekan menggunakan bahan uji guna mengetahui sistem kerja dari prototipe. Hasil pengujian alat ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil pengujian blok sampel menggunakan *Universal Testing Machine (UTM)-TENSILON* dan pengujian menggunakan prototipe alat uji tekan.

No.	Dimensi blok sampel			Gaya (N)	
	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tebal (mm)	<i>UTM</i>	Proto-tipe
1	20	20	30	660,76	
2	20	20	30	633,73	
3	20	20	30	676,63	
4	20	20	30		720,01
5	20	20	30		604,74
6	20	20	30		631,14
Rerata				657,04	651,96
Standar deviasi				21,683	60,390
Deviasi Pengukuran					5,047 (0,8%)

Rerata nilai uji tekan material sampel hasil pengujian pengukuran menunjukkan bahwa pengukuran menggunakan prototipe yang dibuat tidak berbeda jauh dengan hasil pengukuran menggunakan alat uji standar *UTM*. Deviasi pengukuran diperoleh sebesar 5,047 (0,8%) lebih rendah dibandingkan hasil pengukuran menggunakan *UTM-TENSILON*. Persentase besarnya deviasi hasil uji

pengukuran $< 1\%$ menunjukkan bahwa prototipe alat uji tekan portabel yang dihasilkan sangat baik dan akurat untuk digunakan sebagai alat uji tekan material.

4. Simpulan

Telah berhasil dibuat suatu prototipe alat uji tekan portabel menggunakan sensor *load cell* berbasis mikrokontroler ATmega328. Prototipe ini memiliki kesalahan relatif maksimal diperoleh sebesar 1,3% dengan tingkat akurasi 98,7%. Pengujian pengukuran uji tekan suatu sampel material menunjukkan deviasi $< 1\%$ terhadap nilai pengukuran menggunakan UTM-TENSILON.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih pada Fakultas MIPA Universitas Mataram atas ijin pemanfaatan laboratorium Fisika dan peralatannya pada penelitian ini.

6. Referensi

- [1] Budiman, H. (2016). Analisis Pengujian Tarik (*Tensile Test*) pada Baja ST37 dengan Alat Bantu Load Cell Teknik Mesin. *J-Ensitemc*. 3(1).
- [2] Mubarok, M.H., Zarrouk, S.J., Cater, J.E., Mundakir, A., Bramantyo, E.E., Lim, Y.W. (2021). Real-time enthalpy measurement of two-phase geothermal fluid flow using load cell sensors: Field testing results. *Geothermics* 89, 101930, (<https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2020.101930>).
- [3] Lois-Morales, P., Evans, C., Weatherley, D. (2021). Characterising tensile strength and elastic moduli of altered igneous rocks at comminution scale using the Short Impact Load Cell. *Powder Technology* 388, 343-356, (<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.04.091>).
- [4] Bibbo, D., Gabriele, S., Scorza, A., Schmid, M., Sciuto, S.A., Conforto, S., (2019). A Novel Technique to Design and Optimize Performances of Custom Load Cells for Sport Gesture Analysis. *IRBM* 40(4), 201-210, (<https://doi.org/10.1016/j.irbm.2019.05.005>).
- [5] Manivasagam, R., Richard, S.P. (2021). Instant ash monitoring using a load cell in the boiler. *Materialstoday: Proceedings* 39 (4), 1754-1761,

- (<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.496>).
- [6] Souwmpie, S., Tandean, S., Fendiyono. 2012. Sistem Pelelangan Ikan Terpadu. Skripsi S1. Program Studi Sistem Komputer, Universitas Binus. Jakarta.
- [7] Marques dos Santos, F.L., *et al.* (2015). The use of strain gauges in vibration-based damage detection. *Journal of Physics: Conference Series 628 (2015)*, 012119.
- [8] <https://tacunasystems.com/knowledge-base/an-overview-of-load-cells/> (diunduh 24 April 2022, 10.23 PM).
- [9] Liptak, Bela G. (2003). *Process Measurement and Analysis*. Instrument Engineers' Handbook. London.
- [10] Handinata, O., Situmorang, M. (2012). Pengembangan Rancang Bangun Alat Pengukur Indeks Massa Tubuh Berbasis Atmega8535 Dan Databasenya Berbasis PC. *Jurnal Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Sumatera Utara*, 1-9.
- [11] Atmajaya, D., Kurniati, N., Salim, Y., Astuti, W., dan Purnawansyah. (2018). Sistem Kontrol Timbangan Sampah Non Organik Berbasis Load Cell dan ESP32. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi, Vol 1, No.1*, 434-443.