

Prototipe Alat Bantu Pengukur Diameter Cincin Referensi Tangki Ukur Tetap Silinder Tegak

¹Vera Firmansyah*), ¹ Dwi Putriyati Ningsih, ¹Yusup Maulana & ²Naila Zahra

¹Akademi Metrologi dan Instrumentasi

²Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol, Institut Teknologi Bandung

*)verafirmansyah@akmet.ac.id

Abstrak

Tangki Ukur Tetap Silinder Tegak (TUTSIT) selain dapat berfungsi sebagai alat penyimpanan dapat juga berfungsi sebagai alat ukur. Untuk menjaga akurasi hasil pengukuran, setiap alat ukur perlu dilakukan pengujian/kalibrasi. Terdapat beberapa metode untuk menguji TUTSIT, salah satunya metode optik dengan teodolit yang memiliki kelebihan yaitu waktu pengujian singkat dan keperluan jumlah personil yang sedikit. Selain kelebihan tersebut, teodolit tetap memiliki kekurangan yaitu harga yang mahal, menggunakan personil khusus, dan pengolahan data masih manual. Pengujian TUTSIT memanfaatkan fungsi teodolit untuk pengukuran sudut dan pengukuran jarak. Pada makalah ini membuat prototipe yang dapat mengukur diameter cincin referensi sebagai langkah awal pengujian TUTSIT. Diameter referensi ini sebagai acuan untuk pengukuran diameter pada cincin di atasnya. Proses pengujian prototipe yaitu dengan membandingkan terhadap teodolit pada posisi yang sama. Hasil pengukuran diameter cincin referensi oleh prototipe lebih besar 15,8 mm dibandingkan dengan teodolit. Adapun nilai-nilai karakteristik prototipe untuk akurasi sebesar 99,2%, presisi sebesar 99,9% dan kesalahan sebesar 0,8%. Prototipe ini memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai alternatif ekonomis instrumen pengujian TUTSIT.

Kata Kunci: metrologi, pengujian, TUTSIT, potensio rotary angle, laser rangefinder

1 Pendahuluan

Tangki Ukur Tetap Silinder Tegak (TUTSIT) merupakan tangki ukur dengan penampang lintang berbentuk lingkaran yang berdiri tegak di atas pondasi kokoh dan tetap [1]. TUTSIT dapat berfungsi sebagai alat penyimpan juga dapat berfungsi sebagai alat ukur [2]. Ketika TUTSIT berfungsi sebagai alat ukur, perlu melakukan kalibrasi terhadap alat ukur tersebut untuk menjamin hasil pengukurannya. Keputusan Direktur Jenderal Perdagangan, Kementerian Perdagangan, R.I salah satunya mengatur durasi waktu dari tera ke tera ulang atau dari tera ulang ke tera ulang berikutnya untuk TUTSIT jenis bahan bakar minyak [3]. Tera dan tera ulang adalah pengujian terhadap alat ukur yang sifatnya wajib dan memiliki batas kesalahan yang diijinkan (BKD) untuk setiap alat ukurnya sesuai peraturan yang berlaku, sedangkan kalibrasi adalah pengujian terhadap alat ukur yang sifatnya tidak wajib dan tidak memiliki BKD. Tera merupakan proses pengujian pertama kali terhadap alat ukur. Hasil pengujian TUTSIT merupakan tabel volume tangki terhadap ketinggian yang digunakan sebagai referensi/acuan alat ukur lain, seperti *Automatic Tank Gauging* (ATG) [4].

Pada umumnya kalibrasi TUTSIT menggunakan metode volumetrik (kapasitas kurang dari 50 kl) dan metode geometrik (kapasitas lebih dari 50 kl). Untuk metode geometrik terbagi menjadi 2 (dua) bagian, yaitu: metode *strapping* dan metode optik. Metode *strapping* menggunakan standar ban ukur (meteran baja) [5], [6] dan metode optik menggunakan standar teodolit [7]–[10]. Perbedaan utama metode *strapping* dan metode optik adalah proses pengukuran cincin di atasnya, untuk metode *strapping* menggunakan roda ukur yang terpasang langsung di dinding TUTSIT, sedangkan metode optik menggunakan teodolit yang dipasang pada jarak tertentu dari TUTSIT. TUTSIT dibagi menjadi beberapa bagian untuk setiap ketinggian tertentu yang disebut dengan cincin. Cincin pertama disebut juga sebagai cincin referensi, karena diameter pada cincin pertama digunakan untuk perhitungan diameter cincin di atasnya. Pengukuran diameter cincin referensi dapat menggunakan ban ukur atau teodolit. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang baik jika menggunakan ban ukur, dibutuhkan waktu yang lebih lama dan personil yang lebih banyak, agar tidak terjadi lengkungan pada ban ukur tersebut yang menyebabkan biaya kalibrasi TUTSIT menjadi mahal [11]. Sedangkan teodolit, selain memiliki harga yang cukup mahal juga tidak dapat secara langsung mendapatkan hasil pengukuran dalam informasi diameter [12]. Untuk mendapatkannya, masih perlu dilakukan proses perhitungan secara manual.

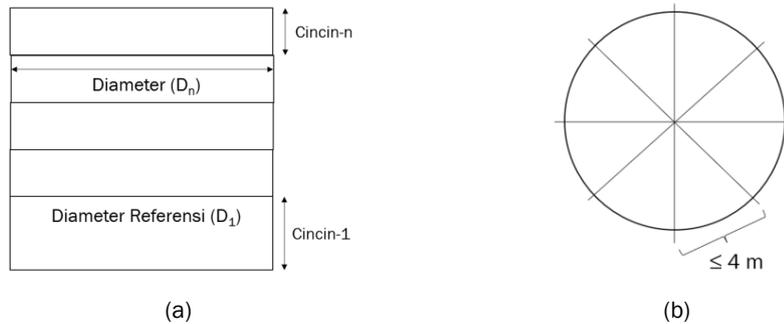
Untuk menunjang terlaksananya kegiatan tera dan tera ulang Unit Metrologi Legal (UML) daerah alat ukur TUTSIT bahan bakar minyak, maka dibuat sebuah prototipe pengukur diameter cincin referensi TUTSIT menggunakan laser *rangefinder* dan *rotary angle sensor*. Prototipe ini juga dibandingkan dengan teodolit

untuk mengukur obyek TUSIT di Pusat Pengembangan Sumber Daya Kemetrolagian. Prototipe ini dapat secara langsung mendapatkan informasi diameter untuk setiap pengukurannya.

2 Metode

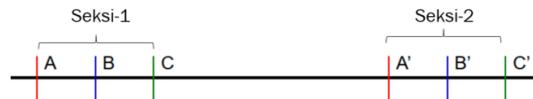
2.1 Pengukuran Diameter TUSIT

Tahap pertama pada pengujian TUSIT yaitu mengukur diameter TUSIT cincin referensi (D_1), yang akan dijadikan acuan untuk mengukur diameter TUSIT di atasnya. TUSIT dibagi menjadi beberapa bagian/cincin seperti pada Gambar 1.a dan setiap cincin dibagi menjadi beberapa seksi seperti pada Gambar 1.b.



Gambar 1. (a) Pembagian TUSIT arah vertikal menjadi beberapa cincin. (b) Pembagian tiap cincin menjadi beberapa seksi

Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang baik metode *strapping*, pada setiap cincin dilakukan pengukuran berulang yang disesuaikan dengan jumlah seksinya. Pada Gambar 2 di bawah ini memperlihatkan ilustrasi pengukuran berulang pada setiap cincin.



Gambar 2. Pengukuran berulang pada setiap cincin

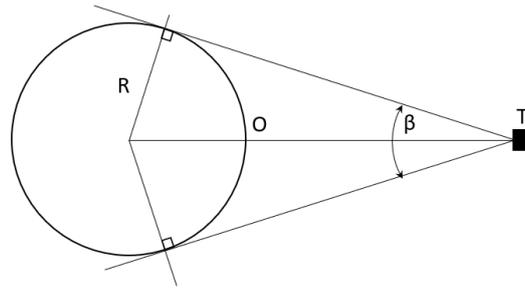
Kondisi TUSIT tampak seperti pada Gambar 1.b, yang memiliki 8 seksi dengan jarak A ke A' adalah A_1 . Pengulangan dilakukan pada setiap seksi sebanyak 3 (tiga) kali, untuk mendapatkan diameternya, selanjutnya dijumlahkan seperti pada persamaan 1.

$$\begin{aligned}
 A &= A_1 + A_2 + \dots + A_8 \\
 B &= B_1 + B_2 + \dots + B_8 \\
 C &= C_1 + C_2 + \dots + C_8
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Maka diameter TUSIT dapat ditentukan dengan persamaan 2.

$$D_1 = \frac{A + B + C}{3}
 \tag{2}$$

dengan ketentuan selisih antara A, B, dan C tidak lebih dari 3 mm [1][5]. Pengukuran diameter dengan metode *strapping* yang menggunakan ban ukur, setiap hasil pengukuran perlu dikoreksi sesuai sertifikatnya. Pada metode optik, proses pengukuran diameter referensi diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Ilustrasi pengukuran diameter referensi metode optik

T adalah titik teodolit, O adalah titik tengah TUSIT pada cincin-1, R adalah jari-jari referensi, dan β adalah sudut antara titik teodolit dengan kedua sisi tepi TUSIT. Untuk menghitung diameter referensi (D_1) dapat menggunakan persamaan 3 di bawah ini [6].

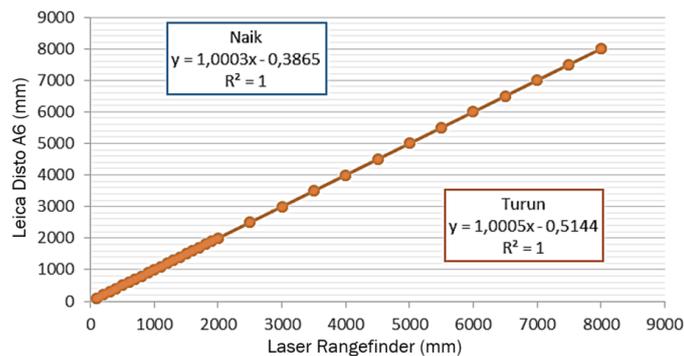
$$D_1 = \frac{2TO \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{1 - \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)} \tag{3}$$

Pada makalah ini, prototipe menggunakan metode optik menggunakan laser *rangefinder* untuk mengukur jarak TO dan *potensio rotary angle* untuk mengukur sudut β . Jarak TO ditentukan dengan menentukan sudut β terlebih dahulu untuk mendapatkan titik tengahnya. Selanjutnya dengan bantuan *laser pointer* yang diarahkan pada titik tengah TUSIT untuk mendapatkan jarak TO.

2.2 Sensor Yang Digunakan

2.2.1 Laser Rangefinder

Laser merupakan gelombang elektromagnetik nampak yang berada dalam kisaran panjang gelombang tertentu. Laser dapat dikategorikan menjadi dua berdasarkan jenis keluarannya, yaitu laser pulsa dan laser kontinu. Laser *Rangefinder* termasuk laser pulsa yang dapat digunakan untuk mengukur jarak [13]. Spesifikasi laser *rangefinder* yang digunakan memiliki akurasi sebesar 1 mm dan jaraknya pada rentang 0,02 m – 50 m pada suhu 0 – 40 °C. Hasil pengujian linearisasi laser *rangefinder* yang dibandingkan dengan laser *rangefinder* standar merek *Leica Disto A6*, terlihat pada Gambar 4.

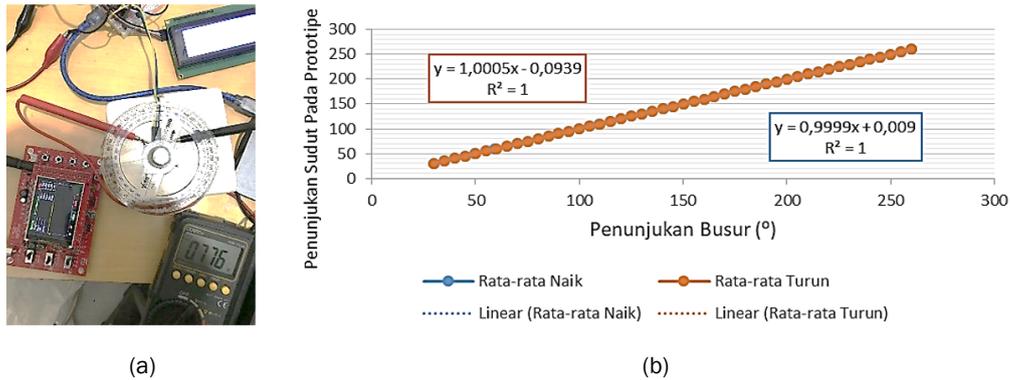


Gambar 4. Grafik linearitas laser *rangefinder*

2.2.2 Potensio Rotary Angle

Potensio Rotary Angle merupakan jenis potensiometer linear yang memanfaatkan perubahan tahanan sehingga memengaruhi nilai tegangan masukan pada *Analog Digital Converter* (ADC). Semakin besar nilai tahanan yang diberikan maka akan semakin besar nilai tegangan masukan pada ADC [14]. Perubahan sudut sebanding dengan perubahan tegangan masukan pada ADC. Semakin besar perubahan tegangan masukan maka akan semakin besar pula sudut yang dibentuknya. Adapun *potensio rotary angle* yang digunakan

memiliki akurasi sebesar 1°. Hasil pengujian linearitas potensio *rotary angle* dengan busur terlihat pada Gambar 5.

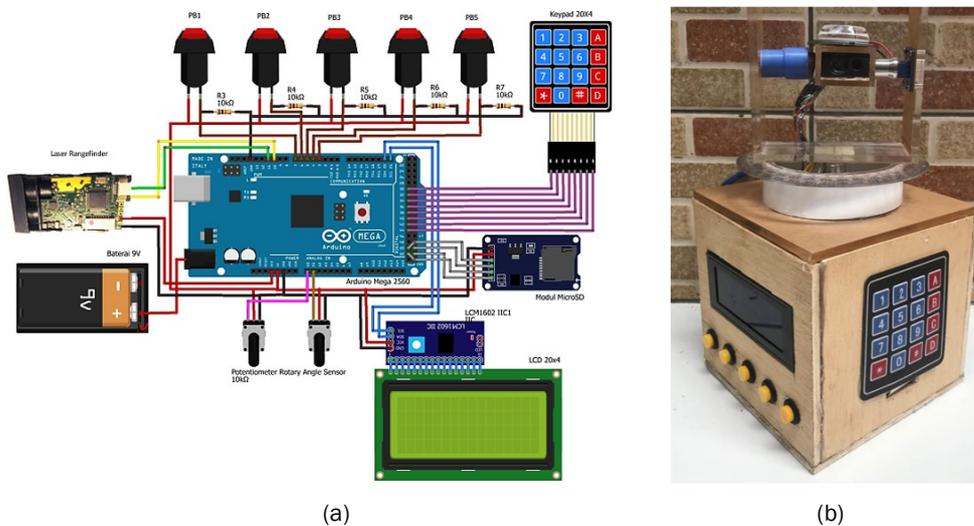


Gambar 5. (a) Pengujian karakteristik menggunakan multimeter dan osiloskop. (b) Grafik linearitas potensio *rotary angle*

Pada Gambar 5.b terlihat bahwa potensio *rotary angle* memiliki hasil yang baik pada rentang 30° – 270°. Mengingat penggunaannya untuk mengukur sudut kedua sisi TUSIT (β), maka sensor ini masuk dalam rentang pengukuran.

3 Rancang Bangun Prototipe

Pada rancang bangun prototipe seperti pada Gambar 6 di bawah ini, beberapa komponen yang digunakan adalah: Arduino Mega 2560, Laser *Rangefinder*, *Potensio Rotary Angle*, LCD, *MicroSD*, *Keypad* dan *Push Button*.

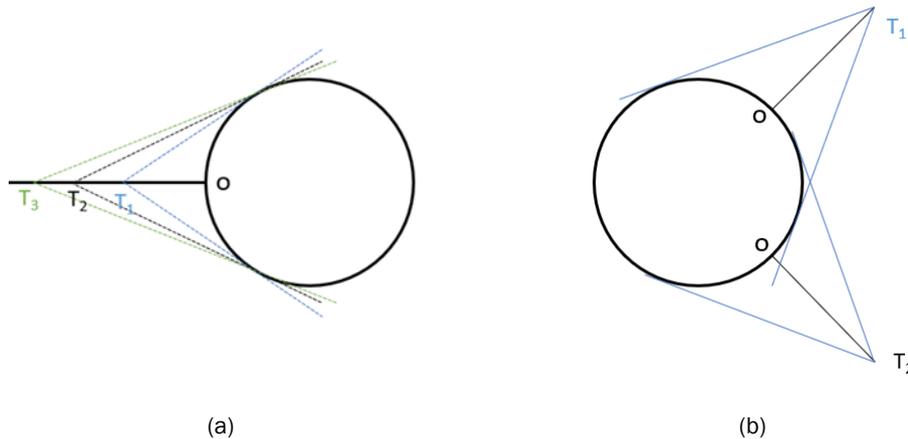


Gambar 6. (a) Rancang bangun prototipe (b) Prototipe

Selain komponen utama berupa sensor jarak dan sensor sudut, ada beberapa komponen tambahan, yaitu: *push button* berfungsi sebagai pengambil data, *keypad* berfungsi memasukkan data tebal pelat untuk mendapatkan nilai diameter dalam karena hasil pengukuran berupa diameter luar, *MicroSD* berfungsi menyimpan hasil akhir (diameter) dan *LCD* berfungsi menampilkan (diameter, sudut dan jarak secara *realtime*).

4 Hasil

Pengujian prototipe dilakukan dengan cara membandingkan dengan teodolit pada obyek yang sama, yaitu TUSIT yang ada di Pusat Pengembangan Sumber Daya Kemetrolgian (PPSDK) Kementerian Perdagangan. TUSIT ini memiliki kapasitas 78,494 liter, koefisien muai bahan dinding tangki $1,12 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ dan diameter cincin referensi (D_1) sebesar 12,720 mm pada suhu 28 °C yang tertera pada sertifikat. Pengujian dilakukan dengan 2 (dua) cara, cara pertama yaitu posisi pada seksi yang sama dan jarak prototipe/teodolit (TO) ke dinding TUSIT yang berbeda (Gambar 7.a). cara kedua yaitu posisi dengan jarak TO yang sama tetapi pada seksi yang berbeda (Gambar 7.b). Selain itu juga, untuk setiap pengambilan data prototipe pada cincin referensi dilakukan pengukuran berulang dengan jarak 30 cm di atas dan di bawah cincin referensi[1].



Gambar 7. (a) variasi jarak TO pada seksi yang sama. (b) variasi posisi seksi dengan jarak TO yang sama

Pada Tabel 1 diperlihatkan hasil pengukuran prototipe yang dibandingkan dengan hasil pengukuran teodolit sesuai dengan ilustrasi Gambar 7.a. Prototipe memperlihatkan hasil yang stabil di tiga posisi tersebut dengan rata-rata koreksi sebesar 15,7 mm lebih besar terhadap teodolit.

Tabel 1. Data pengukuran prototipe dengan ilustrasi gambar 7.a

Posisi	Teodolit (mm)	Prototipe (mm)				Koreksi (mm)
		Bawah	Tengah	Atas	Rerata	
T ₁	2027,7	2007,9	2043,3	2078,5	2043,2	15,5
T ₂		2008,6	2043,3	2079,6	2043,8	16,1
T ₃		2008,0	2043,4	2078,0	2043,1	15,4
Rerata(mm)					2043,4	15,7

Pada Tabel 2 diperlihatkan hasil pengukuran prototipe yang dibandingkan dengan hasil pengukuran teodolit sesuai dengan ilustrasi Gambar 7.b. Prototipe memperlihatkan hasil yang stabil di dua posisi tersebut dengan rata-rata koreksi sebesar 15,9 mm lebih besar terhadap teodolit.

Tabel 2. Data pengukuran prototipe dengan ilustrasi gambar 7.b

Posisi	Teodolit (mm)	Prototipe (mm)				Koreksi (mm)
		Bawah	Tengah	Atas	Rerata	
T ₁	2027,7	2008,3	2042,7	2078,8	2043,3	15,6
T ₂		2008,6	2043,3	2079,8	2043,9	16,2
Rerata (mm)					2043,6	15,9

Rata-rata koreksi pada Tabel 1 dan Tabel 2 didapatkan sebesar 15,8 mm. Hasil koreksi ini masih masuk dalam BKD sesuai syarat teknis yang berlaku [1]. Tabel 3 memperlihatkan karakteristik prototipe untuk nilai bias, akurasi, presisi, dan kesalahan yang dibandingkan terhadap teodolit.

Tabel 3. Karakteristik prototipe

Bias (mm)	Akurasi (%)	Presisi (%)	Kesalahan (%)
-15,8	99,2	99,9	0,8

Dengan karakteristik prototipe seperti pada Tabel 3 di atas, akurasi dan presisi sekitar 99%, tetap masih banyak yang dapat dikembangkan lebih lanjut terutama dari sisi konstruksi prototipe. Konstruksi yang dimaksud adalah potensio *rotary angle* yang dijadikan poros secara langsung untuk mengarahkan sudut kedua sisi TUSIT, sehingga reliabilitasnya kurang baik. Untuk pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan mengganti potensio *rotary angle* dengan motor stepper dan gabungan konversi roda gigi, sehingga bisa menghasilkan sudut yang memiliki resolusi lebih kecil. Selain itu, prototipe ini baru dapat mengukur diameter cincin referensi saja, sedangkan pengujian keseluruhan TUSIT juga harus dapat mengukur diameter pada cincin di atasnya.

5 Kesimpulan

Prototipe alat bantu pengukur diameter cincin referensi tangki ukur tetap silinder tegak berhasil dibuat dengan dua buah sensor, yaitu laser *rangefinder* dan potensio *rotary angle*. Hasil pengukuran diameter cincin referensi oleh prototipe lebih besar 15,8 mm dibandingkan dengan teodolit. Adapun nilai-nilai karakteristik prototipe untuk akurasi sebesar 99,2%, presisi sebesar 99,9% dan kesalahan sebesar 0,8%.

6 Ucapan Terima kasih

Makalah ini merupakan hasil proyek akhir mahasiswa D3 Metrologi dan Instrumentasi Akademi Metrologi dan Instrumentasi Kementerian Perdagangan dengan pola kerjasama pendidikan dengan FTI-ITB pada Program Studi Teknik Fisika.

7 Referensi

- [1] D. M. ST-25, "Syarat Teknis Tangki Ukur Silinder Tegak," *Keputusan Direktur Jenderal Dalam Negeri Nomor 25/PDN/KEP/3/2010*, Direktur Jenderal Perdagangan Dalam Negeri, Kementerian Perdagangan, 2010.
- [2] OIML R71, "Fixed storage tanks. General requirements," *OIML Recommendation*, France: OIML, 2008, pp. 1–32.
- [3] D. Permendag-68, *Tera dan Tera Ulang Alat-alat Ukur, Takar, Timbang dan Perlengkapannya*. 2018.
- [4] OIML-R85, "Automatic level gauges for measuring the level of liquid in stationary storage tanks," 2008.
- [5] ISO7507-1, "Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 1: Strapping method," 2003.
- [6] API-MPMS-2.2A, *Manual of Petroleum Management Standard Chapter 2-Tank Calibration. Measurement and Calibration of Upright Cylindrical Tanks by the Manual Tank Strapping Method*. 1995.
- [7] ISO7507-2, "Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 2: Optical-reference-line method," 2005.
- [8] ISO7507-3, "Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 3: Optical-triangulation method," 2006.
- [9] ISO7507-4, "Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 4: Internal electro-optical distance-ranging method," 2010.

- [10] ISO7507-5, "Petroleum and liquid petroleum products – Calibration of vertical cylindrical tanks – Part 5: External electro-optical distance-ranging method," 2000.
- [11] O. O. Agboola, O. B. Akinnuli, A. M. Akintunde, and B. Kareem, "Modelling of cost estimates for the geometrical calibration of upright oil storage tanks," *Int. J. Energy Econ. Policy*, vol. 10, no. 1, pp. 464–470, 2020, doi: 10.32479/ijeeep.8271.
- [12] O. O. Agboola, P. P. Ikubanni, R. A. Ibikunle, A. A. Adediran, and B. T. Ogunsemi, "Generation of Calibration Charts for Horizontal Petroleum Storage Tanks Using Microsoft Excel," *Mapan - J. Metrol. Soc. India*, vol. 32, no. 4, pp. 321–327, 2017, doi: 10.1007/s12647-017-0224-6.
- [13] J. A. S. D. Fonseca, A. Baptista, M. J. Martins, and J. P. N. Torres, "Distance Measurement Systems Using Lasers and Their Applications," *Appl. Phys. Res.*, vol. 9, no. 4, p. 33, 2017, doi: 10.5539/apr.v9n4p33.
- [14] R. Ekawita, H. Nawir, Suprijadi, and Khairurrijal, "A simple and inexpensive vertical deformation measurement system for soil compression tests," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1589, no. 2014, pp. 104–107, 2014, doi: 10.1063/1.4868760.