

Prototipe Model Rapid Impact Compaction untuk skala laboratorium

A.Ejah Umraeni Salam⁽¹⁾, Zahir Zainuddin⁽²⁾, Ida Rachmaniar⁽³⁾, Arief Rahman⁽⁴⁾, Khaerul Imam Herman⁽⁵⁾
^{1,2,3,4,5}Departemen Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin

Abstrak—Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model system pembebanan Repeated Load Tipe Rapid Impact Compaction dengan menggunakan sistem instrumentasi dengan proses akuisisi data untuk memperoleh data tekanan pada lapisan tanah, pola deformasi tanah dan tekanan air pori apabila dilakukan pembebanan. Untuk pengukuran tekanan pada lapisan tanah menggunakan sensor earth pressure cell, sedangkan untuk pengukuran deformasi tanah dan tekanan air pori digunakan sensor sensor ultrasonik dan pore water pressure sensor. Hasil pengukuran sistem ini akan divalidasi sesuai dengan rumus dan teori yang telah ada.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa besarnya beban yang diberikan berbanding lurus dengan tekanan pada lapisan tanah. Begitupula dengan pengukuran tekanan air pori tanah yaitu untuk beban statis perbedaan presentase kesalahan antara teori dan praktek cukup kecil yaitu rata-rata presentase kesalahan berkisar 0,0475 %, sedangkan untuk beban dinamis, diperoleh bahwa tegangan air pori memiliki batasan nilai, sehingga walaupun terjadi tumbukan lagi nilainya akan tetap. Untuk pengukuran deformasi tanah diperoleh peningkatan penurunan tanah sesuai dengan banyaknya jumlah tumbukan.

Kata kunci— Earth pressure cell, pore water pressure sensor, sensor ultrasonik, Rapid Impact Compaction, tekanan tanah, tekanan air pori tanah, deformasi tanah

I. PENDAHULUAN

Rapid Impact Compaction (RIC) merupakan suatu metode kompaksi dinamis yang umumnya digunakan untuk memadatkan tanah berpasir dimana kandungan tanah liat dan lanau yang rendah. Secara garis besar prinsip kerja metode RIC adalah dengan memberikan tekanan dengan besaran tertentu pada permukaan tanah yaitu menggunakan palu yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu dengan intensitas tumbukan yang diukur dalam satuan blows/minute atau tumbukan/menit. Palu tidak menumbuk permukaan tanah secara langsung melainkan pada sebuah plat besi yang dipasang pada permukaan tanah yang disebut *anvil* seperti ditunjukkan pada gambar 1.



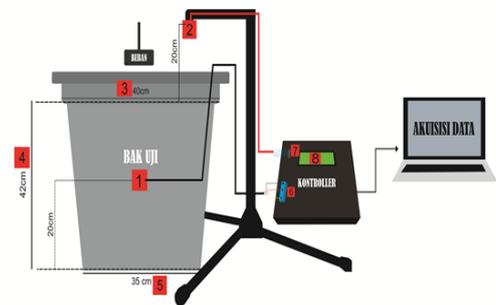
Gambar 1. Rapid Impact Compaction

Evaluasi penggunaan rapid impact compaction selama ini diturunkan dari pengalaman lapangan saja. sehingga pada penelitian ini akan dibuat pada skala laboratorium dengan menggunakan beberapa sensor yang akan diujicobakan, untuk mengetahui besarnya perubahan tekanan tanah jika diberi tumbukan, besarnya deformasi tanah dan besarnya tekanan air pori akibat tumbukan tersebut. Selanjutnya akan dilihat kinerja dari sensor dan divalidasi hasil pengukurannya sesuai dengan rumus dan teori yang telah ada.

II. METODOLOGI

A. Deskripsi Umum

Untuk besarnya perubahan tekanan tanah digunakan sensor earth pressure cell, untuk perubahan deformasi tanah digunakan sensor ultrasonic dan untuk tekanan air pori digunakan sensor pore water pressure. Rancangan keseluruhan *Rapid Impact Compaction* skala laboratorium ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2. Rancangan Keseluruhan Sistem RIC

B. Perancangan perangkat keras

1. Perancangan pengukuran tekanan tanah dengan sensor Earth Pressure Cell

Sensor ini menggunakan strain gauge. Strain gauge di konfigurasi menjadi rangkaian jembatan penuh wheatstone yang di pasang pada *sensing plate*. Karena sensor menggunakan strain gauge maka sensor ini bekerja ketika ada tekanan pada sisi sensing plate yang mengakibatkan strain gauge akan mengalami deformasi. Deformasi pada strain gauge mengakibatkan perubahan nilai resistansi, sehingga rangkaian jembatan wheatstone dari strain gauge menjadi tidak seimbang.

Sensor earth pressure cell yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut

- Output rated 0.66 mV/V

- b. Sensitifitas 3.3μV/KPa
- c. Resistansi *full bridge* 350 Ω
- d. Tegangan Eksitasi 3-12V

Penguat instrument yang digunakan adalah sebuah modul penguat instrumen dengan IC AD620 sebagai komponen utama penguat. Modul ini memungkinkan dilakukan pengaturan gain yang dibutuhkan dengan mengatur potensiometer yang terdapat pada modul AD620 dan menggunakan catu yang sesuai dengan hasil penguatan. Berikut spesifikasi singkat modul AD620

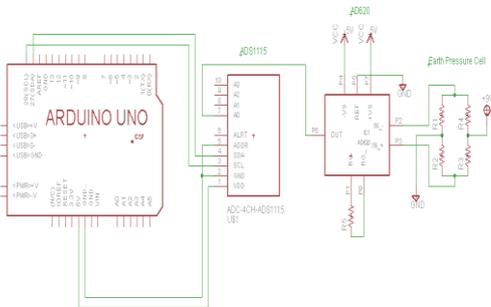
- a. Supply Range: 3-12VDC
- b. Gain 1.5-1000 kali
- c. Signal Output Range: ± (Vin-2V)

Penguat instrument dibutuhkan karena tegangan keluaran sensor sangat kecil yaitu dalam orde mikrovolt tidak dapat dibaca oleh mikrokontroler Arduino Uno tanpa dilakukan penguatan.

Modul ADC1115 16-bit digunakan untuk meningkatkan akurasi pembacaan tegangan dari modul penguat AD620. Modul ini dilengkapi dengan PGA (*Programmable Gain Amplifier*) dan *programmable comparator* . PGA mengatur nilai tegangan maksimum masukan yang akan dibaca oleh ADC yang memungkinkan menjangkau nilai tegangan yang sangat kecil untuk setiap bitnya. Untuk sistem ini digunakan nilai PGA 2/3 dengan ketelitian tiap bit sebesar 0.1875mV. spesifikasi singkat dari ADS1115 sebagai berikut:

- a. Low Current Consumption: Continuous Mode: Only 150μA.
- b. I2C Interface: 4-Pin-Selectable Addresses
- c. Internal PGA: up to x16
- d. Programmable Comparator

Sehingga rancangan keseluruhan alat adalah seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Skematik Rangkaian Elektronik Pengujian sensor Earth Pressure Cell

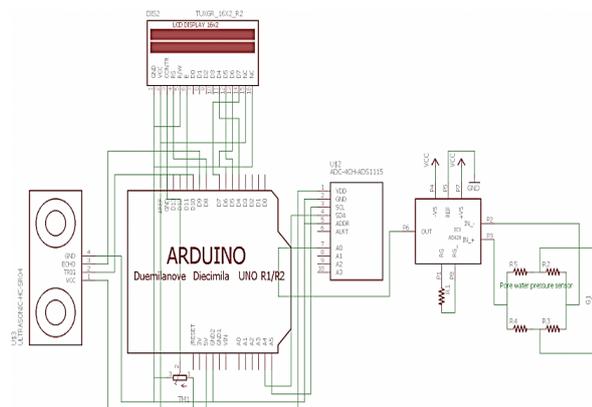
2. Perancangan pengukuran tekanan tanah dengan sensor ultrasonik dan pore water pressure

Cara kerja sistem ini adalah sensor akan membaca deformasi tanah dan juga tekanan air pori tanah secara *realtime*. Tanah didalam bak uji akan ditumbuk dengan berat beban dan juga kedalaman sensor tekanan air pori yang berbeda-beda hingga mengalami runtuh. Berat beban yang diberikan pada palu tumbuk yakni sebesar 2kg, dan 3kg . Frekuensi tumbukan yakni 30- 40kali tumbukan tiap beban. Ketika dilakukan tumbukan sensor ultrasonik mulai membaca tegangan yang dihasilkan oleh deformasi atau runtuh tanah hasil tumbukan, begitupula dengan sensor tekanan air akan membaca berapa tegangan yang didapat oleh sensor dari hasil penyaringan air pori. Beban terbuat dari semen dan pipa sebagai pegangan untuk menumbuk dengan masing-masing berat yang telah ditentukan seperti ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Bak uji dan beban uji

Adapun rangkaian keseluruhan seperti ditunjukkan pada gambar 5. Dimana komponen utama yang digunakan adalah arduino sebagai pusat kontrol dari semua komponen yang ada. Adapun pin arduino yang dipergunakan sebanyak 12 pin yang terhubung langsung ke modul ADS1115, modul AD620 , LCD 16x2, dan sensor ultrasonik tipe JSN SR-04T, seperti ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Skematik Rangkaian Elektronik pengujian sensor sensor ultrasonik dan pore water pressure

Sehingga rancangan keseluruhan alat adalah seperti pada gambar 6

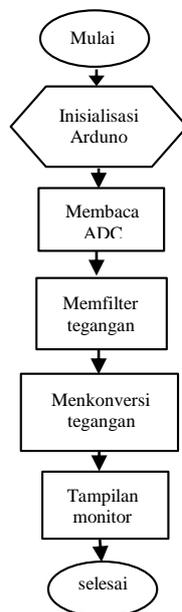


Gambar 6. Rangkaian alat keseluruhan

C. Perancangan Perangkat Lunak

1. Pengukuran tekanan tanah dengan sensor Earth Pressure Cell

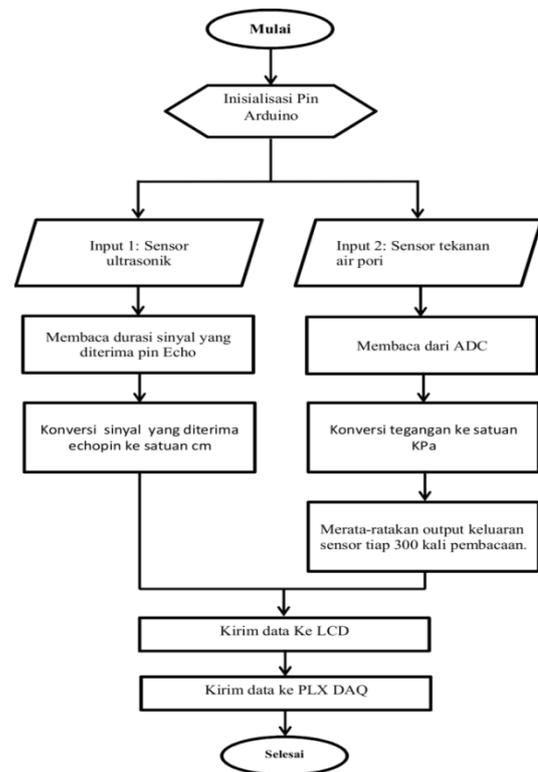
Perangkat lunak adalah istilah umum untuk data yang diformat dan disimpan secara digital, berbeda dengan perangkat keras karena merupakan bagian sistem yang tidak berwujud. Perancangan ini terdiri atas perancangan perangkat lunak pada Arduino UNO R3 dengan menggunakan Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) yang menggunakan bahasa pemrograman Arduino yang berbasis bahasa C++. Perancangan ini perangkat lunak ini dapat digambarkan seperti *flowchart* pada gambar 7.



Gambar 7. Flowchart Program

2. Pengukuran tekanan tanah dengan sensor ultrasonik dan pore water pressure

Untuk perancangan perangkat lunak ini dapat digambarkan seperti *flowchart* pada gambar 8.



Gambar 8. Flowchart Program

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengukuran tekanan tanah dengan sensor Earth Pressure Cell

Pengujian sistem dilakukan berdasarkan besarnya jarak peletakan sensor pada permukaan tanah. Konversi tegangan menjadi tekanan menggunakan persamaan[3] :

$$\text{Physical quantity (Kpa)} = \frac{e}{A * 0.5E * S} \quad (1)$$

dengan:

e : Sensor output voltage (μV)

E : Excitation Voltage (V)

S : Sensitivity ($3.3 \mu\text{V}$)

A : Gain

Persamaan diatas diperoleh berdasarkan persamaan konversi *strain* (regangan) menjadi tegangan untuk sensor bertipe *full bridge* yang menggunakan *strain gauge*. *Strain* merupakan perubahan panjang *strain gauge* dibagi panjang total dari *strain gauge* dimana nilainya dinyatakan dalam satuan $\mu\epsilon$. Perhitungan *strain* berdasarkan data kalibrasi menggunakan persamaan berikut:

$$\text{strain output} = \text{Tekanan} * S \quad (2)$$

Dimana S merupakan *sensitivity* sensor yaitu sebesar $3.3\mu\epsilon / \text{KPa}$. Sedangkan Berdasarkan persamaan (1), *strain* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\text{strain output} = \frac{\text{Tegangan}}{A * 4.5} \quad (3)$$

Untuk peletakan sensor persis diatas tanah. Hasil yang diperoleh untuk beban 1 kg dan 2,5 kg seperti ditunjukkan pada tabel 1 dan 2.

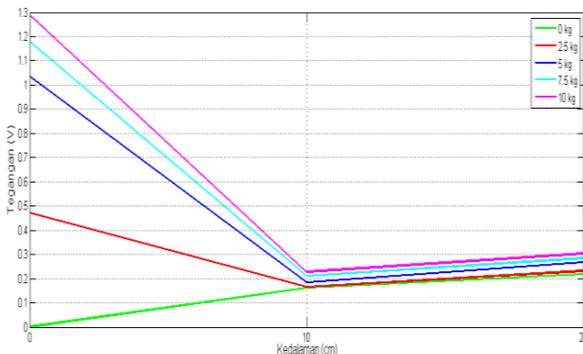
TABEL 1
HASIL PENGUKURAN TEGANGAN DENGAN KENAIKAN BEBAN 1 KG

Beban (kg)	Tegangan Rata-rata (V)	Tekanan (KPa)	Strain berdasarkan		Persentase beda (%)
			Data Kalibrasi (µε)	Persamaan 1 (µε)	
1	0.034	10.13	33.44	33.28	0.4620
2	0.492	145.98	481.72	481.65	0.0172
3	0.803	238.35	786.54	786.09	0.0563
4	1.033	306.37	1011.01	1011.26	0.024
5	1.055	312.97	1032.79	1032.79	0.00005
6	1.094	324.39	1070.49	1070.97	0.045
7	1.455	431.59	1424.26	1424.37	0.008

TABEL 2
HASIL PENGUKURAN TEGANGAN DENGAN KENAIKAN BEBAN 2.5 KG

Beban (kg)	Tegangan Rata-rata (V)	Tekanan (KPa)	Strain berdasarkan		Persen tase beda (%)
			Data Kalibrasi (µε)	Persamaan 1 (µε)	
2.5	0.472	139.91	461.72	462.06	0.0742
5	1.036	305.02	1006.56	1014.19	0.7587
7.5	1.178	349.25	1152.54	1153.21	0.0582
10	1.29	382.76	1263.12	1262.85	0.0211

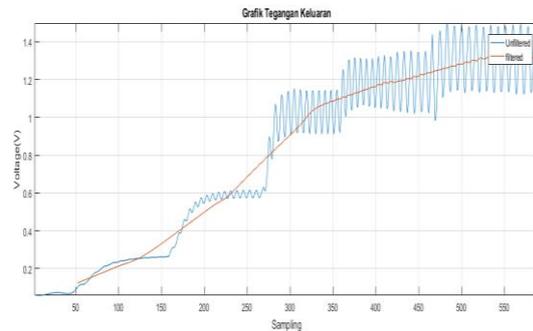
Dari hasil pengujian diperoleh persentase beda dari hasil yang diperoleh dari data kalibrasi dan teori rata-rata cukup kecil yaitu 0,138 %. Semakin besar tegangan keluaran sensor maka semakin kecil persentase beda antara keduanya. Sedangkan untuk beban yang berubah dengan kenaikan 2,5 kg dengan dengan kedalaman yang berbeda yaitu 10 cm dan 20 cm diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada gambar 9.



Gambar 9. Grafik Posisi Letak Sensor Terhadap Tegangan Keluaran untuk Massa Beban yang Berbeda.

Sedangkan untuk uji beban dinamis yaitu yaitu dengan cara meletakkan beban dengan massa yang berubah-ubah pada sensor yang bertujuan untuk melihat respon keluaran tegangan sensor terhadap perubahan massa beban. Data hasil pembacaan tegangan direkam

menggunakan software MegunoLink. Hasil pengujian dapat ditunjukkan pada gambar 10. Gambar tersebut merupakan grafik tegangan terhadap jumlah pembacaan tegangan setiap 200 ms oleh mikrokontroler dengan filter dan tanpa filter.



Gambar 10. Grafik Tegangan dengan menggunakan moving average filter

Dari pengujian ini diperoleh bahwa sistem instrumentasi yang dibuat dapat mengukur nilai perubahan tegangan yang dihasilkan untuk beban dinamis.

2. Pengukuran tekanan tanah dengan sensor pore water pressure

Pengujian instrumen dilakukan dua kali yakni pengujian tekanan air pori dan deformasi tanah. Pengujian tekanan air pori terdiri dari tekanan statis dan tekanan dinamis yang masing-masing diatur dengan kedalaman sensor 5 cm, 8 cm, 12 cm, 15 cm, dan 20 cm. Dan pengujian deformasi tanah dilakukan sebanyak dua kali pengambilan data yakni beban 2 kg dan 3 kg. Untuk Pengujian Tekanan air pori statis seperti ditunjukkan pada tabel

TABEL 3
PENGUJIAN TEKAPAN AIR PORI STATIS

Kedalaman Peletakan Sensor (cm)	Tegangan Output (V)	Tekanan air Pori hasil uji (kPa)	Tekanan air Pori Teori (kPa)	Persentase Beda Uji dan Teori
0	0.0003	0.0238	0	0
5	0.0071	0.5057	0.5	1.143
8	0.01123	0.7937	0.8	0.785
12	0.0171	1.2115	1.2	0.961
15	0.0211	1.4908	1.5	0.609
20	0.0281	1.9842	2	0.786

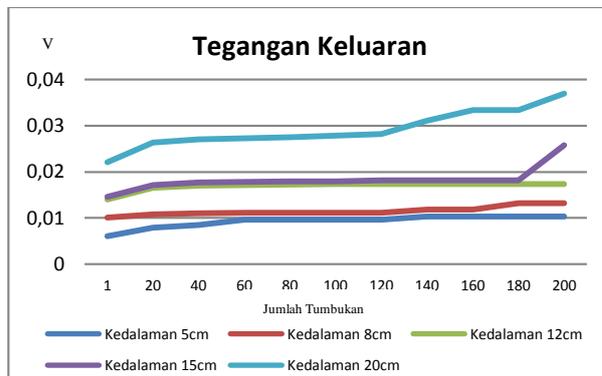
Dari tabel di peroleh beda antara teori dan praktek cukup keci yaitu rata-rata 0,714%.Validasi yang digunakan untuk menghitung presentase beda adalah rumus berdasarkan teori yang sudah ada yakni sebagai berikut :

$$\mu = \gamma w \cdot h \tag{4}$$

dimana
 μ : tekanan air pori

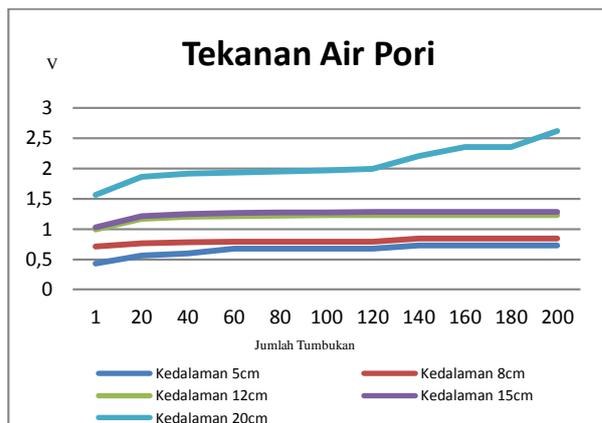
γ_w : berat jenis air
 h : kedalaman sensor

Untuk Pengujian Tekanan air pori beban dinamis seperti ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11 Grafik Tegangan Keluaran Beban Dinamis

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa tegangan keluaran untuk masing masing kedalaman sensor terus meningkat, seiring dengan semakin banyaknya jumlah tumbukan hingga penumbukan yang ke 30. Perbedaan tegangan yang tidak begitu signifikan terjadi pada kedalaman 12 cm dan 15 cm(hijau dan ungu).



Gambar 12. Grafik Tekanan Air Pori Beban Dinamis

Grafik diatas menggambarkan hasil uji coba tekanan air pori dinamis pada ketinggian 12 cm dan 15 cm kenaikannya tidak terlalu besar , namun ketika mencapai tumbukan ke 30 telah melewati tekanan statis air porinya. Tekanan air pori maksimal yang di dapat pada beban 2 kg adalah 0.73 KPa untuk kedalaman 5 cm, 0.84 KPa untuk kedalaman 8cm, 1.23 KPa untuk kedalaman 12 cm, 1.82 KPa untuk kedalaman 15 cm, 2.61 KPa untuk kedalaman 20 cm.

3. Pengukuran Deformasi Tanah dengan sensor Ultrasonic

Pada pengujian ini diperlukan plat alas penumbuk agar semua sisi dari tanah turun sejajar. Plat alas penumbuk ini ini dibuat dari campuran semen dan pasir dengan diameter hamper sama dengan ukuran diameter bak uji sehingga sensor ultrasonic dapat diletakkan di

bagian pinggir bak uji agar tidak terhalang oleh penumbuk .

Sensor ultrasonic harus diletakkan 20cm diatas permukaan plat yang telah dibuat agar perubahan tinggi dapat terbaca. Tinggi tanah awal tetap sama yakni 30 cm , hanya saja peletakan sensor yang di sesuaikan dengan penambahan tinggi dari plat alas tumbukan yang telah dibuat. Berikut gambar bak uji untuk pengujian deformasi tanah. Pengujian dilakukan pada beban tumbukan 2 kg dan tumbukan 5 – 50 kali tumbukan. Hasil Pengujian dapat dilihat pada tabel 4.

TABEL 4
 TABEL PENGUJIAN DEFORMASI TANAH BEBAN 2KG

No	Jumlah Tumbukan	Deformasi
1	5	1.11 cm
2	10	2.57 cm
3	15	3.39 cm
4	20	4.71 cm
5	25	5.27 cm
6	30	5.51 cm
7	35	5.83 cm
8	40	6.26 cm
9	45	6.67 cm
10	50	6.87 cm

Pada tabel 4 menunjukkan banyaknya tumbukan yakni 5 hingga 50 kali tumbukan. Pada tumbukan ke 5 telah terjadi deformasi hingga 1.11 cm dan hingga tumbukan ke 50 terjadi deformasi sebesar 6.87 cm.

IV. KESIMPULAN

Sistem instrumentasi elektronik yang dibangun dapat berfungsi dengan baik, terbukti dengan hasil yang diperoleh untuk pengukuran dengan sensor *Earth Pressure Cell* diperoleh presentase kesalahan dari pengujian untuk beban statis rata-rata cukup kecil yaitu 0,138%. Sehingga sensor dapat digunakan untuk mengukur tekanan lapisan tanah apabila diberi beban. Pada beban dinamis diperoleh bahwa tegangan keluaran sensor berbanding lurus dengan tekanan yang diberikan pada sensor, yang berarti semakin besar tekanan pada sensor maka semakin besar tegangan keluaran sensor.

Pada pengukuran tekanan air pori, tegangan keluaran sensor berbanding lurus dengan tekanan yang diberikan baik tekanan statis maupun dinamis. Pada tekanan statis presentase beda yang didapatkan antara rumus dan pengujian sensor rata-rata 0,714 %. Pada pengujian tekanan air pori dinamis menunjukkan bahwa pada kedalaman tertentu, terdapat batasan nilai tekanan pori untuk jumlah tumbukan, artinya walaupun tumbukan terus dilakukan tidak merubah nilai tekanan air pori.. Pengukuran deformasi tanah menunjukkan bahwa semakin besar frekuensi tumbukan maka semakin cepat pula penurunan tanah .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mathieu, Lamandé; Keller, Thomas; Berisso, Feto; Stettler, Matthias; Schjønning, Per., "Accuracy of soil stress measurements as affected by transducer dimensions and shape," *Soil and Tillage Research*, no. 145, pp. 72-77, 2014.
- [2] Bashar, Tarawneh; Mounir, Matraji., "Ground improvement using rapid impact compaction: case study in Dubai," *Gradevinar*, vol. 11, no. 66, pp. 1007-1014, 2014.
- [3] KYOWA, "Relations between Transducer Output Signals in Strain and Voltage,"2018.[Online]. Available :http://www.kyowa-ei.com/eng/technical/notes/transducers/strain_voltage.html.
- [4] KYOWA, "Conversion of Measured Strain or Output Voltage into Physical Quantity," 2018.W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems* (Book style). Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.
- [5] Geovanne P, Furriel; J. Alves, Aylton; P. Calixto, Wesley; R. Silva, Brunna C; Matias, Calebe A; Silva, Uyara., "Methodology for Validating Measurement Systems of Soil Compaction," 2016.
- [6] Adam, Dietmar, and Ivan Paulmichl. "RAPID IMPACT COMPACTOR –AN INNOVATIVE DYNAMIC ." *Improvement of Soil Properties*, 2007: 184-185
- [7] Sompie, Oktavian B. A., and Christian Pontororing. "Analisis Tegangan-Regangan, Tekanan Air Pori Dan Stabilitas Model Dam Timbunan Tanah." *Jurnal Ilmiah Media Engineering Vol.4 No.4*, 2014: 206.
- [8] R. J. Hansman Jr., "Characteristics of Instrumentation," in *Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook* , United States, CRC Press LLC, 1999, pp. 25-32.B. Smith, "An approach to graphs of linear forms (Unpublished work style)," unpublished.
- [9] J. Fraden, *Handbook of Modern Sensors Physics, Designs, And Applications*, New York: Springer, 2010.
- [10] "Arduino - Introduction," [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>