

# Sistem Instrumentasi Elektronik pada Rapid Impact Compaction untuk Menentukan Tekanan Air Pori dan Deformasi Tanah

Khaerul Imam Herman, Zahir Zainuddin, A. Ejah Umraeni Salam  
Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin  
Jalan Perintis Kemerdekaan Km. 10 Makassar 90245 Indonesia

**Abstrak** – Pengembangan *Rapid Impact Compaction* skala laboratorium belum dilengkapi dengan sistem elektronik untuk mengukur tekanan air pori dan deformasi tanah sehingga diperlukan suatu sistem untuk menyelesaikan masalah tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang suatu sistem elektronik menggunakan sensor ultrasonik tipe JSN SR04T dan *pore water pressure sensor* dengan tekanan maksimal 200 KPa untuk mengukur tekanan air pori dan deformasi tanah serta menghasilkan keluaran sensor sesuai dengan rumus dan teori yang telah ada. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa tekanan air pori tanah beban statis setelah divalidasi dengan rumus presentase kesalahan terbesar yakni 1.142% dan terkecil 0.6%, sementara tekanan air pori dinamis dan deformasi tanah mengalami peningkatan sesuai dengan banyaknya tumbukan.

**Kata Kunci** : *pore water pressure sensor*, *Sensor ultrasonik*, *Rapid Impact Compaction*, *tekanan air pori tanah*, *deformasi tanah*

## PENDAHULUAN

Pemadatan (*compaction*) adalah proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel dengan cara mekanis, sehingga terjadi reduksi volume udara jika tidak terjadi perubahan atau penambahan volume air yang cukup berarti pada tanah. Bila air ditambahkan pada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai pelarut atau pelumas pada partikel-partikel tanah. Dengan melakukan pemadatan tanah diharapkan memperoleh tanah yang stabil dan memenuhi persyaratan teknis untuk dijadikan tanah timbunan. Pada saat ini proses pemadatan tanah untuk timbunan telah banyak menggunakan metode *Rapid Impact Compaction*.<sup>[1]</sup>

Evaluasi penggunaan *rapid impact compaction* selama ini diturunkan dari pengalaman lapangan saja. Untuk itu dibuat alat uji skala laboratorium untuk mengetahui deformasi tanah timbunan dan tekanan air porinya. Untuk penelitian ini penulis hanya menangani tabung instrument pengukur untuk deformasi tanah dan tekanan air pori berbasis mikrokontroler.

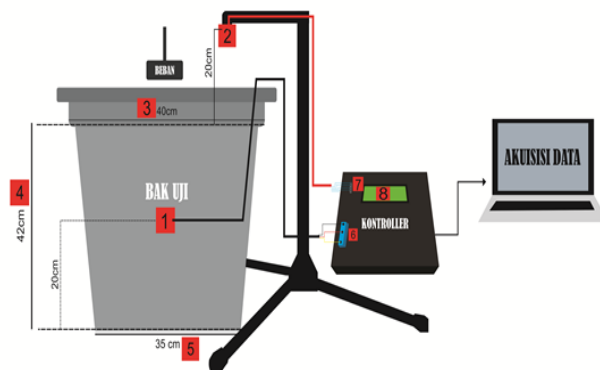
Deformasi adalah perubahan bentuk, posisi, dan dimensi dari suatu benda <sup>[1]</sup>. Dalam hal ini adalah runtuhannya. Penentuan deformasi tanah pada saat dan setelah tumbukan menggunakan sensor *ultrasonic* yang tahan terhadap air yakni jenis JSN-SR04T.

Tekanan air pori ( $u$ ) adalah tekanan air pengisi pori-pori di antara partikel-partikel padat. Besarnya tekanan air pori sama pada semua arah dan bekerja pada seluruh permukaan partikel tetapi volume partikel diasumsikan tidak berubah. Untuk tekanan air pori akan diukur menggunakan *pore water pressure sensor*. Sensor ini dipasang dengan kedalaman berbeda-beda yakni 5cm, 8cm, 12 cm, 15 cm dan 20cm. Jadi sensor ini ditanam di dalam tanah.

Kedua sensor ini di hubungkan ke mikrokontroler arduino UNO dan data hasil pengukuran ditampilkan pada LCD dan juga *software* PLX DAQ.

## I. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem penelitian ini berfokus pada sensor yang digunakan untuk menentukan tekanan air pori tanah dan juga deformasi tanah. Berikut rancangan keseluruhan *Rapid Impact Compaction* skala laboratorium :



**Gambar 1** : Rancangan Keseluruhan Sistem RIC

**Gambar 1** menjelaskan system RIC secara keseluruhan, bak uji berupa ember dengan tinggi total 35cm (4), diameter bak 30cm (5). dan diletakkan tanah hingga ketinggian 30 cm. Sensor akan diletakkan pada kedalaman 5cm, 8cm, 12 cm, 15 cm, dan terakhir 20cm (1). Kontroler terdiri dari 3 bagian utama yakni port untuk sensor tekanan air pori (nomor 6), port untuk sensor ultrasonik (nomor 7), dan display berupa lcd 16x2 (nomor 8). Beban terbuat dari semen dan pipa sebagai pegangan untuk menumbuk dengan masing-masing berat yang telah ditentukan.

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 runtuhannya. Berat beban yang diberikan pada palu tumbuk yakni sebesar 2kg. Frekuensi tumbukan

yakni 30 kali tumbukan tiap beban dan untuk deformasi 5-50 kali tumbukan. Ketika dilakukan tumbukan sensor ultrasonik mulai membaca tegangan yang dihasilkan oleh deformasi atau runtuhnya tanah hasil tumbukan, begitupula dengan sensor tekanan air akan membaca berapa tegangan yang didapat oleh sensor dari hasil penyaringan air pori .

Setelah itu tegangan yang dibaca oleh sensor tekanan air pori akan dikuatkan oleh AD620 berhubung keluaran sensor adalah microvolt. Setelah dikuatkan akan menuju ke ADC ADS1115 untuk menghasilkan pembacaan tegangan yang lebih presisi dan selanjutnya dikirim ke arduino dan diproses oleh arduino sesuai dengan program yang dimasukkan, sehingga menghasilkan keluaran dalam satuan senti meter (cm) untuk deformasi dan satu kilo pascal (kpa) untuk tekanan air pori. Hasil konversi tersebut akan di kirim ke lcd 16x2 untuk ditampilkan, dan juga ke computer untuk aukuisasi data dan time plotnya dengan perantara software PLX DAQ.

Perancangan sistem terbagi atas perancangan perangkat keras dan perangkat lunak

## II.1 Perancangan Perangkat Keras



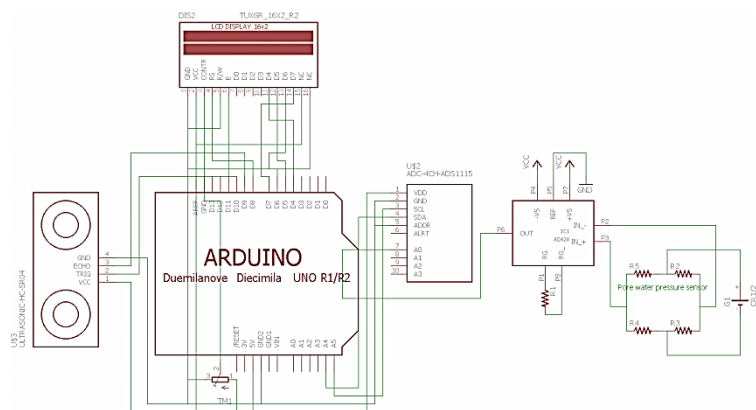
Gambar 2. Bak Uji



Gambar 3. Beban Uji



Gambar 4. Kotak Kontrol



Gambar 5. Skematik Rangkaian elektronik

Pada gambar 5 menjelaskan 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.

Untuk sensor pengukur tekanan air pori tanah pada gambar 5 hanya direpresentasikan dengan rangkaian jembatan wheatstone yang merupakan prinsip dasar dari kerja sensor tekanan air pori. Pembuatan jembatan wheatstone terdiri dari empat buah resistor 350 k $\Omega$  yang dihubungkan dengan baterai 9v sebagai sumber eksitasi dan juga dihubungkan ke modul AD620 sebagai data S+ dan data S-. Modul AD620 memiliki 8 pin yang terletak dibagian kiri dan kanannya yang masing-masing terdiri dari empat pin. Pin sebelah kiri dari atas ke bawah masing-masing dihubungkan ke pin 5v arduino, pin GND arduino, S- pada sensor tekanan air pori , dan S+ sensor tekanan air pori. Pada sisi kanan modul AD620 dari atas ke bawah secara berurut dihubungkan ke sumber -5v, GND dari sumber -5v, pin ke 3 sebagai output AD620 dihubungkan ke pin A0 dari modul ADS1115.

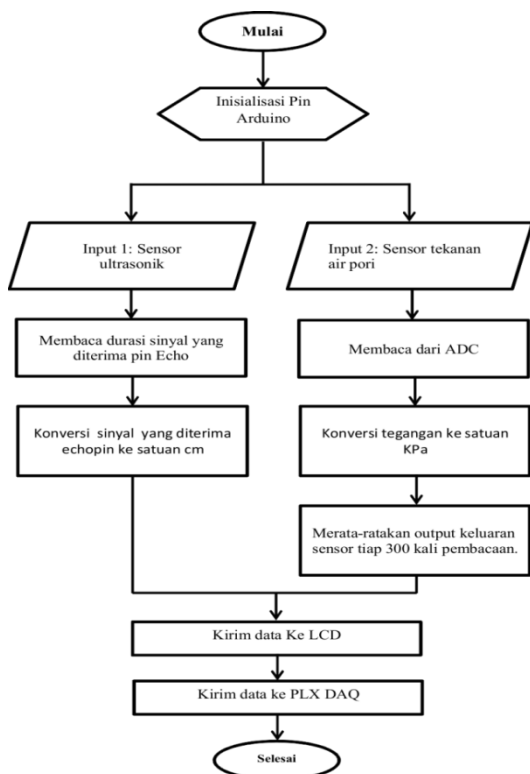
Untuk modul ADS1115 memiliki jumlah pin sebanyak 10 buah, namun pada rancangan sistem ini hanya digunakan sebanyak 6 pin yakni pin 1 dihubungkan ke pin 5v arduino, pin 2 dihubungkan ke pin GND arduino, pin ke 3 dan 4 sebagai I2C SCL dan SDA dihubungkan ke pin A5 dan A4 arduino, pin 5 sebagai pengalamanan dihubungkan ke GND arduino, dan yang terakhir pin A0 terhubung dengan output dari modul AD620 karena pada sistem ini menggunakan *single mode*.

Pada LCD 16x2 jumlah keseluruhan pin yakni 16 buah namun di sistem ini hanya dipergunakan

sebanyak 12 pin yakni pin 1 dan 5 terhubung dengan pin GND arduino , pin 2 terhubung ke pn 5v arduino, pin 3 terhubung ke trimpot sebagai pengatur kontras tampilan LCD, pin 4 dan 6 masing-masing terhubung ke pin digital 1 dan 2 arduino. Karena LCD ini merupakan lcd karakter 4 bit maka pin data yang terhubung sebanyak 4 buah yakni DB4-DB7 masing-masing dihubungkan ke pin digital 4,5,6,dan 7 arduino. LCD ini dilengkapi dengan *backlight* yang untuk mengaktifkannya dengan menghubungkan pin 15 dan 16 LCD ke pin 5v dan GND arduino.

Untuk rangkaian sumber -5V menggunakan trafo ct *step down* untuk menurunkan tegangan sumber AC. Kemudian terdapat 4 buah dioda untuk membuat rangkaian penyearah setengah gelombang yang berfungsi menyearahkan siklus + dan - dari sumber ac keluaran trafo. Siklus negatif yang telah disearahkan masuk ke ic LM7805 siklus positifnya masuk ke ic LM7905. Pada dasarnya kedua ic ini merupakan regulator tegangan, perbedaannya hanya pada posisi pin GND dan VCC nya. Output dari LM7805 akan menjadi supply +5v DC dan output dari LM 7905 menjadi supply -5v DC. Untuk sensor ultrasonic tipe JSN SR04T diwakilkan menggunakan sensor ultrasonic tipe HCSR04. Hal ini karena keterbatasan library *software* fritzing yang tidak memiliki sensor ultrasonic tipe JSN SR04T. Namun pada dasarnya jumlah pin yang dimiliki tiap sensor sama yakni 4 buah . Pin tersebut adalah pin VCC dihubungkan ke pin 5V arduino, pin Trigger dihubungkan ke pin digital 9 arduino, pin echo dihubungkan ke pin digital 10 arduino, dan pin GND dihubungkan ke GND arduino.

## II.2 Perancangan Perangkat Lunak



Gambar 6. Flowchart Program

Perancangan ini meliputi perancangan perangkat lunak 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 6.

## III. Hasil dan Pembahasan

Secara umum 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 5cm, 8cm, 12cm, 15cm, dan 20cm. Dan pengujian deformasi tanah dilakukan sebanyak dua kali pengambilan data yakni beban 2kg dan 3kg.

### III.1. Tekanan Air Pori

Tabel 1. Tabel Pengujian Tekanan Air Pori Statis

No	Kedalaman Peletakan Sensor(cm)	Tegangan Output (V)	Tekanan air Pori Hasil Uji (KPa) A	Tekanan air Pori Teori (Kpa) B	Presentase Beda A&B(%)
1	5	0.0071548	0.5057141	0.5	1.14282
2	8	0.0112295	0.7937182	0.8	0.785225
3	12	0.0171408	1.2115373	1.2	0.961442
4	15	0.0210929	1.490868	1.5	0.6088
5	20	0.0280734	1.9842819	2	0.785905

Tabel 1. diatas menjelaskan hasil pengujian tekanan air pori statis dengan melakukan 6 kali percobaan di setiap kedalaman sensor yang berbeda-beda. Tabel diatas menampilkan rata-rata tegangan output sensor dari setiap kedalaman sensor. Selain itu juga terdapat kolom yang menampilkan tekanan air pori statis hasil pembacaan instrument dari masing-masing kedalaman sensor. Selanjutnya dibandingkan dengan tekanan air pori statis berdasarkan rumus dan di dapatkan presentase beda dari tiap-tiap kedalaman sensor.

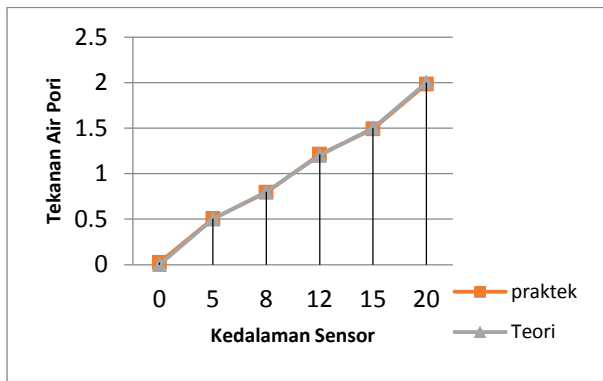
Validasi yang digunakan untuk menghitung presentase beda adalah rumus berdasarkan teori yang sudah ada yakni sebagai berikut :

$$\mu = \gamma_w \cdot h$$

dimana  $\mu$  = tekanan air pori

$\gamma_w$  = berat jenis air

$h$  = kedalaman sensor



Gambar 7. Grafik Tekanan Air Pori Statis

Dari percobaan yang dilakukan presentasi kesalahan cukup kecil, dimana presentase kesalahan terbesar hanya pada kedalaman 5 cm yakni 1.14282%. Dan presentase kesalahan terkecil adalah 0.6088% yakni pada kedalaman 15 cm. Dari grafik diatas juga dapat dilihat bahwa kedalaman sensor berbanding lurus dengan tekanan air pori yang dihasilkan.

Tabel 2. Tabel Tegangan keluaran Pengujian Tekanan Air Pori Dinamis Beban 2kg

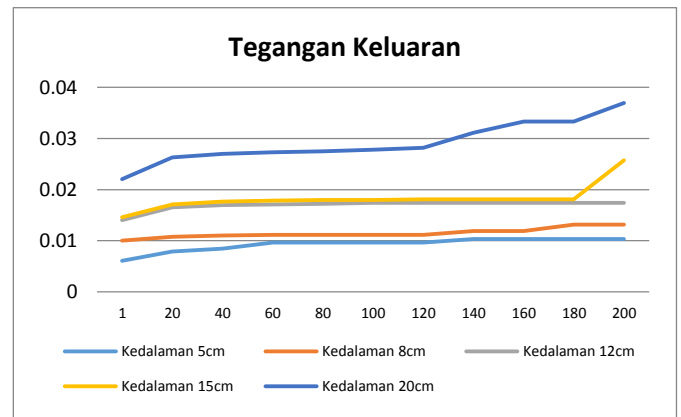
No.	Tegangan Keluaran pada Ketinggiaan (V)				
	5 cm	8 cm	12 cm	15 cm	20 cm
1	0.0061	0.01005	0.01401	0.0145725	0.022071
20	0.0079	0.01075	0.01655	0.0171192	0.0263154
40	0.0085	0.01104	0.01698	0.0176851	0.0270228
60	0.0096	0.01118	0.01712	0.0178266	0.0273058
80	0.0096	0.01118	0.01726	0.017968	0.0275189
100	0.0096	0.01118	0.0174	0.017968	0.0278037
120	0.0096	0.01118	0.0174	0.0181095	0.0282105
140	0.0103	0.01188	0.0174	0.0181095	0.0311251
160	0.0103	0.01188	0.0174	0.0181095	0.0333269
180	0.0103	0.01316	0.0174	0.0181095	0.0333269
200	0.0103	0.01316	0.0174	0.0257636	0.0369885

Tabel 3. Tabel Pengujian Tekanan Air Pori Dinamis Beban 2kg

No.	Tekanan Air Pori Pada Ketinggiaan (KPa)				
	5 cm	8 cm	12 cm	15 cm	20 cm
1	0.430002	0.710003	0.990004	1.0300042	1.5600064
20	0.560002	0.760003	1.170005	1.2100049	1.8600076
40	0.600002	0.780003	1.200005	1.2500052	1.9100078
60	0.680003	0.790003	1.210005	1.2600052	1.9300079
80	0.680003	0.790003	1.220005	1.2700052	1.9456
100	0.680003	0.790003	1.230005	1.2700052	1.9657398
120	0.680003	0.790003	1.230005	1.2800052	1.9945001
140	0.730003	0.840003	1.230005	1.2800052	2.2005647
160	0.730003	0.840003	1.230005	1.2800052	2.3562311
180	0.730003	0.840003	1.230005	1.2800052	2.3562311
200	0.730003	0.840003	1.230005	1.2800053	2.614376

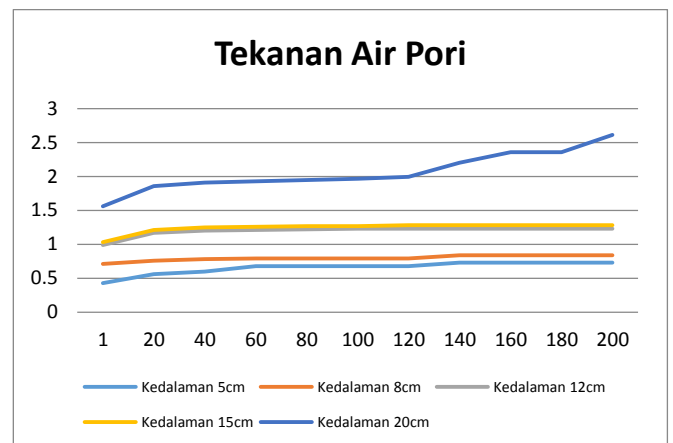
Pada table 2 dan 3 di atas menampilkan hasil pembacaan tegangan dan tekanan air pori dinamis oleh instrument dari tiap-tiap kedalaman sensor. Sample data yang diambil adalah data pada cuplikan data ke 1, 20, 40, 60, dan seterusnya yg berkelipatan 20. Secara umum tegangan dan tekanan terus bertambah namun pada beberapa data yang dicuplik tekanan air porinya sama karena memang membutuhkan waktu yang lebih untuk mengalami peningkatan.

Dapat dilihat bahwa seluruh tekanan air pori setelah diberi tekanan dinamis mengalami penambahan melebihi tekanan statisnya, namun ada keadaan dimana tekanan air porinya tidak bertambah lagi. Hal ini dikarenakan tekanan air pori memiliki tekanan maksimal pada setiap kedalamannya. Hal yang menjadi kendala pada penelitian beban dinamis ini adalah keadaan sensor yang turun pada saat ditumbuk sehingga perlu ditinjau ulang apakah yang di baca adalah tekanan air pada kedalaman awal atau keadaan setelah tumbukan. Hal ini disebabkan oleh jenis tanah yang digunakan sangat lunak. Berikut grafik keluaran tegangan dan keluaran tekanan penumbukan beban dinamis :



Gambar 8. 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 12cm dan 15 cm(hijau dan ungu).



Gambar 9. Grafik Tekanan Air Pori Beban Dinamis

Grafik diatas menggambarkan hasil uji coba tekanan air pori dinamis pada ketinggian 12cm 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 2kg adalah 0.730003KPa untuk kedalaman 5 cm, 0.840003 KPa untuk kedalaman 8cm, 1.230005KPa untuk kedalaman 12 cm, 1.821003 KPa untuk kedalaman 15 cm, 2.61438 KPa untuk kedalaman 20cm.

### III.2 Deformasi Tanah

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

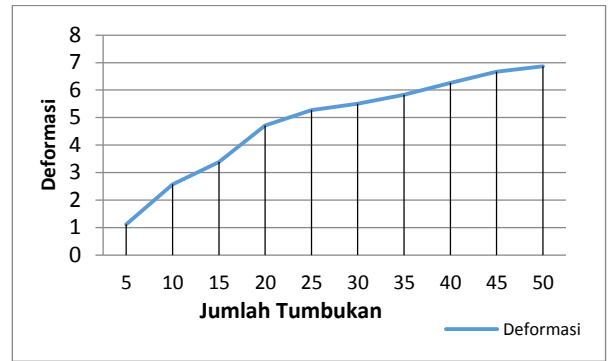
Sensor ultrasonic harus diletakkan 20cm diatas permukaan plat yang telah dibuat agar perubahan tinggi dapat terbaca. Tinggi tanah awal tetap sama yakni 30 cm , hanya saja peletakan sensor yang disesuaikan dengan penambahan tinggi dari plat alas tumbukan yang telah dibuat. Berikut gambar bak uji untuk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

Berikut tabel hasil pengujian deformasi tanah untuk beban 2 kg.

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.



Gambar 10 : Grafik Deformasi Tanah Beban 2kg

### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian pada sistem instrumentasi elektronik untuk mengukur tekanan air pori tanah dan deformasi tanah menggunakan pore water pressure sensor berbasis Arduino dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Rancangan sistem instrumentasi elektronik untuk mengukur tekanan air pori dan deformasi tanah yang telah dibuat dapat diaplikasikan dan dapat dikatakan berfungsi dengan baik.
2. Pada percobaan tekanan air pori, tegangan keluaran sensor berbanding lurus dengan tekanan yang diberikan. Pada tekanan statis presentase beda yang didapatkan antara rumus dan pengujian instrument yang tertinggi hanya 1.142% yakni pada kedalaman sensor 5cm dari permukaan tanah. Pada pengujian tekanan air pori dinamis grafik output sensor sesuai dengan pola yang telah ada. Pengukuran deformasi tanah menjelaskan bahwa semakin besar frekuensi tumbukan maka semakin cepat pula penurunan tanah .

### REFRENSI

[1] Craig, Robert F. Mekanika Tanah Edisi ke Empat. Dundee: ERLANGGA, 1989.

[2] 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.

[3] Dharmawan, Hari Arief. Mikrokontroler Konsep Dasar dan Praktis. Malang: UB Press, 2017.

[4] Adam, Dietmar, and Ivan Paulmichl. "RAPID IMPACT COMPACTOR –AN INNOVATIVE DYNAMIC ." Improvement of Soil Properties, 2007: 184-185

[5] ARDUINO - INTRODUCTION. 2018. [https://www.arduino.cc/en/Guide Introduction](https://www.arduino.cc/en/Guide%20Introduction) (accessed September 16, 2018)./

[6] Dinata, Yuwono Marta. Arduino Itu Mudah. Jakarta: PT. Alex Media Komputindo, 2015.

[7] Ihsan. Berkenalan Dengan Arduino Nano. 2016. <http://ecadio.com/mengenal-danbelajar-arduino-nano> (accessed September 20, 2018).

[8] "Arduino Board Uno." Arduino CC. 2018. [https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino UnoManual23.pdf](https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoUnoManual23.pdf) (accessed September 20, 2018).

- [9]Anonim, 2012. "LCD (Liquid Crystal Display)".  
<http://elektronikadasar.web.id/lcd-liquid-crystal-display/> diakses pada Sabtu, 19 Januari 2019 pukul 23:13 WITA
- [10] Andi, 2012, ADC (Analog To Digital Converter),  
<http://elektronikadasar.web.id/teori-elektronika/adc-analog-to-digital-conversion/>  
(diakses pada 19 Januari 2019 pukul 23:30 WITA
- [11] Syam, Rafiuddin. Dasar Dasar Teknik Sensor. Makassar: Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, 2013
- [12 ]Suryatmo, F.. Teknik Listrik Pengukuran. Jakarta : Bina aksara. 1986