



TESIS -SF142502

**PEMBUATAN ALAT UKUR KOEFISIEN
PERMEABILITAS TANAH MENGGUNAKAN SISTEM
AKUISISI DATA BERBASIS IoT (*Internet of Things*)**

FAHRUR ASLAMI

1114201012

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Melania Suweni Muntini, M.T

Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si,M.Si

PROGRAM MAGISTER

INSTRUMENTASI

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2016



THESIS SF-142502

**MANUFACTURING OF SOIL COEFFICIENT
PERMEABILITY METER WITH DATA ACQUISITION
SYSTEM BASED ON IoT (Internet of Things)**

Fahrur Aslami
1114 201 012

SUPERVISOR
Dr. Melania Suweni Muntini, M.T
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si,M.Si

MASTER PROGRAM
INSTRUMENTATION
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUTE OF TECHNOLOGY SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016

**Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

oleh :

**Fahrur Aslami
Nrp. 1114201012**

Tanggal Ujian : 27 Juni 2016

Periode Wisuda : September 2016

Disetujui oleh:

1. Dr. Dra. Melania Suweni Muntini, MT (Pembimbing) (.....)

NIP: 19641229 199002 2 001

2. Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si (Pembimbing) (.....)

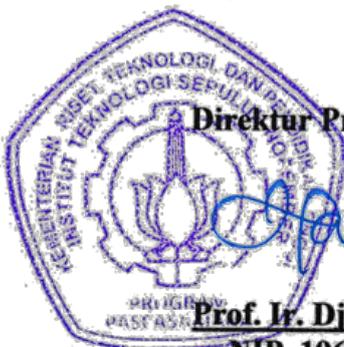
NIP: 19760123 200003 1 001

3. Prof. Dr.rer.nat. Bagus Jaya Santosa (Penguji) (.....)

NIP: 19620802 198701 1 001

4. Dr. Mashuri, S.Si, M.Si (Penguji) (.....)

NIP: 19691216 199402 1 001



Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc. Ph.D

NIP. 19601202 198701 1 001

**PEMBUATAN ALAT UKUR KOEFISIEN PERMEABILITAS TANAH
MENGUNAKAN SISTEM AKUISISI DATA BERBASIS IOT
(INTERNET of THINGS)**

Nama mahasiswa : Fahrur Aslami

NRP : 1114201012

Pembimbing : Dr. Melania Suweni Muntini, M.T
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si

ABSTRAK

Telah dibuat alat ukur koefisien permeabilitas tanah menggunakan sistem akuisisi data berbasis internet, peralatan pengukuran yang digunakan menggunakan prinsip *falling head permeameter*, sensor tekanan MPX10GP digunakan untuk mengubah besaran fisis level air menjadi besaran elektrik menggunakan teori tekanan hidrostatis. Rentang pengukuran level air adalah 6-40 cm, sehingga diperoleh ± 36 data nilai koefisien permeabilitas tiap satu cm. Data dari sistem pengukuran selanjutnya ditransmisikan kedalam jaringan internet, sehingga data dapat diakses melalui smartphone.

Dari percobaan yang telah dilakukan pada tiga sampel uji yakni tanah pada tanggul sungai Bengawan Solo, tanah lereng gunung dan tanah pada tanggul kolam ITS, masing-masing memberikan nilai koefisien permeabilitas sebesar $k = 0.000149$ cm/s, $k = 0.001207$ cm/s dan 0.000375 cm/s. Dengan data penelitian ini, diharapkan mampu menyusun peta pada daerah yang rawan terjadi bencana longsor secara cepat dan akurat.

Kata kunci: Koefisien Permeabilitas Tanah , Tekanan Hidrostatis.

MANUFACTURING COEFFICIENT PERMEABILITY METER WITH DATA ACQUISITION SYSTEM BASED ON IOT (INTERNET of THINGS)

Name : Fahrur Aslami
Student Identity : 1114201014
Advisor : Dr.Melania Suweni Muntini, M.T
Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si

ABSTRACT

Soil permeability coefficient and measuring instrument using a data acquisition system on internet has made, the measuring equipment used uses the principle of falling head permeameter , MPX10GP pressure sensor is used to change the physical quantities of water level becomes electrically scale use traditional theory of hydrostatic pressure . The measurement range is 6-40 cm water level , in order to obtain ± 36 permeability coefficient value of each one cm. The data from subsequent measurement system transmitted into the Internet network , so that data can be accessed by smartphone .

From the experiments that have been performed on three samples test the soil on the embankment of the river Bengawan Solo , the land slopes of the mountain and land on the embankment to an ITS , each providing a coefficient of permeability of $k = 0.000149 \text{ cm / s}$, $k = 0.001207 \text{ cm / s}$ and 0.000375 cm / s . With this research data, is expected to draw up a map of the area is prone to landslides quickly and accurately.

Keywords: Soil Permeability Coefficient, Hydrostatic pressure.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah (*subhanahu wa ta'ala*) atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya yang tiada terbatas dari waktu ke waktu, sehingga proposal tesis yang berjudul “*Pembuatan Alat Ukur Koefisien Permeabilitas Tanah Menggunakan Sistem Akuisisi Data Berbasis IoT(Internet of Things)*” ini dapat diselesaikan dengan baik. Sholawat dan Salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah tercinta, Muhammad (*sallallahu 'alaihi wa sallam*).

Proposal thesis ini ditulis dalam tiga Bab, yaitu Bab I Pendahuluan, Bab II Kajian Pustaka, Bab III Metode Penelitian. Bab I mencakup latar belakang, bagaimana rumusan masalah, tujuan, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan. Dalam Bab II dituliskan kajian pustaka Bab III menjelaskan secara rinci metode penelitian.

Penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada pihak-pihak yang telah membantu terselesaikannya proposal tesis ini. *Pertama*, orang tua penulis, Sujiwo dan Ibu Murtiningsih untuk kasih sayang, pengorbanan, dan doa. *Kedua*, ibu Dr. Melania Suweni Muntini, M.T dan Bapak Dr. Dwa Desa Warnana, S.Si, M.Si selaku pembimbing yang selalu memberi semangat, arahan, juga tantangan bagi penulis, serta teman-teman pascasarjana Fisika ITS angkatan 2014 yang telah banyak memberikan motivasi kepada penulis.

Akhirnya dengan penuh kesadaran penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak dalam menambah wawasan ilmiah dan mampu memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta memberi inspirasi bagi pembaca untuk pengembangan lebih lanjut.

Surabaya, Juli 2016

Fahrur Aslami

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|---------|
| HALAMAN JUDUL | |
| LEMBAR PENGESAHAN | i |
| ABSTRAK..... | ii |
| DAFTAR ISI..... | iv |
| DAFTAR GAMBAR..... | vi |
| KATA PENGANTAR..... | vii |
| BAB 1. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1. Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2. Rumusan Masalah..... | 1 |
| 1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian..... | 1 |
| 1.4. Batasan Masalah | 2 |
| 1.5. Sistematika Penulisan..... | 2 |
| BAB 2. KAJIAN PUSTAKA..... | 3 |
| 2.1 Tanah | 3 |
| 2.2 Laju aliran air dalam tanah | 4 |
| 2.2.1 Pengukuran permeabilitas tanah- laboratorium..... | 5 6 |
| 2.3 Karakteristik dasar alat ukur..... | 6 |
| 2.3.1 Ketelitian..... | 7 |
| 2.3.2 Linieritas..... | 7 |
| 2.3.3 Histerisis..... | 8 |
| 2.4 Kalibrasi..... | 9 |
| 2.5 Tranduser tekanan..... | 10 |
| 2.6 Akuisisi data..... | 11 |
| 2.6.1 Sistem akuisisi data menggunakan internet..... | 12 |
| 2.6.2 perangkat sistem akuisisi data..... | 15 |
| BAB 3. METODE PENELITIAN..... | 15 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1 Diagram alir penelitian..... | 16 |
| 3.2 Alat dan Bahan..... | 16 |
| 3.3 Studi literatur..... | 18 |
| 3.4 Design Alat ukur..... | 19 |
| 3.5 Teknik Kalibrasi..... | 20 |
| 3.5.1 Kalibrasi Sensor..... | 21 |
| 3.5.2 Kalibrasi Timer..... | 22 |
| 3.6 Persiapan bahan uji..... | 23 |
| 3.7 Pengujian bahan menggunakan permeameter..... | 22 |
| BAB 4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN..... | 25 |
| 4.1 data karakteristik alat ukur..... | 29 |
| 4.1.1 data transmisi menggunakan internet of things..... | 30 |
| 4.1.2 data penyimpanan sd card..... | 31 |
| 4.2 data pengukuran koefisien permeabilitas tanah..... | 34 |
| 4.3 pembahasan hasil pengujian sampel..... | 35 |
| 4.4 pengolahan data menggunakan inversi..... | 37 |
| BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN..... | 39 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 41 |
| LAMPIRAN..... | |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|---------|
| 2.1 Laju aliran rembesan pada DAM..... | 3 |
| 2.2 aliran air melewati tanah..... | 4 |
| 2.3 pengukuran menggunakan metode fallinghead (a) dan constant head permeameter(b)..... | 5 |
| 2.4 Kurva histerisis..... | 8 |
| 2.5 Fungsi temperetur terhadap output sensor mpx10gp..... | 9 |
| 2.6 Skema proses konversi data..... | 10 |
| 2.7 Sistem koneksi IoT..... | 11 |
| 2.8 Arduino board..... | 12 |
| 2.9 Modul Penyimpanan Data Menggunakan Kartu Memori..... | 13 |
| 3.1 Diagram alir penelitian..... | 15 |
| 3.2 skema kerja alat ukur..... | 17 |
| 3.3 Design alat ukur..... | 18 |
| 3.4 rangkaian datalogger..... | 19 |
| 3.5 skema kalibrasi level..... | 20 |
| 3.6 diagram alir pengukuran ketinggian..... | 21 |
| 3.7 kalibrasi timer..... | 22 |
| 3.8 tempat uji (a)tanggul lumpur lapindo Sidoarjo,(b)tanggul sungai bengawan solo di Bojonegoro..... | 23 |
| 4.1 Grafik hubungan tegangan output sensor dengan level air..... | 25 |
| 4.2 letak titik %FSO terbesar pada level 10,5..... | 26 |
| 4.3 histeris terjadi pada nilai level 11..... | 27 |
| 4.4 linieritas terjadi pada Vsebnarnya 3,365 dan 3,4161..... | 28 |
| 4.5 fungsi linier output sensor terhadap level..... | 29 |
| 4.6 diagram perbandingan hasil pengukuran koefisien permeabilitas tanah..... | 35 |
| 4.7 Hasil inversi sampel Bengawan Solo..... | 37 |

| | |
|--|----|
| 4.8 Hasil inversi sampel lereng gunung Ngantang..... | 38 |
| 4.9 Hasil inversi sampel kolam ITS..... | 38 |

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

1. KESIMPULAN

Setelah dilakukan penelitian tentang pengembangan alat ukur koefisien permeabilitas tanah ini, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah:

1. Alat yang dibuat dapat digunakan pada tiga sampel yang berbeda, yang masing-masing sampel memiliki nilai sebesar 0,000206 cm/s, 0,0016 cm/s, 0,000531 cm/s.
2. Sistem akuisisi data menggunakan IOT dapat diterapkan dalam sistem akuisisi data alat ukur ini.

2. SARAN

1. Untuk penelitian selanjutnya, penelitian tentang tekanan dari lingkungan yang dapat mempengaruhi tekanan awal cairan. Sehingga kalibrasi ulang terhadap tekanan awal terhadap ketinggian sebaiknya juga dipertimbangkan.
2. Pada proses pengambilan sampel tanah, hendaknya dilakukan secara hati-hati supaya tidak mengganggu struktur tanah.
3. Pengambilan data dilakukan ketika air yang melewati tanah dalam keadaan jenuh, hal ini ditunjukkan pada data alat ukur yang bernilai relatif konstan.

Daftar Pustaka

- Al-Khafaji, A.W., Andersland, O.B., 1995. *Geotechnical Engineering & Soil Testing*. Oxford University Press, New York.
- Aslami, F. (2014), *Rancang Bangun Alat Ukur Koefisien Permeabilitas Tanah Menggunakan Metode Falling Head*, Tugas akhir ITS, Surabaya.
- Fraden, J. (2016), *Handbook Of Modern Sensor*, 5th edition, springer, switzerland.
- Gallage, J.T. (2013), "Laboratory Measurement Of Hydraulic Conductivity Function Of Two Unsaturated Soils During Drying And Wetting Processes", *soils and foundation*, Vol.7, hal. 417-430.
- Freescale Semiconductor, Inc, 2007. Sec3_MPX10_rev12_Updated.fm - MPX10DP-Freescale-Semiconductor-datasheet-66573.pdf [WWW Document]. URL <http://datasheet.octopart.com/MPX10DP-Freescale-Semiconductor-datasheet-66573.pdf>
- Jose, A.A. (2009), "Data Acquisition System For Steady State Hydraulic Soil Conductivity Measurement", *robotics and automotive mechanics conference*, Vol, hal. 397-401.
- Mukri, F.Z. (2012), "The Corellation Between Internal Erosion Resistances With The Hydraulic Conductivity Of Residual Soil", *engineering and industrial applications*, IEEE, hal. 850-854.
- Rusdi, R.M. (2015), "Land Evaluation Suitability For Settlement Based On Soil Permeability, Topography And Geology Ten Years After Tsunami In Banda Aceh, Indonesia", *remote sensing and space sciences*, ELSEVIER, hal. 207-215.
- Samadikun, S., Rio, R., Mengko, T., 1989. *Sistem Instrumentasi Elektronika*. ITB, Bandung.

Biografi Penulis



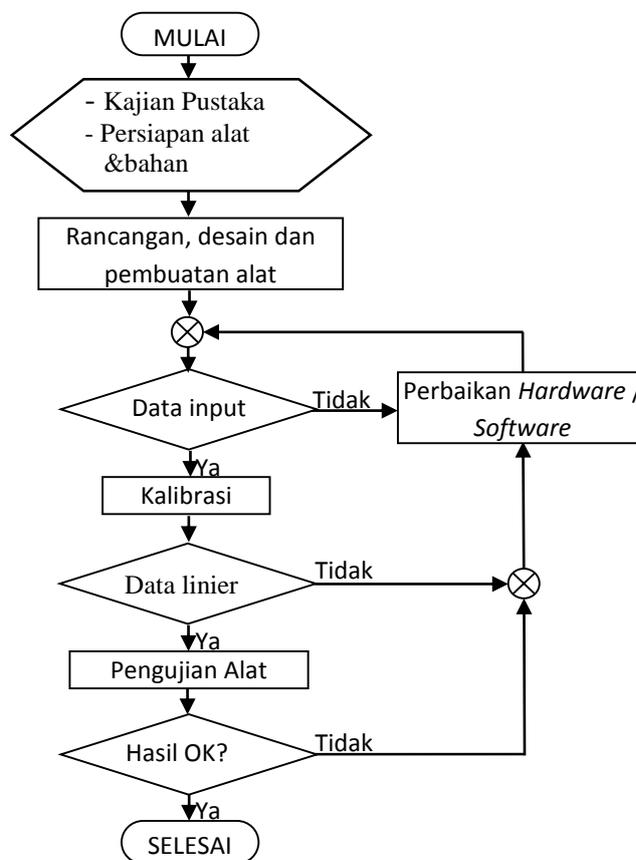
Penulis bernama Fahrur Aslami, lahir di Tulungagung pada tanggal 16 desember 1992. Pendidikan S1 ditempuh selama delapan semester di jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan NRP.1110100039 dan mengambil konsentrasi bidang instrumentasi dengan judul tugas akhir "*Rancang Bangun alat ukur koefisien permeabilitas tanah menggunakan metode falling head*" yang dibimbing oleh dosen instrumentasi Bpk.

Bachtera Indarto dan dosen teknik Geofisika Bpk. Dwa desa Warnana. Setelah menyelesaikan studi S1 pada tahun 2014, penulis melanjutkan studi S2 dengan NRP.1114201012, bidang yang diambil adalah instrumentasi dan meneruskan riset tentang pembuatan alat ukur tanah. Penulis dapat dihubungi melalui email fahruraslami@gmail.com dan no.Hp 081216214843.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah dalam melakukan penelitian tentang tesis ini digambarkan dengan diagram alir seperti diperlihatkan pada Gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.

Penelitian ini dimulai dengan kajian literatur, kemudian perancangan dan design alat. Alat dan bahan ditentukan berdasar pada penelitian sebelumnya yang menggunakan metode falling head permeameter. Kalibrasi dilakukan menggunakan penggaris, apabila data yang diperoleh linier, proses dilanjutkan pada pengujian alat. Objek yang akan diukur adalah sampel tanah jenis lempung dan tidak lempung.

Hasil akan dibandingkan dengan referensi pada buku (Al-Khafaji dan Andersland, 1995)

3.2 Alat dan Bahan

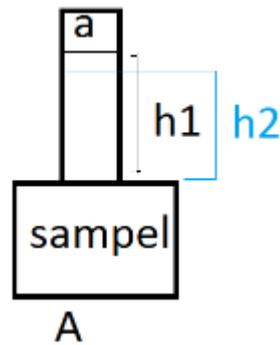
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Alat dan Bahan

| No. | Jenis | Nama | Keterangan |
|-----|-----------------|-------------------------|---|
| 1 | Catu Daya | Baterai 12V | Sumber daya peralatan |
| 2 | <i>Hardware</i> | MPX10GP | Sebagai sensor ketinggian air |
| 3 | | Modul Arduino Duemilano | pengolah data dari sensor |
| 4 | | Modul Wifi ESP8266 | Untuk membangun koneksi dengan internet |
| 5 | | Modul memory card | Piranti untuk mengoperasikan memory card dan menyimpan data |
| 6 | | PC | Untuk memprogram Arduino Duemilano |
| 7 | | Kabel USB A-B | Koneksi Arduino ke Komputer |
| 8 | | <i>Software</i> | IDE Arduino |
| 9 | Microsoft excel | | Pengolahan data dari sensor |

3.3 Studi Literatur

Studi literatur diperlukan untuk menunjang hasil dari penelitian ini, beberapa diantaranya berisi tentang konsep dari pengukuran koefisien permeabilitas tanah, dan akuisisi data yang akan digunakan. Pada pengukuran koefisien permeabilitas tanah skala laboratorium yang menggunakan metode falling head diilustrasikan pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.2 Skema Kerja Alat Ukur.

Dari gambar diatas, persamaan yang akan digunakan untuk menentukan koefisien permeabilitas tanah adalah sebagai berikut

$$-\ln \frac{h_2}{h_1} = \frac{kA}{aL} (t_2 - t_1) \quad (3.1)$$

$$k = \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad (3.2)$$

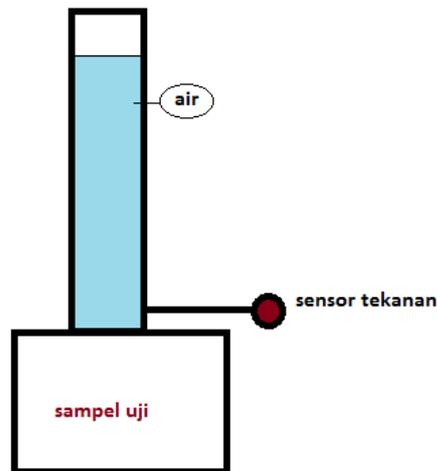
Atau

$$k = \frac{2.303 aL}{A(t_2 - t_1)} \log \frac{h_1}{h_2} \quad \text{karena } \ln(x) = \frac{\log(x)}{\log(e)} \quad \text{dan } \frac{1}{\log e} = 2.303 \quad (3.3)$$

Dimana parameter yang berubah pada skema di atas adalah h dan t (waktu dalam detik), h1 (cm) merupakan tinggi pengukuran awal, dan h2(cm) adalah tinggi pengukuran setelahnya. Nilai yang akan dicari adalah nilai k, sehingga dengan acuan alat ukur seperti pada gambar di atas, maka skema pengukuran digital dapat diterapkan dengan memasang sensor jarak untuk pengukuran perubahan ketinggian. Dengan menggunakan Arduino yang telah tersedia fitur untuk timer, sehingga pengukuran dua variabel yakni ketinggian dan waktu dapat dilakukan sekaligus. Sistem datalogger juga akan diimplementasikan pada pembaharuan alat ukur permeabilitas ini, agar pengukuran menjadi lebih efisien dan akurat, untuk permasalahan selanjutnya adalah penentuan sensor yang akan digunakan berdasarkan pada nilai koefisien k pada penelitian sebelumnya.

3.4 Design Alat Ukur

Perancangan alat ukur berdasar pada metode uji falling head permeameter. Penambahan sensor dilakukan untuk mengkonversi perubahan level ke dalam sinyal elektrik. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.3 di bawah ini.



Gambar 3.3 design alat ukur koefisien permeabilitas tanah

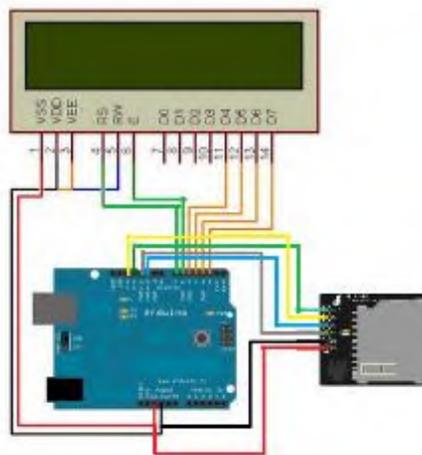
Pada gambar di atas, parameter ketinggian diperoleh dari persamaan hidrostatika fluida seperti pada berikut ini;

$$p = \rho \cdot g \cdot h \quad (3.4)$$

Berdasar pada persamaan diatas, ketinggian akan berbanding lurus dengan nilai tekanan fluida. Penempatan sensor berada di bawah permukaan air, hal ini dikarenakan untuk meminimalisir gangguan pada sistem yang akan diukur.

3.2.2 Design Sistem Akuisisi Data

Perancangan sistem pengukuran dilakukan dengan membuat sistem akuisisi data yang terdiri dari display, memori penyimpanan ,yang mana sistem terintegrasi tersebut biasa dinamakan dengan datalogger, adapun perancangan hardware dataloggernya seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.4 rangkaian datalogger

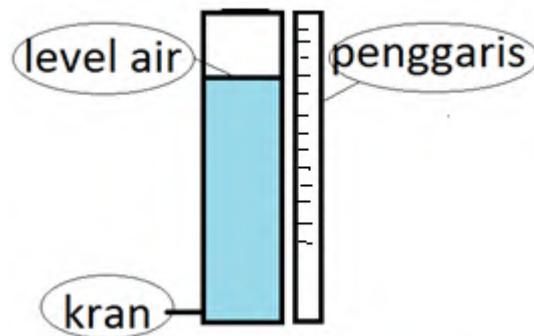
Modul arduino dirangkai seperti pada gambar di atas, komunikasi arduino dan modul SD card menggunakan komunikasi SPI, dimana memanfaatkan pin MISO, MOSI SCK dan reset, fungsi MISO (Master In Slave Out) dan MOSI (Master Out Slave In) adalah untuk komunikasi jalur data antara master program dan device pasangannya. MISO merupakan jalur yang digunakan untuk menerima data dari modul SD Card dan MOSI adalah jalur untuk mengirim data ke IC mikrokontroler. Kedua jalur ini berperan sangat penting dari komunikasi data antara mikrokontroler dan modul SD Card. Untuk menghindari kesalahan dalam berkomunikasi, maka dibutuhkan sinkronisasi. Sinkronisasi dilakukan dengan menggunakan jalur SCK (Serial Clock). Data akan dianggap valid apabila SCK dalam keadaan high. Sistem IoT akan diterapkan pada penelitian ini, sesuai dengan topologi yang sudah dibahas di sub bab sebelumnya, maka selanjutnya adalah design dari perangkat pengiriman arduino, supaya data terkirim ke web server, berikut adalah skema kerja arduino yang terkoneksi dengan modul wifi ESP8266 yang difungsikan untuk membuka jaringan internet.

3.5 Teknik Kalibrasi

Kalibrasi penting dilakukan agar data yang diberikan dari sensor akurat. Pengukuran waktu dan ketinggian menjadi parameter utama dari alat ini, sehingga perlu dilakukan kalibrasi sensor jarak dan kalibrasi timer waktu pada mikrokontroler.

3.5.1 Kalibrasi Sensor

Sensor yang akan digunakan adalah sensor jarak dari produk sharp seperti yang telah dijelaskan pada sebelumnya. Skema kalibrasi jarak ini akan digambarkan pada gambar 3.5 dibawah ini;



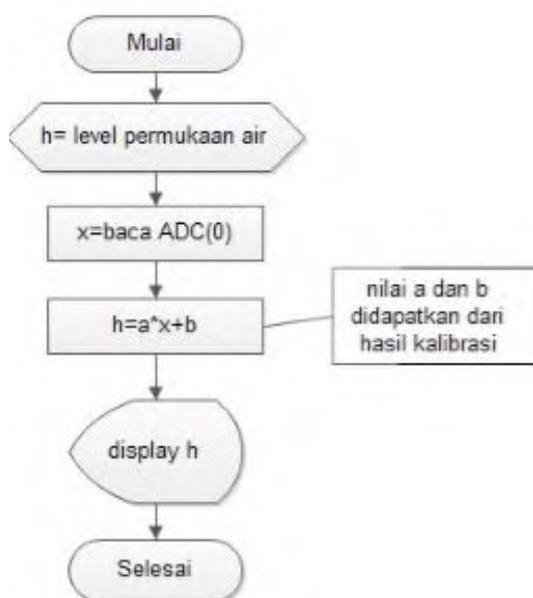
Gambar 3.5 skema kalibrasi level

Kalibrasi level dilakukan dengan cara mempersiapkan kalibrator terlebih dahulu yaitu sebuah penggaris dengan panjang 100cm. Setelah penggaris sudah siap, maka langkah selanjutnya adalah membuat tatakan pengkalibrasi yaitu sebuah tabung yang berisi air untuk meletakkan sensor dan fluida agar dapat diukur, dimensi yang dipakai harus sama dengan dimensi tabung yang akan dipakai pada pengukuran, karena kesalahan dimensi akan mempengaruhi data pengukuran, seperti yang terlihat pada gambar yang terlampir. Ketika kran air dibuka secara perlahan dan kemudian ditutup, maka hal yang akan terjadi adalah pengurangan volume fluida yang mengakibatkan pemendekan jarak ukur sensor terhadap level, tinggi cairan disesuaikan dengan skala pada penggaris ukur agar pembacaan terhadap skala pembanding lebih mudah.

Setelah persiapan mekanik siap, selanjutnya adalah pada sistem data, level cairan turun dikarenakan oleh pengurangan volume fluida, sensor akan memberikan nilai pembacaannya. Setelah sensor mendapatkan data pengukurannya, selanjutnya adalah mengkonversi nilai digital pada ArduinoDuemilanove yang terbaca dengan memanfaatkan fitur ADC pada Aduino Duemilanove. Hasil yang didapat adalah perbandingan nilai ADC dengan jarak yang sesungguhnya yang

kemudian dapat dilakukan proses operasi matematika yang hasilnya adalah nilai ADC yang terbaca merupakan nilai sebenarnya.

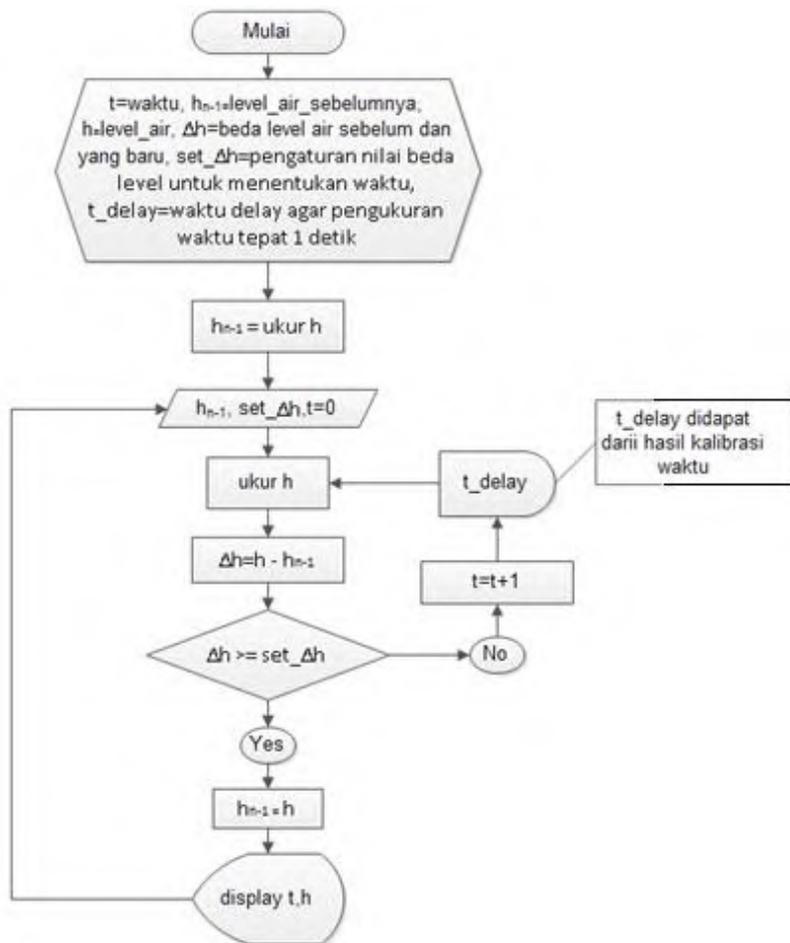
Pengukuran level air dilakukan sebagaimana digambarkan oleh diagram alir gambar 3.6:



Gambar 3.6 diagram alir pengukuran ketinggian

3.5.2 Kalibrasi *Timer*

Timer internal Arduino Duemilanove belum tentu memiliki nilai yang sama dengan waktu yang sesungguhnya, oleh sebab itu maka dilakukan pencocokan dengan waktu yang sebenarnya yaitu dengan menggunakan stopwatch, *script* pada ArduinoDuemilanove disetting agar dapat memunculkan nilai dari setiap waktu atau yang lebih umumnya dikenal dengan timer. Setelah dilakukan pengkalibrasian maka diperoleh data waktu dari ArduinoDuemilanove dengan waktu dari *stopwatch*, setelah dilakukan akuisisi maka akan didapat nilai waktu yang sesungguhnya dari timer Arduino Duemilanove.gambar 3.7 dibawah ini menggambarkan diagram alir pengkalibrasian timer.



Gambar 3.7 kalibrasi timer

3.6 Persiapan Bahan Uji

Penentuan bahan uji pada penelitian ini dibatasi dengan menggunakan bahan tanah lanau dan lempung sebagai media ujinya, dikarenakan oleh faktor daerah yang akan diuji merupakan daerah yang memiliki jenis tanah lempung dan lanau. Adapun daerah yang akan diuji adalah pada tanggul lumpur lapindo yang berada di daerah Sidoarjo dan tanggul pada sungai bengawan solo yang berada di daerah kanor Bojonegoro. dikarenakan menurut peneliti, kedua tempat bahan uji ini perlu diadakan studi kelayakan untuk mencegah terjadinya musibah ketidaktahanan tanah tersebut yang berfungsi sebagai tanggul.

3.6 Pengujian Bahan Menggunakan Permeameter

Metode pengujian pada penelitian ini menggunakan peralatan yang menggunakan prinsip *falling head permeameter*, yang sebelumnya sudah dijelaskan pada BAB 2. Pertama-tama dilakukan pengambilan tanah sampel menggunakan chamber yang berada pada peralatan yang sudah disediakan. Setelah bahan uji siap, maka pengukuran pun dilakukan, perlu untuk diingat bahwa pengukuran ini bersifat uji laboratorium.

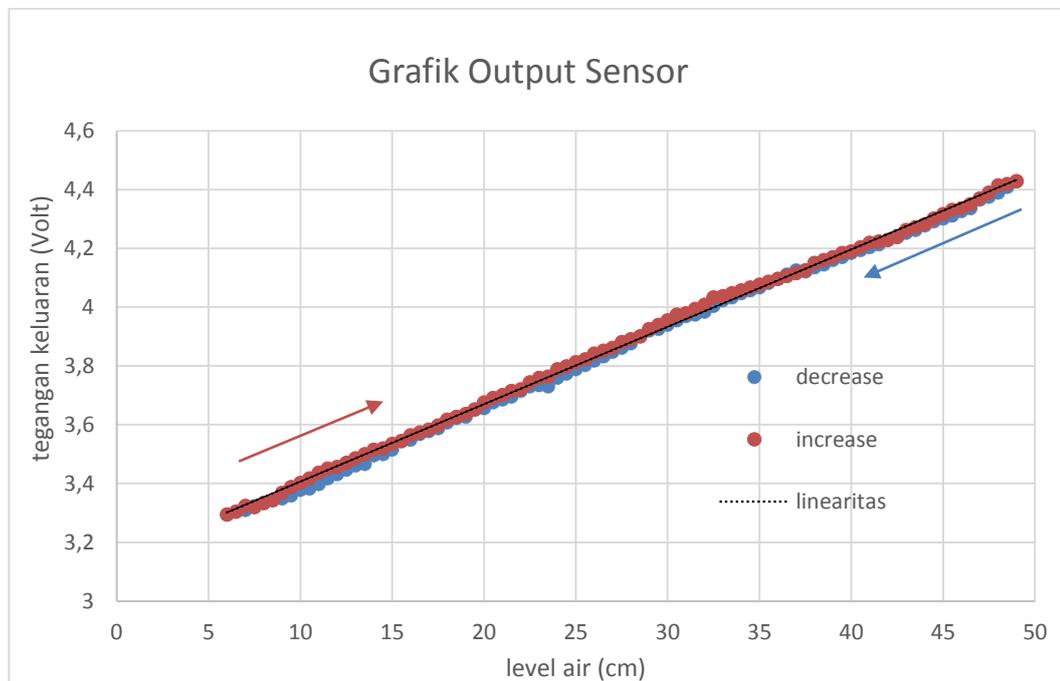
“halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 4

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Karakteristik Alat Ukur

Proses karakterisasi alat ukur dilakukan dengan pengambilan data untuk perubahan level air. Dari data tersebut, selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan nilai koefisien permeabilitas tanah dengan cara memasukkan ke dalam persamaan 3.1, adapun data yang diperoleh dari proses ini adalah sebagai berikut:



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Tegangan Output Sensor Dengan Level Air

Dari grafik di atas, tampak titik/garis berwarna merah yang menunjukkan pengukuran dengan variasi penambahan level air, sedangkan pada garis/titik berwarna biru adalah pengurangan level air. Data menaik maupun menurun mendekati garis linier, hal ini menunjukkan bahwa keakuratan sensor tekanan yang digunakan untuk pengukuran level air memiliki pembacaan yang relatif bagus.

Range pengukuran yang diuji untuk data di atas berada pada level 6 cm hingga 49 cm, dengan data keluaran tegangan analog dari sensor yang telah dikuatkan menggunakan differential amplifier dengan penguatan sebesar 100 kali, berikut

adalah penjelasan mengenai karakteristik dari alat ukur yang digunakan, yakni tentang ketelitian, histerisis dan linearitas sensor.

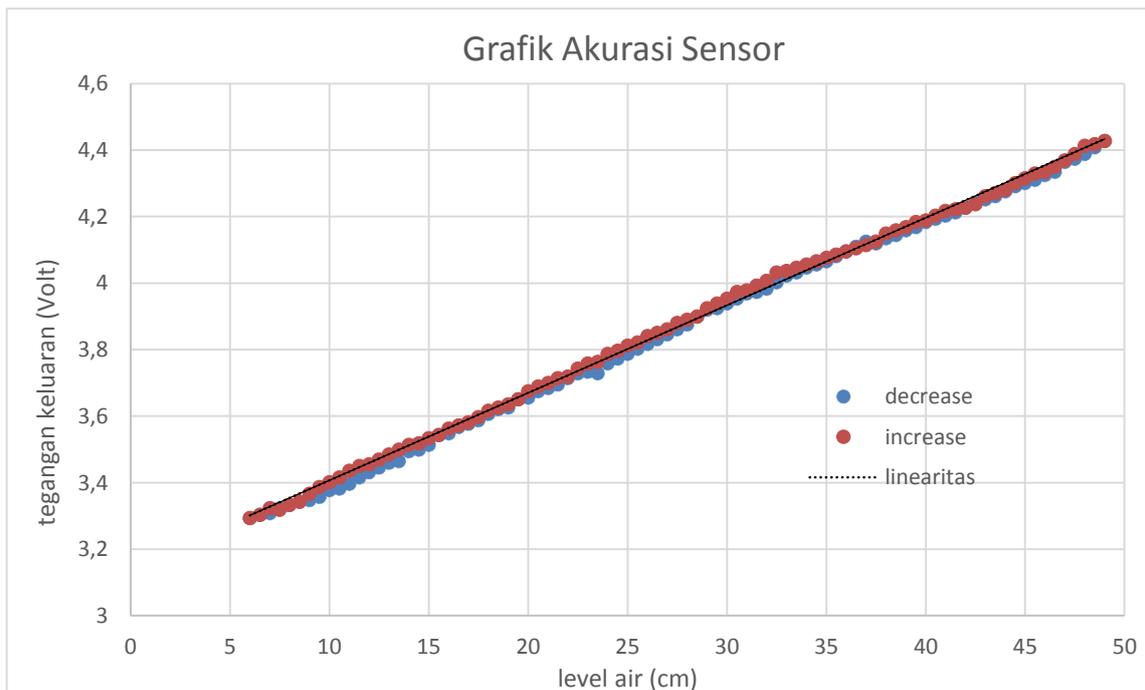
a. Akurasi sensor/ketelitian

Akurasi adalah ketepatan sensor dalam pembacaan data sesungguhnya. Dari data pengukuran yang diperoleh, dan dengan menghitung error seperti pada lampiran, maka diperoleh nilai %FSO, yang kemudian digunakan sebagai acuan dalam menentukan ketelitian sensor. Berikut adalah grafik %FSO yang dimaksud ;

$$error (mV) = nilai sebenarnya - nilai output sensor$$

$$\%FSO = \frac{error (volt)}{full\ scale\ (4,6\ volt)} \times 100\%$$

$$\%FSO = 0,02005219 \%$$



Gambar 4.2 letak titik %FSO terbesar pada level 10,5

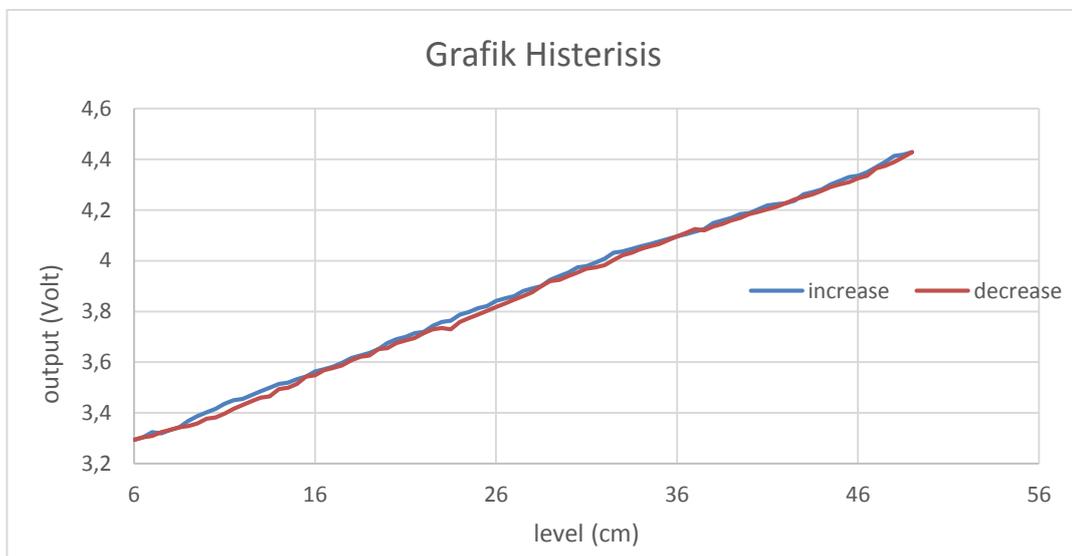
Pada grafik diatas diperoleh nilai %FSO tertinggi pada level 10,5 cm, yang artinya adalah toleransi data yang diberikan sensor adalah $(0,02\% \times \text{range pengukuran}) = (0,02\% \times 43\text{ cm}) = 0,0086\text{ cm} = 8,6\text{ mm}$. Sehingga setiap pembacaan skala satu cm maka \pm nya adalah 8,6 mm. Misalnya pada pembacaan jarak 10 cm

pada sensor, maka data yang sebenarnya adalah 9,14 ~ 10,86 cm. untuk contoh lainnya, pada skala minimum dengan nilai level sebenarnya sebesar 6 cm, pembacaan paa sensor berkiasar antara 5,14 ~ 6,86, begitu juga pada skala maksimum dengan nilai sebenarnya sebesar 40 cm, pada sensor akan terbaca 59,14 ~ 40,86 cm.

b. Histerisis

Histerisis adalah perbedaan maksimum pada output pembacaan sensor, pengukuran dilakukan dengan menggunakan perubahan dengan kenaikan dan penurunan nilai parameter level air, hal ini dilakukan dikarenakan dari karakteristik elemen sensor yang memungkinkan terjadi perubahan output keluaran pada kondisi tersebut, sehingga perlu pengujian dengan keadaan yang berbeda. Berikut adalah data grafik histerisis dari sensor level.

$$histerisis = \%FSO\ increase - \%FSO\ decrease$$



Gambar 4.3 histeris terjadi pada nilai level 11

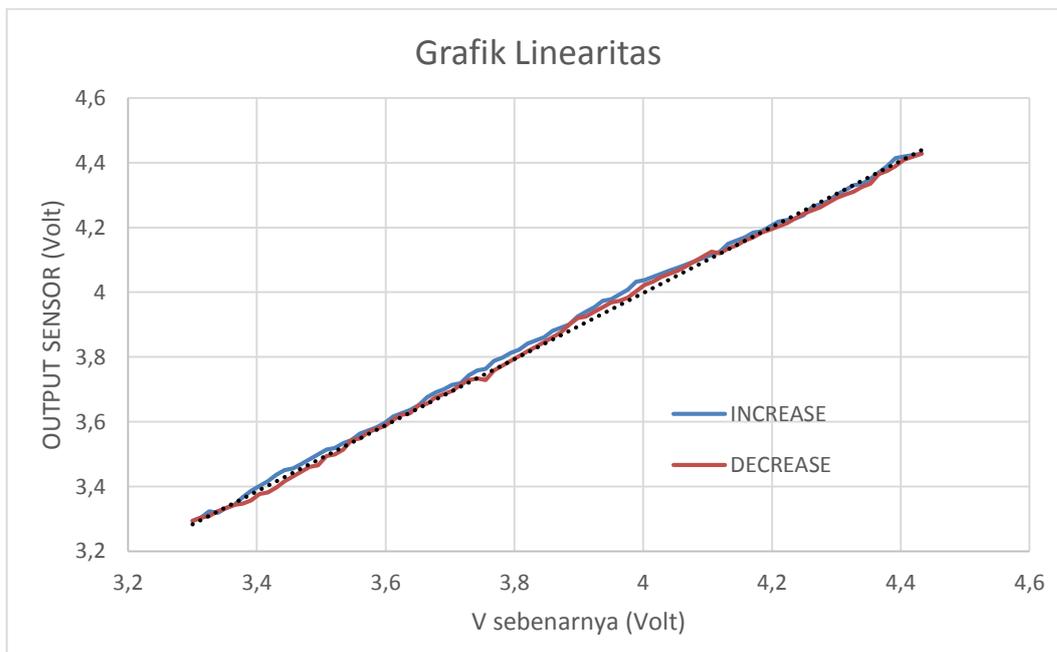
Pada data grafik di atas, perbedaan tertinggi dari grafik di atas adalah pada level 11 sebesar 1,13 %, yang berdasar pada perhitungan selisih dari %FSO *increasing* dikurangi *decreasing*.

c. Linearitas

Pengujian linearitas dari alat ukur ini diperoleh dari persamaan

$$\frac{\text{nilai sebenarnya} - \text{output sensor}}{\text{range pengukuran}} \times 100\%$$

sehingga diperoleh grafik sebagai berikut:

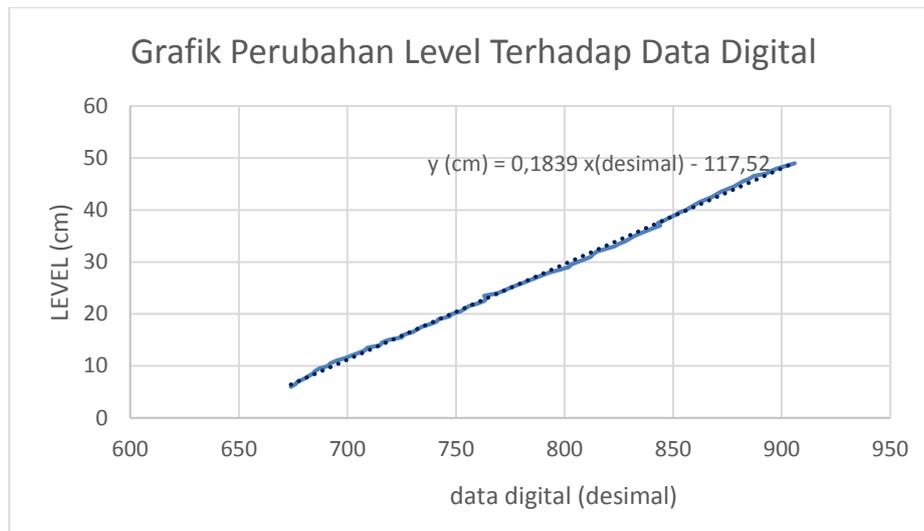


Gambar 4.4 Linieritas Terjadi Pada Vsebnarnya 3,365 dan 3,4161

Dari grafik di atas, %FSO linearitas terbesar pada level 8,5 dan 3,3651 pada Vsebnarnya increase, yakni sebesar 1,94% FSO dan pada level 10,5 dan 3,4171 pada Vsebnarnya decrease sebesar 3,08%FSO. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada tabel perhitungan yang terlampir.

d. Kalibrasi Level

Kalibrasi level mengacu pada persamaan linear antara output digital sensor terhadap level air, level air pada penelitian ini diukur dengan menggunakan penggaris. Penggaris yang digunakan memiliki range pengukuran 0~100 cm, dengan skala terkecil sebesar 1mm, ketelitian yang dimiliki penggaris jenis ini sebesar 0,5mm. Berikut adalah data grafik fungsi kalibrasinya



Gambar 4.5 Fungsi Linier Output Sensor Terhadap Level

Dengan mengacu persamaan grafik linier di atas, maka dapat diperoleh nilai output sensor yang sebesar-besarnya, persamaan yang digunakan adalah:

$$level = 0,1839 * data\ digital - 117,52$$

Seperti yang telah diketahui sebelumnya, bahwa nilai data digital diperoleh dari pembacaan mikrokontroller. Dari ketiga karakteristik sensor di atas, informasi tentang nilai karakter sensor dapat digunakan sebagai acuan bahwa alat ukur yang digunakan dengan sensor MPX10GP memiliki nilai pembacaan yang baik.

4.1.2 Data Transmisi Data Menggunakan Internet of Things

Pada sistem transmisi data ini digunakan sarana komunikasi TCP/IP, yakni komunikasi dimana mikrokontroller disetting dengan IP tertentu yang kemudian alamat IP tersebut dapat diakses ke dalam jaringan internet. Untuk dapat meyakinkan bahwa tidak terjadi perubahan data selama proses transmisi tersebut, berikut adalah data pengujian data dari mikrokontroller yang kemudian diakses oleh jaringan.

Tabel 41. Nilai data kirim dan data terima pada komunikasi TCP/IP

| Data Digital Pengirim (desimal) | Data Digital Penerima (desimal) |
|------------------------------------|------------------------------------|
| 1023 | 1023 |
| 900 | 900 |
| 800 | 800 |
| 700 | 700 |
| 600 | 600 |
| 500 | 500 |
| 400 | 400 |
| 300 | 300 |
| 200 | 200 |

Dari data tabel di atas, data yang dikirim oleh mikrokontroler berhasil diterima dengan baik oleh device penerima. Hal ini membuktikan bahwa komunikasi ini nantinya akan menjaga data dengan baik, sehingga data yang ditampilkan oleh perangkat lainnya dapat menerima data yang sebenarnya.

4.1.2 Data Penyimpanan sd card

Komunikasi data yang dilakukan pada penyimpanan ini adalah dengan menggunakan komunikasi *SPI/serial peripheral interface* pada modul Arduino. Untuk dapat menggunakan komunikasi membutuhkan library/pustaka *SPI.h* (suatu fungsi yang terkumpul dalam satu file) yang dikhususkan untuk menghubungkan data dari Arduino ke modul SDcard. Komunikasi ini membutuhkan jalur pewaktu untuk sinkronisasi antara transmitter dan receivernya sedangkan jalur *MISO* adalah jalur pengirim data dan *MOSI* adalah jalur penerima data. Berikut adalah data yang dikirim maupun disimpan oleh kartu memori.

Tabel 4.2 Nilai Data Pengirim Dan Nilai Data Penyimpan

| Data Digital Pengirim (desimal) | Data Tersimpan (desimal) |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 10 | 10 |
| 50 | 50 |
| 100 | 100 |
| 150 | 150 |
| 200 | 200 |
| 250 | 250 |
| 300 | 300 |
| 350 | 350 |
| 400 | 400 |
| 450 | 450 |
| 600 | 600 |
| 650 | 650 |
| 700 | 700 |

Dari data pada tabel di atas, tidak ditemukan perubahan data dari yang dikirim maupun diterima. Hal ini memberikan kesimpulan bahwa devais SD card dan mikrokontroller dapat berhubungan dengan baik, sehingga menjamin keakuratan data pada proses penyimpanan data.

4.2 Data Pengukuran Koefisien Permeabilitas Tanah

Setelah melakukan proses karakteristik dari sensor, maka pengujian terhadap sampel tanah dilakukan. Sampel pertama yang diuji adalah tanah dari tanggul Bengawan Solo, mengacu pada penelitian sebelumnya, bahwa jenis tanah yang diteliti merupakan tanah silt yang rentang nilai koefisien permeabilitasnya adalah $10^{-3} \sim 10^{-5}$ cm/s. Berikut adalah hasil pengukuran menggunakan alat permeabilitas tanah yang telah dibuat.

a. Tanah Dengan Permeabilitas Tinggi Tanggul Sungai Bengawan Solo

Nilai perbedaan ketinggian (h_0-h_1) ditetapkan sebesar 1 cm, dan nilai timer yang digunakan menggunakan timer internal mikrokontroller.

Tabel 4.3 Data Koefisien Permeabilitas Tanah Tanggul Sungai Bengawan Solo

| h0 (cm) | h1(cm) | time(sekon) | k (cm/s) |
|--------------------|--------|-------------|------------|
| 31 | 30 | 1400 | 1,782 E-04 |
| 30 | 29 | 1300 | 1,984 E-04 |
| 29 | 28 | 1415 | 1,887 E-04 |
| 28 | 27 | 1274 | 2,172 E-04 |
| 27 | 26 | 1402 | 2,048 E-04 |
| 26 | 25 | 1701 | 1,754 E-04 |
| 25 | 24 | 1301 | 2,387 E-04 |
| 24 | 23 | 1546 | 2,095 E-04 |
| 23 | 22 | 1961 | 1,725 E-04 |
| 22 | 21 | 1911 | 1,852 E-04 |
| 21 | 20 | 1871 | 1,984 E-04 |
| 20 | 19 | 1994 | 1,957 E-04 |
| 19 | 18 | 2107 | 1,952 E-04 |
| 18 | 17 | 2058 | 2,113 E-04 |
| 17 | 16 | 2043 | 2,258 E-04 |
| 16 | 15 | 2399 | 2,047 E-04 |
| 15 | 14 | 2548 | 2,060 E-04 |
| 14 | 13 | 2648 | 2,129 E-04 |
| 13 | 12 | 1852 | 3,289 E-04 |
| 12 | 11 | 3804 | 1,740 E-04 |
| 11 | 10 | 2935 | 2,471 E-04 |
| 10 | 9 | 4318 | 1,856 E-04 |
| 9 | 8 | 4215 | 2,126 E-04 |
| 8 | 7 | 5290 | 1,921 E-04 |
| 7 | 6 | 5740 | 2,043 E-04 |
| k rata-rata (cm/s) | | | 2,061 E-04 |

Dari data tabel di atas, data yang disajikan adalah nilai koefisien permeabilitas tanah tiap satuan level, untuk mendapatkan nilai k, maka diambil nilai rata-rata koefisien permeabilitas tanah, sehingga didapat hasil 2,061 E-04, hal ini sesuai dengan nilai pada penelitian sebelumnya. Tingkat nilai ini termasuk pada jenis tanah silt yang sesuai pada acuan jurnal penelitian pada tempat yang sama.

b. Tanah Dengan Permeabilitas Sedang

Tanggul kolam sampel yang diambil berada di daerah kampus ITS Surabaya, nilai perbedaan ketinggian (h_0-h_1) ditetapkan sebesar 1 cm, dan nilai timer yang digunakan menggunakan timer internal mikrokontroller.

Tabel 4.4 Data Koefisien Permeabilitas Tanah Tanggul Kolam ITS

| h0(cm) | h1(cm) | time(sekon) | k(cm/s) |
|--------|--------|--------------|------------|
| 33 | 32 | 586 | 3,996 E-04 |
| 32 | 31 | 657 | 3,677 E-04 |
| 31 | 30 | 534 | 4,673 E-04 |
| 30 | 29 | 794 | 3,249 E-04 |
| 29 | 28 | 800 | 3,338 E-04 |
| 28 | 27 | 556 | 4,977 E-04 |
| 27 | 26 | 406 | 7,074 E-04 |
| 26 | 25 | 907 | 3,290 E-04 |
| 25 | 24 | 927 | 3,351 E-04 |
| 24 | 23 | 474 | 6,833 E-04 |
| 23 | 22 | 675 | 5,011 E-04 |
| 22 | 21 | 800 | 4,425 E-04 |
| 21 | 20 | 421 | 8,819 E-04 |
| 20 | 19 | 654 | 5,968 E-04 |
| 19 | 18 | 800 | 5,143 E-04 |
| 18 | 17 | 786 | 5,534 E-04 |
| 17 | 16 | 987 | 4,674 E-04 |
| 16 | 15 | 800 | 6,139 E-04 |
| 15 | 14 | 865 | 6,070 E-04 |
| 14 | 13 | 800 | 7,049 E-04 |
| 13 | 12 | 728 | 8,367 E-04 |
| | | k rata -rata | 5,317 E-04 |

Dari data tabel di atas terlihat bahwa nilai rata-rata permeabilitas tanah pada tanggul kolam lebih besar dari nilai koefisien permeabilitas tanggul sungai Bengawan Solo, perbedaan ini mungkin disebabkan oleh kondisi alam yang berbeda. Kondisi pada tanggul sungai Bengawan Solo memiliki material lumpur lebih banyak daripada tanggul kolam, perbedaan ini mungkin disebabkan karena pada proses aplikasi/ penggunaan tanggul pada kolam yang relatif lebih lemah dari kekuatan tanggul sungai Bengawan Solo. Dari proses pengambilan informasi data koefisien permeabilitas ini, selanjutnya dapat dilakukan pengambilan data di berbagai titik dan data tersebut dapat digunakan untuk pemetaan daerah dengan nilai koefisien permeabilitas yang rendah sebagai daerah yang rawan terjadi kelongsoran.

c. Tanah Dengan Permeabilitas Rendah, lereng gunung Ngantang

Pada sampel ketiga ini, diambil pada lereng gunung yang mudah terjadi kelongsoran, yakni pada daerah Ngantang Malang, nilai perbedaan ketinggian ($h_0 - h_1$) ditetapkan sebesar 1 cm, dan nilai timer yang digunakan menggunakan timer internal mikrokontroller.

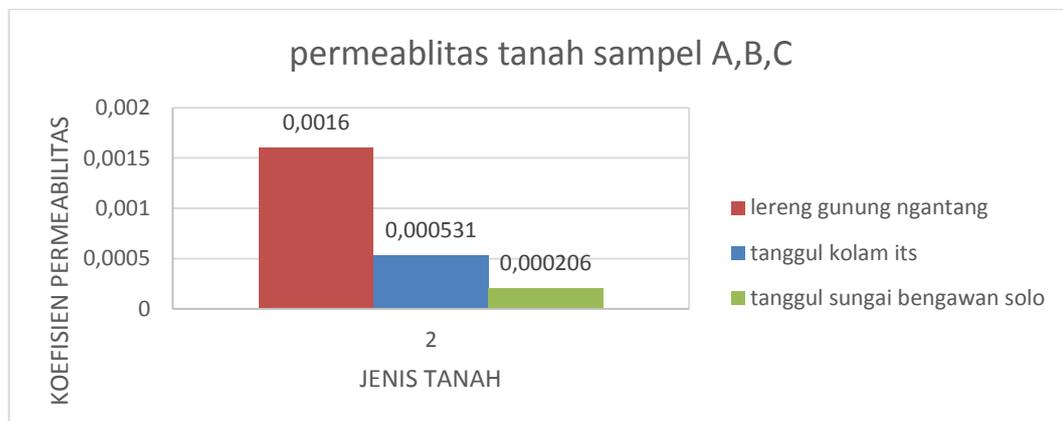
Tabel 4.5 Data Koefisien Permeabilitas Tanah Lereng Gunung Ngantang

| h0(cm) | h1(cm) | time(sekon) | k(cm/s) |
|--------|--------|--------------|------------|
| 35 | 34 | 118 | 1,87 E-03 |
| 34 | 33 | 145 | 1,567 E-03 |
| 33 | 32 | 186 | 1,259 E-03 |
| 32 | 31 | 179 | 1,35 E-03 |
| 31 | 30 | 159 | 1,569 E-03 |
| 30 | 29 | 125 | 2,064 E-03 |
| 29 | 28 | 237 | 1,127 E-03 |
| 28 | 27 | 210 | 1,318 E-03 |
| 27 | 26 | 187 | 1,536 E-03 |
| 26 | 25 | 216 | 1,382 E-03 |
| 25 | 24 | 180 | 1,726 E-03 |
| 24 | 23 | 233 | 1,39 E-03 |
| 23 | 22 | 235 | 1,44 E-03 |
| 22 | 21 | 284 | 1,247 E-03 |
| 21 | 20 | 166 | 2,237 E-03 |
| 20 | 19 | 253 | 1,543 E-03 |
| 19 | 18 | 305 | 1,349 E-03 |
| 18 | 17 | 302 | 1,44 E-03 |
| 17 | 16 | 308 | 1,498 E-03 |
| 16 | 15 | 304 | 1,616 E-03 |
| 15 | 14 | 293 | 1,792 E-03 |
| 14 | 13 | 305 | 1,849 E-03 |
| 13 | 12 | 263 | 2,316 E-03 |
| 12 | 11 | 388 | 1,707 E-03 |
| 11 | 10 | 372 | 1,95 E-03 |
| | | k rata -rata | 1,606 E-03 |

Dari data di atas, tampak nilai koefisien permeabilitas tanah untuk sampel ini lebih besar daripada kedua sampel sebelumnya. Hal ini sesuai dengan kondisi alam, karena pada tanah jenis ini mudah terjadi longsor, sehingga data yang diperoleh dari alat ukur menjadi sesuai dengan teori dan keadaan alam di lapangan.

4.3 Pembahasan Hasil Pengujian Sampel

Setelah dilakukan penelitian dan pengukuran tentang koefisien permeabilitas tanah pada ketiga sampel yang berbeda, nilai rata-rata dari hasil pengukuran disajikan dalam bentuk diagram seperti pada gambar di bawah ini, hal ini bertujuan untuk memudahkan dalam proses perbandingan dari ketiga data tersebut. Dari studi literatur yang telah dilakukan, bahwa terjadi kecocokan antara nilai dari pengukuran alat yang telah dibuat dengan teori, teori yang digunakan menjelaskan rentang nilai koefisien permeabilitas tanah berdasar pada komposisi bahan. Dari ketiga sampel di atas, menggunakan bahan yang berbeda, sehingga hasil uji sampel pun berbeda.



Gambar 4.6 diagram perbandingan hasil pengukuran koefisien permeabilitas tanah

Dari diagram di atas, tampak nilai koefisien permeabilitas terbesar pada sampel lereng gunung Ngantang yang mudah longsor, kemudian nilai koefisien permeabilitas tanah terkecil pada tanggul sungai Bengawan Solo, dan tanggul kolam memiliki nilai koefisien permeabilitas diantara kedua sampel. Hal ini sesuai dengan kondisi pada lapangan/daerah uji yang sifatnya mudah longsor dan sulit longsor.

4.4 Pengolahan Data Menggunakan Inversi

Inversi yang digunakan merupakan inversi untuk persamaan sistem linier, dengan mengacu pada persamaan untuk menentukan koefisien permeabilitas tanah berikut ini:

$$k = \frac{2,3 \cdot a \cdot l}{A (\Delta t)} \log \frac{h_0}{h_1} \quad ; a = 6,4 \text{ cm}^2 ; A = 8,4 \text{ cm}^2 ; l = 10 \text{ cm}$$

Untuk :

$$P = \frac{2,3 \cdot a \cdot l}{A} = 17,52 \text{ cm}$$

$$Z = \log \frac{h_0}{h_1}$$

Maka persamaan menjadi:

$$k \cdot \Delta t = P \cdot Z = 17,52 Z$$

k merupakan parameter konstan, kemudian asumsi bahwa variasi ketinggian terhadap waktu (t) adalah

$$m + k \cdot \Delta t = 17,52 Z$$

Dimana k adalah konstanta yang akan dicari dan m bernilai 0, berikut adalah data z dan delta t:

| bengawan | | gunung | | kolam | |
|----------|---------|----------|---------|----------|---------|
| Z | delta t | Z | delta t | Z | delta t |
| 0,01424 | 1400 | 0,012589 | 118 | 0,013364 | 586 |
| 0,014723 | 1300 | 0,012965 | 145 | 0,013788 | 657 |
| 0,01524 | 1415 | 0,013364 | 186 | 0,01424 | 534 |
| 0,015794 | 1274 | 0,013788 | 179 | 0,014723 | 794 |
| 0,01639 | 1402 | 0,01424 | 159 | 0,01524 | 800 |
| 0,017033 | 1701 | 0,014723 | 125 | 0,015794 | 556 |
| 0,017729 | 1301 | 0,01524 | 237 | 0,01639 | 406 |
| 0,018483 | 1546 | 0,015794 | 210 | 0,017033 | 907 |
| 0,019305 | 1961 | 0,01639 | 187 | 0,017729 | 927 |
| 0,020203 | 1911 | 0,017033 | 216 | 0,018483 | 474 |
| 0,021189 | 1871 | 0,017729 | 180 | 0,019305 | 675 |
| 0,022276 | 1994 | 0,018483 | 233 | 0,020203 | 800 |
| 0,023481 | 2107 | 0,019305 | 235 | 0,021189 | 421 |
| 0,024824 | 2058 | 0,020203 | 284 | 0,022276 | 654 |
| 0,026329 | 2043 | 0,021189 | 166 | 0,023481 | 800 |
| 0,028029 | 2399 | 0,022276 | 253 | 0,024824 | 786 |
| 0,029963 | 2548 | 0,023481 | 305 | 0,026329 | 987 |
| 0,032185 | 2648 | 0,024824 | 302 | 0,028029 | 800 |
| 0,034762 | 1852 | 0,026329 | 308 | 0,029963 | 865 |
| 0,037789 | 3804 | 0,028029 | 304 | 0,032185 | 800 |
| 0,041393 | 2935 | 0,029963 | 293 | 0,034762 | 728 |
| 0,045757 | 4318 | 0,032185 | 305 | | |
| 0,051153 | 4215 | 0,034762 | 263 | | |
| 0,057992 | 5290 | 0,037789 | 388 | | |
| 0,066947 | 5740 | 0,041393 | 372 | | |

Persamaan kemudian dirubah dalam bentuk matriks,

$$\begin{pmatrix} 1 & \Delta t1 \\ 1 & \Delta t2 \\ 1 & \Delta t3 \\ 1 & \Delta t4 \\ \dots & \dots \\ \dots & \dots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} k \\ m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z1 \\ Z2 \\ Z3 \\ Z4 \\ \dots \\ \dots \end{pmatrix}$$

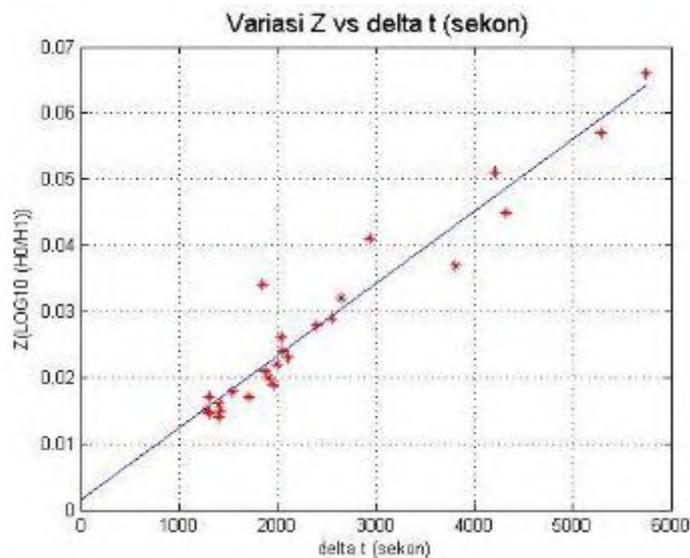
Kemudian ditulis $G\mathbf{m} = \mathbf{d}$, dimana \mathbf{d} adalah data yang dinyatakan dalam vektor kolom \mathbf{m} adalah model parameter, G adalah matrik kernel. Untuk mendapatkan nilai \mathbf{m} , maka dimodifikasi menjadi seperti berikut:

$$G^T G \mathbf{m} = G^T \mathbf{d}$$

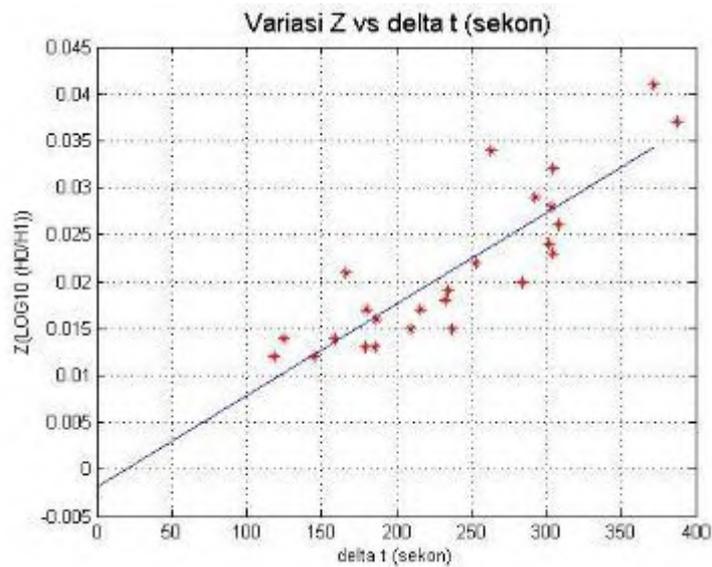
T adalah transpose matriks, untuk mendapatkan elemen \mathbf{m} , maka persamaan menjadi:

$$\mathbf{m} = [G^T G]^{-1} G^T \mathbf{d}$$

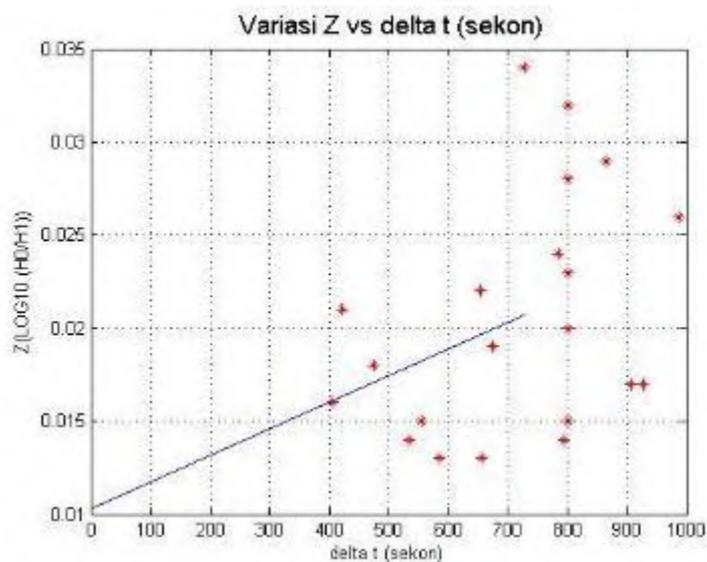
Dengan bantuan software pemrograman Matlab, diperoleh hasil inversi dan berikut hasil inversi untuk menyelesaikan persamaan model diatas. Hasil inversi sampel tanggul Bengawan Solo diperoleh nilai $k = 1,99E-04$, koefisien permeabilitas gunung $k = 0,0016$, dan koefisien permeabilitas kolam ITS $k = 4,91E-04$. Berikut adalah grafik hasil inversi menggunakan program matlab.



Gambar 4.7 Hasil inversi sampel Bengawan Solo



Gambar 4.8 Hasil inversi sampel lereng gunung Ngantang



Gambar 4.9 Hasil inversi sampel kolam ITS

Tabel 2. Perbandingan data hitung dan data inversi

| no | sampel | k perhitungan (cm/s) | k inversi (cm/s) |
|----|------------------------------|----------------------|------------------|
| 1 | Tanah bengawan Solo | 2,061 E-04 | 1,99E-04 |
| 2 | Tanah lereng gunung ngantang | 1,606 E-03 | 1,6 E-03 |
| 3 | Tanah kolam ITS | 5,317 E-04 | 4,91E-04 |

Dari tabel di atas terlihat perbedaan nilai perhitungan dengan nilai hasil inversi, namun demikian, nilai perbandingan dari kedua cara perhitungan tetaplah sama, yakni koefisien permeabilitas tertinggi yaitu pada sampel tanah pada tanggul

sungai bengawan solo, kemudian tanah pada kolam ITS dan terakhir pada tanah sampel lereng gunung yang memiliki nilai terendah.

Dari nilai koefisien permeabilitas tanah yang diperoleh antara perhitungan dan inversi, terdapat ketidaksesuaian pada sampel tanah dari kolam ITS, karakter dari jenis tanah ini merupakan tanah jenis campuran yang berasal dari buatan manusia, sedangkan pada kedua sampel sebelumnya, tanah terbentuk dari hasil alam. Sehingga analisa yang dapat menjelaskan fenomena ini adalah bahwa alat ukur ini berfungsi dengan baik pada jenis tanah yang berasal secara alami dari alam, untuk sampel tanah buatan manusia, data yang diberikan oleh alat belum akurat.

“halaman ini sengaja dikosongkan”

Lampiran

1. Data untuk karakterisasi sensor

| level | V out | | V sebenarnya | error | | %fso | | %reading | | histerisis %fso inc-decr |
|-------|----------|----------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------------|
| | decrease | increase | | decrease | increase | decrease | increase | decrease | increase | |
| 49 | 4,428152 | 4,428152 | 4,4321 | 0,003948 | 0,003948 | 0,002269 | 0,002269 | 0,089066 | 0,089066 | 0,221906 |
| 48,5 | 4,408602 | 4,418377 | 4,4051 | -0,0035 | -0,01328 | -0,00201 | -0,00763 | -0,0795 | -0,30141 | 0,556406 |
| 48 | 4,389052 | 4,41349 | 4,3921 | 0,003048 | -0,02139 | 0,001752 | -0,01229 | 0,069402 | -0,487 | 0,334835 |
| 47,5 | 4,374389 | 4,389052 | 4,3791 | 0,004711 | -0,00995 | 0,002707 | -0,00572 | 0,107578 | -0,22726 | 0,111944 |
| 47 | 4,364614 | 4,369501 | 4,3661 | 0,001486 | -0,0034 | 0,000854 | -0,00195 | 0,034038 | -0,07791 | 0,336835 |
| 46,5 | 4,335288 | 4,349951 | 4,3531 | 0,017812 | 0,003149 | 0,010237 | 0,00181 | 0,409171 | 0,072336 | 0,225229 |
| 46 | 4,325513 | 4,335288 | 4,3401 | 0,014587 | 0,004812 | 0,008383 | 0,002765 | 0,336094 | 0,110865 | 0,451812 |
| 45,5 | 4,31085 | 4,330401 | 4,3271 | 0,01625 | -0,0033 | 0,009339 | -0,0019 | 0,37553 | -0,07628 | 0,33988 |
| 45 | 4,301075 | 4,315738 | 4,3141 | 0,013025 | -0,00164 | 0,007485 | -0,00094 | 0,301911 | -0,03797 | 0,227271 |
| 44,5 | 4,2913 | 4,301075 | 4,3011 | 0,0098 | 2,47E-05 | 0,005632 | 1,42E-05 | 0,227846 | 0,000575 | 0,11398 |
| 44 | 4,276637 | 4,281525 | 4,2881 | 0,011463 | 0,006575 | 0,006588 | 0,003779 | 0,267313 | 0,153333 | 0,228654 |
| 43,5 | 4,261975 | 4,27175 | 4,2751 | 0,013125 | 0,00335 | 0,007543 | 0,001925 | 0,30702 | 0,078366 | 0,229351 |
| 43 | 4,252199 | 4,261975 | 4,2621 | 0,009901 | 0,000125 | 0,00569 | 7,21E-05 | 0,232294 | 0,002943 | -0,11503 |
| 42,5 | 4,242424 | 4,237537 | 4,2491 | 0,006676 | 0,011563 | 0,003837 | 0,006646 | 0,15711 | 0,272136 | 0 |
| 42 | 4,227761 | 4,227761 | 4,2361 | 0,008339 | 0,008339 | 0,004792 | 0,004792 | 0,196844 | 0,196844 | 0,231469 |
| 41,5 | 4,213099 | 4,222874 | 4,2231 | 0,010001 | 0,000226 | 0,005748 | 0,00013 | 0,236823 | 0,005354 | 0,348276 |
| 41 | 4,203324 | 4,217986 | 4,2101 | 0,006776 | -0,00789 | 0,003895 | -0,00453 | 0,160957 | -0,18732 | 0,232903 |
| 40,5 | 4,193548 | 4,203324 | 4,1971 | 0,003552 | -0,00622 | 0,002041 | -0,00358 | 0,084621 | -0,14828 | 0,116813 |
| 40 | 4,183773 | 4,188661 | 4,1841 | 0,000327 | -0,00456 | 0,000188 | -0,00262 | 0,00781 | -0,109 | 0,351532 |
| 39,5 | 4,16911 | 4,183773 | 4,1711 | 0,00199 | -0,01267 | 0,001143 | -0,00728 | 0,047698 | -0,30383 | 0,235087 |
| 39 | 4,159335 | 4,16911 | 4,1581 | -0,00124 | -0,01101 | -0,00071 | -0,00633 | -0,02971 | -0,2648 | 0,353737 |
| 38,5 | 4,144673 | 4,159335 | 4,1451 | 0,000427 | -0,01424 | 0,000246 | -0,00818 | 0,010313 | -0,34342 | 0,35485 |
| 38 | 4,134897 | 4,14956 | 4,1321 | -0,0028 | -0,01746 | -0,00161 | -0,01003 | -0,0677 | -0,42255 | 0,118657 |

| | | | | | | | | | | |
|------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 37,5 | 4,120235 | 4,125122 | 4,1191 | -0,00113 | -0,00602 | -0,00065 | -0,00346 | -0,02754 | -0,1462 | -0,23806 |
| 37 | 4,125122 | 4,115347 | 4,1061 | -0,01902 | -0,00925 | -0,01093 | -0,00531 | -0,46327 | -0,2252 | -0,11941 |
| 36,5 | 4,110459 | 4,105572 | 4,0931 | -0,01736 | -0,01247 | -0,00998 | -0,00717 | -0,42411 | -0,3047 | 0 |
| 36 | 4,095797 | 4,095797 | 4,0801 | -0,0157 | -0,0157 | -0,00902 | -0,00902 | -0,38471 | -0,38471 | 0,120174 |
| 35,5 | 4,081134 | 4,086022 | 4,0671 | -0,01403 | -0,01892 | -0,00807 | -0,01087 | -0,34506 | -0,46523 | 0,241118 |
| 35 | 4,066471 | 4,076246 | 4,0541 | -0,01237 | -0,02215 | -0,00711 | -0,01273 | -0,30515 | -0,54627 | 0,241894 |
| 34,5 | 4,056696 | 4,066471 | 4,0411 | -0,0156 | -0,02537 | -0,00896 | -0,01458 | -0,38593 | -0,62783 | 0,242674 |
| 34 | 4,046921 | 4,056696 | 4,0281 | -0,01882 | -0,0286 | -0,01082 | -0,01643 | -0,46724 | -0,70991 | 0,36519 |
| 33,5 | 4,032258 | 4,046921 | 4,0151 | -0,01716 | -0,03182 | -0,00986 | -0,01829 | -0,42734 | -0,79253 | 0,366377 |
| 33 | 4,022483 | 4,037146 | 4,0021 | -0,02038 | -0,03505 | -0,01171 | -0,02014 | -0,5093 | -0,87568 | 0,735141 |
| 32,5 | 4,002933 | 4,032258 | 3,9891 | -0,01383 | -0,04316 | -0,00795 | -0,0248 | -0,34676 | -1,0819 | 0,614621 |
| 32 | 3,983382 | 4,00782 | 3,9761 | -0,00728 | -0,03172 | -0,00419 | -0,01823 | -0,18315 | -0,79777 | 0,493309 |
| 31,5 | 3,973607 | 3,993157 | 3,9631 | -0,01051 | -0,03006 | -0,00604 | -0,01727 | -0,26512 | -0,75843 | 0,247466 |
| 31 | 3,968719 | 3,978495 | 3,9501 | -0,01862 | -0,02839 | -0,0107 | -0,01632 | -0,47137 | -0,71883 | 0,496567 |
| 30,5 | 3,954057 | 3,973607 | 3,9371 | -0,01696 | -0,03651 | -0,00975 | -0,02098 | -0,43069 | -0,92726 | 0,373659 |
| 30 | 3,939394 | 3,954057 | 3,9241 | -0,01529 | -0,02996 | -0,00879 | -0,01722 | -0,38974 | -0,7634 | 0,374901 |
| 29,5 | 3,924731 | 3,939394 | 3,9111 | -0,01363 | -0,02829 | -0,00783 | -0,01626 | -0,34853 | -0,72343 | 0,125384 |
| 29 | 3,919844 | 3,924731 | 3,8981 | -0,02174 | -0,02663 | -0,0125 | -0,01531 | -0,5578 | -0,68318 | 0 |
| 28,5 | 3,900293 | 3,900293 | 3,8851 | -0,01519 | -0,01519 | -0,00873 | -0,00873 | -0,39106 | -0,39106 | 0,378677 |
| 28 | 3,875855 | 3,890518 | 3,8721 | -0,00376 | -0,01842 | -0,00216 | -0,01059 | -0,09698 | -0,47566 | 0,506604 |
| 27,5 | 3,861193 | 3,880743 | 3,8591 | -0,00209 | -0,02164 | -0,0012 | -0,01244 | -0,05422 | -0,56083 | 0,381237 |
| 27 | 3,84653 | 3,861193 | 3,8461 | -0,00043 | -0,01509 | -0,00025 | -0,00867 | -0,01118 | -0,39241 | 0,51004 |
| 26,5 | 3,831867 | 3,851417 | 3,8331 | 0,001233 | -0,01832 | 0,000709 | -0,01053 | 0,032166 | -0,47787 | 0,63972 |
| 26 | 3,817204 | 3,841642 | 3,8201 | 0,002896 | -0,02154 | 0,001664 | -0,01238 | 0,075802 | -0,56392 | 0,513523 |
| 25,5 | 3,802542 | 3,822092 | 3,8071 | 0,004558 | -0,01499 | 0,00262 | -0,00862 | 0,119736 | -0,39379 | 0,644103 |
| 25 | 3,787879 | 3,812317 | 3,7941 | 0,006221 | -0,01822 | 0,003575 | -0,01047 | 0,163971 | -0,48013 | 0,646318 |
| 24,5 | 3,773216 | 3,797654 | 3,7811 | 0,007884 | -0,01655 | 0,004531 | -0,00951 | 0,20851 | -0,43781 | 0,778257 |
| 24 | 3,758553 | 3,787879 | 3,7681 | 0,009547 | -0,01978 | 0,005487 | -0,01137 | 0,253356 | -0,5249 | 0,91111 |

| | | | | | | | | | | |
|------|----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 23,5 | 3,729228 | 3,763441 | 3,7551 | 0,025872 | -0,00834 | 0,014869 | -0,00479 | 0,688989 | -0,22212 | 0,653054 |
| 23 | 3,734115 | 3,758553 | 3,7421 | 0,007985 | -0,01645 | 0,004589 | -0,00946 | 0,213374 | -0,43968 | 0,393198 |
| 22,5 | 3,729228 | 3,743891 | 3,7291 | -0,00013 | -0,01479 | -7,3E-05 | -0,0085 | -0,00343 | -0,39662 | 0,131525 |
| 22 | 3,714565 | 3,719453 | 3,7161 | 0,001535 | -0,00335 | 0,000882 | -0,00193 | 0,041307 | -0,09022 | 0,527945 |
| 21,5 | 3,695015 | 3,714565 | 3,7031 | 0,008085 | -0,01147 | 0,004647 | -0,00659 | 0,21834 | -0,30961 | 0,397354 |
| 21 | 3,685239 | 3,699902 | 3,6901 | 0,004861 | -0,0098 | 0,002793 | -0,00563 | 0,131718 | -0,26564 | 0,398759 |
| 20,5 | 3,675464 | 3,690127 | 3,6771 | 0,001636 | -0,01303 | 0,00094 | -0,00749 | 0,044483 | -0,35428 | 0,533565 |
| 20 | 3,655914 | 3,675464 | 3,6641 | 0,008186 | -0,01136 | 0,004705 | -0,00653 | 0,223412 | -0,31015 | 0 |
| 19,5 | 3,651026 | 3,651026 | 3,6511 | 7,36E-05 | 7,36E-05 | 4,23E-05 | 4,23E-05 | 0,002016 | 0,002016 | 0,268689 |
| 19 | 3,626588 | 3,636364 | 3,6381 | 0,011512 | 0,001736 | 0,006616 | 0,000998 | 0,316416 | 0,047727 | 0,134826 |
| 18,5 | 3,621701 | 3,626588 | 3,6251 | 0,003399 | -0,00149 | 0,001954 | -0,00086 | 0,093766 | -0,04106 | 0,270623 |
| 18 | 3,607038 | 3,616813 | 3,6121 | 0,005062 | -0,00471 | 0,002909 | -0,00271 | 0,140137 | -0,13049 | 0,2716 |
| 17,5 | 3,587488 | 3,597263 | 3,5991 | 0,011612 | 0,001837 | 0,006674 | 0,001056 | 0,322642 | 0,051042 | 0,136293 |
| 17 | 3,577713 | 3,5826 | 3,5861 | 0,008387 | 0,0035 | 0,00482 | 0,002011 | 0,233886 | 0,097594 | 0,136788 |
| 16,5 | 3,567937 | 3,572825 | 3,5731 | 0,005163 | 0,000275 | 0,002967 | 0,000158 | 0,144484 | 0,007696 | 0,411864 |
| 16 | 3,548387 | 3,56305 | 3,5601 | 0,011713 | -0,00295 | 0,006732 | -0,0017 | 0,329005 | -0,08286 | 0 |
| 15,5 | 3,5435 | 3,5435 | 3,5471 | 0,0036 | 0,0036 | 0,002069 | 0,002069 | 0,101505 | 0,101505 | 0,553192 |
| 15 | 3,514174 | 3,533724 | 3,5341 | 0,019926 | 0,000376 | 0,011452 | 0,000216 | 0,563821 | 0,01063 | 0,555234 |
| 14,5 | 3,499511 | 3,519062 | 3,5211 | 0,021589 | 0,002038 | 0,012407 | 0,001172 | 0,613125 | 0,057891 | 0,557291 |
| 14 | 3,494624 | 3,514174 | 3,5081 | 0,013476 | -0,00607 | 0,007745 | -0,00349 | 0,384149 | -0,17314 | 0,978888 |
| 13,5 | 3,465298 | 3,499511 | 3,4951 | 0,029802 | -0,00441 | 0,017128 | -0,00254 | 0,852675 | -0,12621 | 0,701816 |
| 13 | 3,460411 | 3,484848 | 3,4821 | 0,021689 | -0,00275 | 0,012465 | -0,00158 | 0,622884 | -0,07893 | 0,704446 |
| 12,5 | 3,445748 | 3,470186 | 3,4691 | 0,023352 | -0,00109 | 0,013421 | -0,00062 | 0,673149 | -0,0313 | 0,707096 |
| 12 | 3,431085 | 3,455523 | 3,4561 | 0,025015 | 0,000577 | 0,014376 | 0,000332 | 0,723791 | 0,016696 | 0,993671 |
| 11,5 | 3,416422 | 3,450635 | 3,4431 | 0,026678 | -0,00754 | 0,015332 | -0,00433 | 0,774817 | -0,21885 | 1,139928 |
| 11 | 3,396872 | 3,435973 | 3,4301 | 0,033228 | -0,00587 | 0,019097 | -0,00338 | 0,96872 | -0,17121 | 1,001232 |
| 10,5 | 3,382209 | 3,416422 | 3,4171 | 0,034891 | 0,000678 | 0,020052 | 0,000389 | 1,021065 | 0,019833 | 0,717897 |
| 10 | 3,377322 | 3,40176 | 3,4041 | 0,026778 | 0,00234 | 0,01539 | 0,001345 | 0,786651 | 0,068754 | 0,864779 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|----------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 9,5 | 3,357771 | 3,387097 | 3,3911 | 0,033329 | 0,004003 | 0,019154 | 0,002301 | 0,98283 | 0,118051 | 0,578738 |
| 9 | 3,347996 | 3,367546 | 3,3781 | 0,030104 | 0,010554 | 0,017301 | 0,006065 | 0,891149 | 0,312411 | 0 |
| 8,5 | 3,343109 | 3,343109 | 3,3651 | 0,021991 | 0,021991 | 0,012639 | 0,012639 | 0,653517 | 0,653517 | 0 |
| 8 | 3,333333 | 3,333333 | 3,3521 | 0,018767 | 0,018767 | 0,010785 | 0,010785 | 0,559848 | 0,559848 | -0,14637 |
| 7,5 | 3,323558 | 3,318671 | 3,3391 | 0,015542 | 0,020429 | 0,008932 | 0,011741 | 0,46545 | 0,611824 | 0,440839 |
| 7 | 3,308895 | 3,323558 | 3,3261 | 0,017205 | 0,002542 | 0,009888 | 0,001461 | 0,51726 | 0,076421 | 0 |
| 6,5 | 3,304008 | 3,304008 | 3,3131 | 0,009092 | 0,009092 | 0,005225 | 0,005225 | 0,274431 | 0,274431 | 0 |
| 6 | 3,294233 | 3,294233 | 3,3001 | 0,005867 | 0,005867 | 0,003372 | 0,003372 | 0,177793 | 0,177793 | 0 |

2. Source code data inversi menggunakan matlab

```

clc
clear
close

% Data observasi

%bengawan
%z = [1400 1300 1415 1274 1402 1701 1301 1546 1961 1911 1871 1994
2107 2058 2043 2399 2548 2648 1852 3804 2935 4318 4215 5290 5740
];
%T = [0.014 0.0147 0.015 0.015 0.016 0.017 0.017 0.018 0.019 0.020
0.021 0.022 0.023 0.024 0.026 0.028 0.029 0.032 0.034 0.037 0.041
0.045 0.051 0.057 0.066];
%gunung
z = [118 145 186 179 159 125 237 210 187 216 180 233 235 284 166
253 305 302 308 304 293 305 263 388 372];
T = [0.012 0.012 0.013 0.013 0.014 0.014 0.015 0.015 0.016 0.017
0.017 0.018...
0.019 0.020 0.021 0.022 0.023 0.024 0.026 0.028 0.029 0.032 0.034
0.037...
0.041];
%kolam
%z = [586 657 534 794 800 556 406 907 927 474 675 800 421 654 800
786 987 800 865 800 728];
%T = [0.013 0.013 0.014 0.014 0.015 0.015 0.016 0.017 0.017 0.018
0.019...
%0.020 0.021 0.022 0.023 0.024 0.026 0.028 0.029 0.032 0.034];

% Plot data observasi
plot(z,T,'*r');
grid;
xlabel('delta t (sekon)');
ylabel('Z(LOG10 (H0/H1))');
title('\fontsize{14} Variasi Z vs delta t (sekon)');
% Membentuk matrik kernel G dan vektor d

```

```

n = length(z);
for k = 1:n
G(k,1) = 1;
G(k,2) = z(k);
end
d = T';
% Perhitungan inversi dengan general least-squares
m = inv(G'*G)*G'*d;
% Plot hasil inversi (berupa garis least-squares)
hold on;
zz = 0:0.5:z(n);
TT = m(1) + m(2)*zz;
plot(zz,TT);

m(2)

```

3. Foto dokumentasi sampel



Gambar tanah sampel gunung, kolam its dan tanggul sungai bengawan solo

4. Foto dokumentasi alat



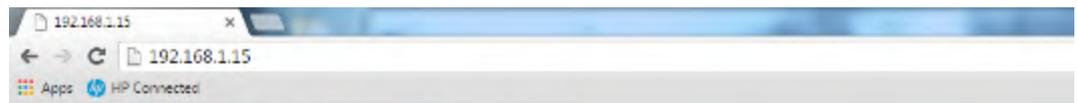
Gambar alat falling head permeameter yang dilengkapi dengan sistem akuisisi data

5. Foto dokumentasi kalibrasi sensor



Gambar kalibrasi dengan level menaik dan menurun (alat kalibrator adalah penggaris)

6. Tampilan data pengukuran



DATA PERMEABILITAS TANAH

487 x 10⁻³ cm/s

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Informasi nilai permeabilitas tanah penting untuk karakteristik dari tanah guna mengetahui sifat tanah tersebut. Terdapat beberapa jenis peralatan alat ukur yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai permeabilitas, bergantung pada jenis sampel tanah. *Falling head permeameter* adalah salah satu alat uji yang dapat digunakan untuk menentukan nilai koefisien permeabilitas tanah. Keunggulan dari alat ini yakni pengujian dapat dilakukan di laboratorium, dikarenakan bahan uji merupakan cuplikan dari suatu daerah pengukuran. Kekurangan dari peralatan ini yakni pada proses pengambilan data yang menggunakan tenaga manusia, sehingga diperlukan sebuah alat penunjang, yaitu *datalogger*. *Data logger* adalah peralatan tambahan yang dapat mengolah dan menyimpan data secara digital. Penyimpanan data secara digital sangatlah penting dalam melakukan pengukuran, karena pada proses pengukuran yang membutuhkan jangka waktu yang lama dan jumlah data yang tidak sedikit akan menemui kesalah pengukuran yang tinggi (antonio,2009). Oleh sebab itu penelitian pembuatan *datalogger* menggunakan sensor tekanan MPX10GP ini dilakukan untuk mengukur koefisien permeabilitas tanah secara digital.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dihadapi dalam penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai koefisien permeabilitas dari tiga sampel tanah yang berbeda
2. Pengujian sistem akuisisi data berbasis IOT pada sistem pengukuran koefisien permeabilitas tanah

1.3 Tujuan Dan Manfaat Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk dapat membuat peralatan ukur digital sehingga dapat menentukan nilai koefisien permeabilitas tanah secara akurat sehingga diharapkan mampu menjadi acuan pembuatan peta kekuatan tanah.

1.4 Batasan Masalah

Masalah yang dibatasi adalah pada rentang jarak pengukuran yang berdasar pada kemampuan sensor dan sampel uji yang dipilih yaitu pada daerah pada lereng gunung Ngantang, tanggul kolam ITS dan tanggul sungai Bengawan Solo.

1.5 Sistematika Penulisan

Pada laporan penelitian ini terdiri dari 5 BAB, BAB 1 berisi tentang pendahuluan, BAB 2 berisi dasar teori yang meliputi sifat tanah, alat ukur tanah, BAB 3 berisi metodologi penelitian, BAB 4 berisi tentang analisa dan hasil penelitian, dan BAB 5 berisi tentang data dan kesimpulan penelitian.

BAB 2

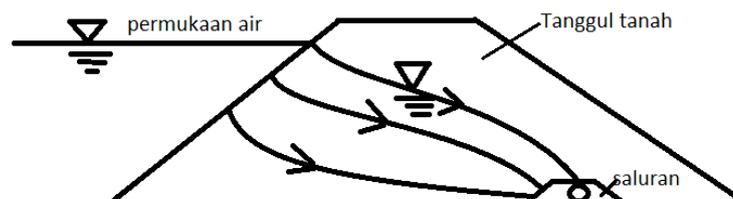
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Keseluruhan mineral yang terkandung di dalam tanah berasal dari pelapukan batuan, batuan sendiri memiliki beberapa jenis berdasar dari asal usul pembentukannya, batuan beku terbentuk dari aliran magma yang membeku, batuan sedimen terbentuk dari lapisan air. Transformasi dari bentuk batuan menjadi tanah sendiri memiliki banyak cara, diantaranya dikarenakan perubahan temperatur yang terus menerus (pengaruh fisika), oksidasi, hidrasi (proses dekomposisi).

Mineral lempung seringkali ditemukan pada tanah, beberapa kandungan mineral tanah lempung adalah kaolin, montmorillonite, illite, dan palygorskite. *Propertis* dari tanah digunakan oleh teknisi geologi untuk mendesain pondasi, dam, ekskavasi dan beberapa masalah pada teknisi tanah. Salah satu propertis yang digunakan adalah pada laju aliran air dalam tanah. Air yang terkandung pada tanah bebas mengalir kesegala arah yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi. Darcy telah meneliti aliran laju air dalam tanah ini yang perumusannya dikenal dengan Hukum Darcy, yang mendeskripsikan tentang hubungan antara penurunan kecepatan aliran, gradient hidraulik dan parameter tanah yang biasa disebut dengan koefisien permeabilitas tanah. Koefisien ini mendiskripsikan laju aliran air yang melewati struktur mikro dari tanah yang bergantung pada viskositas cairan, dan kerapatan dari pori-pori tanah yang dilewati zat cair. Viskositas sendiri merupakan fungsi dari temperatur.

Aliran air saturasi yang melewati molekul material tanah dapat direpresentasikan pada gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Laju Aliran Rembesan pada DAM (Al-Khafaji dan Andersland, 1995).

Dimana pada gambar di atas menggambarkan ilustrasi area yang mungkin dilewati oleh air karena pengaruh gaya gravitasi. Pada Gambar 2.1 tersebut merupakan gambaran dari sebuah dam yang mana air rembesannya akan mengalir melewati lapisan dalamnya. Debit air yang dapat lolos dari dam, diatur oleh permeabilitas tanah tersebut. Sehingga kemungkinan terjadinya kerusakan dam dapat dicegah dengan melakukan studi tentang nilai koefisien permeabilitas tanah.

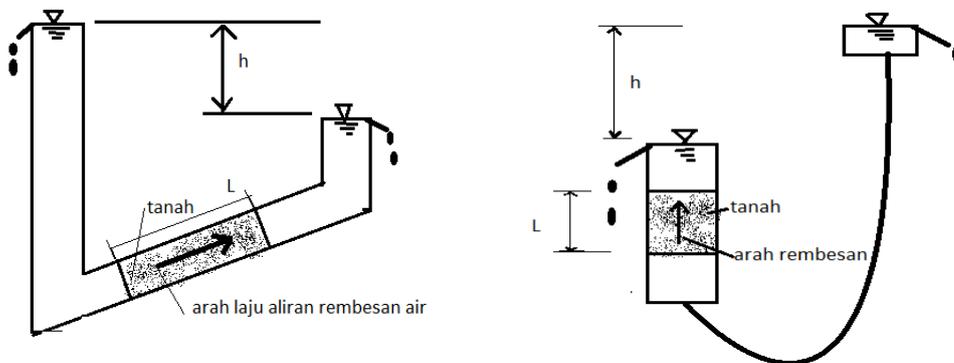
2.2 Laju Aliran Air Dalam Tanah

Laju aliran air pada tanah tidak hanya bergantung pada pengaruh gravitasi, melainkan pula juga struktur mikro penyusunnya, sehingga keakuratan prediksi area laju aliran tanah dapat meningkat. Beberapa penelitian yang menyinggung permasalahan pengukuran permeabilitas tanah ini mengacu pada hukum Darcy.

Aliran fluida yang melewati tanah dapat digambarkan menggunakan teknik eksperimen, seperti yang telah dilakukan oleh Darcy (1856). Sebuah tekanan yang konstan dibuat pada dua ujung sampel uji, seperti pada Gambar 2.2 di bawah ini. Kuantitas dari air yang melewati medium sampel uji dicatat pada saat melakukan pengujian untuk selang waktu tertentu. Hasil dari kuantitas air, atau debit Q (cm^3/s) yang melewati sampel uji pada selang waktu t (detik), luasan sampel A (cm^2), perbedaan ketinggian fluida h (cm) dan tinggi sampel uji L (cm) adalah sebagai berikut.

$$\frac{Q}{t} = q \quad \text{dan} ; q \sim \frac{Ah}{L} \quad \text{atau} \quad q = \text{konstanta} \cdot \frac{Ah}{L} \quad (2.1)$$

$$\frac{q}{A} = v \quad \text{dan} ; v \sim \frac{h}{L} \quad \text{atau} \quad v = (\text{konstanta}) \frac{h}{L} = k \cdot i \quad (2.2)$$



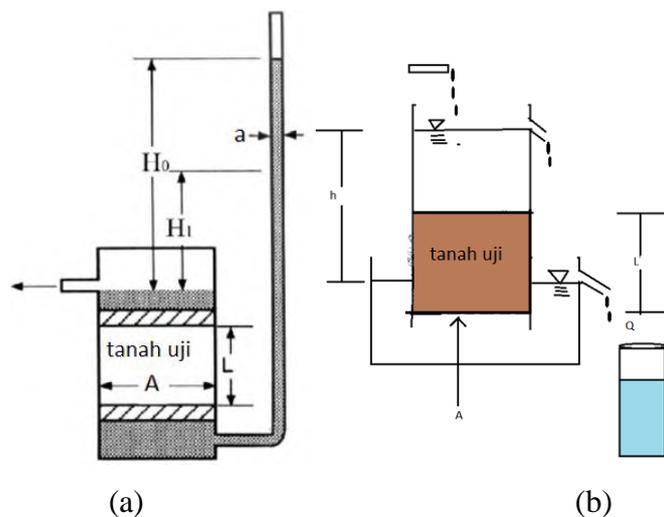
Gambar 2.2 Aliran Air Melewati Tanah

$$\text{sehingga; } v = ki = k \frac{h}{L} \quad (2.3)$$

dimana v (cm/s) adalah kecepatan aliran fluida, i adalah *total head lost* per satuan panjang/*gradien hidraulik*, dan k (cm/s) adalah koefisien permeabilitas. Persamaan 2.3 dikenal sebagai hukum Darcy. Koefisien permeabilitas tanah atau lebih mudah mengenalnya dengan permeabilitas adalah gambaran yang mendiskripsikan tentang bagaimana air mengalir melewati tanah (Al-Khafaji dan Andersland, 1995).

2.2.1 Pengukuran Permeabilitas Tanah – Laboratorium

Koefisien permeabilitas tanah dapat ditentukan dengan beberapa pengujian, bergantung pada *cross sectional area*, *gradien hidraulik*, dan kuantitas dari aliran yang dapat diukur. Dua buah apparatus yang biasa digunakan untuk pengukuran ini ditunjukkan pada Gambar 2.3, yaitu menggunakan metode falling head dan constant head. Untuk sampel uji yang tingkat kerapatannya rendah (pasir) constant head lebih tepat, untuk bahan sampel yang tingkat kerapatannya tinggi (tanah lempung), metode falling head yang lebih akurat. Masalah yang timbul dari metode ini adalah suhu dan tekanan yang akan mempengaruhi sifat material uji, busa yang timbul dari bahan uji yang akan menutup pori-pori bahan uji sehingga akan menimbulkan error pengukuran.



Gambar 2.3 Pengukuran Menggunakan Metode *Fallinghead* (A) dan *Constant Head Permeameter*(B).

Seperti pada gambar di atas, metode *falling head* menggunakan bahan uji yang tidak terganggu oleh sistem dari luar/terisolasi. Pengambilan bahan uji dilakukan sesuai standart yang ada. Ketinggian air di dalam pipa dicatat dan dimasukkan pada persamaan berikut ini (Al-Khafaji dan Andersland, 1995).

$$q = -a \frac{dh}{dt} = kA \frac{h}{L} \quad (2.4)$$

Dimana $i = \text{gradien hidraulik} = h/L$, a adalah luasan pipa tempat fluida dan A luasan pipa sampel. Dengan membentuk persamaan seperti dibawah ini maka:

$$- \int_{h_2}^{h_1} \frac{dh}{h} = \frac{kA}{aL} \int_{t_1}^{t_2} dt \quad (2.5)$$

Sehingga:

$$- \ln \frac{h_2}{h_1} = \frac{kA}{aL} (t_2 - t_1) \quad (2.6)$$

Metode *falling head* ini dapat dirancang menggunakan aliran yang bergerak keatas, maupun kebawah melewati bahan uji. Penataan sampel sebaiknya dilakukan secara tepat sehingga meminimalisir kesalahan pengukuran.

2.2.2 Data Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian yang sebelumnya dilakukan oleh (Fahrur,2014) tentang pengukuran koefisien permeabilitas tanah yang dilakukan ditempat tanggul sungai Bengawan Solo dengan menggunakan alat ukur yang sudah dikalibrasi di laboratorium teknik Sipil ITS, diperoleh nilai permeabilitas tanah dengan rentang nilai $1 \times 10^{-4} \sim 5 \times 10^{-4}$.

2.3 Karakteristik Dasar Alat Ukur

Alat ukur berfungsi untuk mendeteksi parameter pada dunia industri maupun penelitian seperti: tekanan, temperatur aliran, gerakan, tegangan dan lain-lain. Alat ukur harus mampu mendeteksi setiap perubahan dengan teliti dan dapat membangkitkan sinyal. Untuk dapat mengetahui sifat dari alat ukur, maka dilakukan karakteristik dasar. Seperti yang akan dijelaskan pada sub bab berikut ini.

2.3.1 Ketelitian

Ketelitian pengukuran bersifat relatif, dipengaruhi oleh kesalahan statis, kesalahan dinamis, drift. Ketelitian didefinisikan sebagai kedekatan pembacaan terhadap nilai yang standart/benar. Ketelitian dilakukan dengan cara kalibrasi pada kondisi kerja tertentu dan dinyatakan diantara plus minus suatu prosentase harga pada skala yang ditentukan. Ketelitian dari sistem yang lengkap tergantung pada ketelitian individu dari sensing element primer dan sekunder. Apabila A adalah ketelitian seluruh sistem, maka $A = \pm (a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + \dots)$ dimana a_1, a_2, \dots, a_n adalah ketelitian dari tiap elemen pada sistem instrumen tersebut. A merupakan ketelitian tingkat rendah, namun pada prakteknya digunakan rms (*root mean square*) dari ketelitian masing-masing, dapat dituliskan: $A = \pm \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + \dots + a_n^2}$. Hal ini dapat digunakan untuk mengetahui bahwa tidak mungkin semua bagian dari sistem berada dalam kesalahan statis terbesar padatempat dan waktu yang sama.

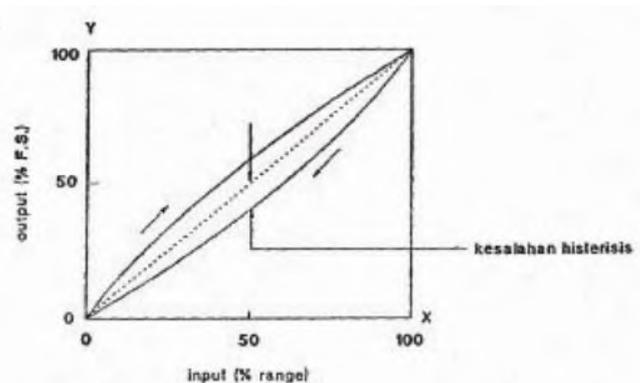
2.3.2 Linieritas

Sebagian besar transduser dirancang untuk mendapatkan output terhadap input yang diukur dengan hubungan linier. Linieritas didefinisikan sebagai kemampuan untuk memproduksi karakteristik input secara simetris, dan dapat dirumuskan sebagai $y = mx + c$, dengan y output, x input, m kemiringan dan c titik potong. Kedekatan kurva kalibrasi dengan sebuah garis lurus adalah kelinieran transduser.

Linieritas absolut berhubungan dengan kesalahan maksimum pada tiap titik pada skala terhadap pengukuran absolut atau garis teoritis. Nilainya diberikan harga $x\%$ dari skala penuh. Linieritas terminal adalah kemiringan teoritis dengan titik-titik ujung teoritis pada output $a\%$ dan 100% dari skala penuh. Linieritas titik ujung sebagai garis lurus yang menghubungkan titik-titik ujung eksperimental. Titik ujung tersebut dapat ditentukan seperti yang diperoleh selama kalibrasi .

2.3.3 Histerisis

Pengukuran yang dilakukan dengan arah naik/ *increase* dan turun/*decrease*, pada umumnya memiliki output yang berbeda, hal ini disebabkan oleh gaya gesek di dalam atau di luar pada saat elemen sensor menerima input parameter yang diukur. Perbedaan maksimum pada output pembacaan selama kalibrasi adalah histerisis dari alat tersebut. Gambar 2.4 menunjukkan lengkung histerisis. Histerisis terjadi pada magnet dan alat mekanik lainnya, hal ini tergantung pada kejadian pada saat pembalikan input, waktu yang dihabiskan pada langkah sebelumnya, dan bahan yang elastis.



Gambar 2.4 Kurva Histerisis (Samadikun et al., 1989).

Pada gambar diatas, histerisis yang didapat apabila jangkauan lebih kecil dari skala penuh biasanya lebih kecil daripada skala histerisis total.

kesalahan terjadi pada detektor pertama, indikator analog dan alat perekam, namun kesalahan direduksi dengan perencanaan alat yang lebih sesuai.

2.4 Kalibrasi

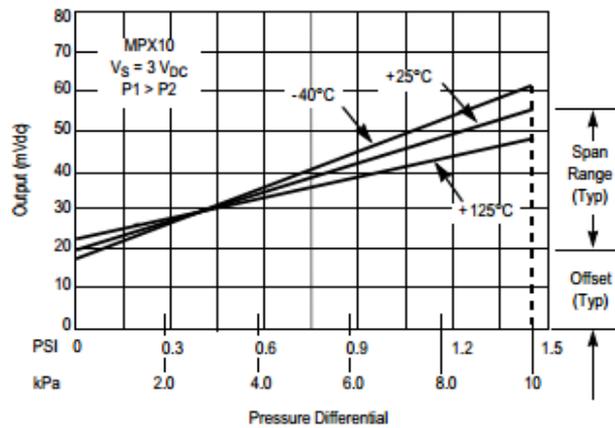
Kalibrasi merupakan hal penting pada pengukuran industri dan pengaturan. Definisi kalibrasi adalah pembandingan harga spesifik input dan output instrumen terhadap standar referensi yang bersangkutan. Kalibrasi akan memberikan nilai dengan ketelitian yang dibutuhkan dan jangkauan yang dispesifikasikan dalam lingkungan tertentu. Dengan proses kalibrasi maka kesalahan dan koreksi dapat ditentukan, kalibrasi harus dilakukan secara periodik untuk menguji kebenaran data keluaran dari alat ukur. Standar referensi terkalibrasi yang diturunkan dari standar absolut disebut standar sekunder. Standar ini dapat dimiliki oleh banyak instansi yang dapat ditera dengan standar primer kembali. Jarak waktu kalibrasi standar sekunder bergantung pada ketelitian dan tipe standar yang digunakan. Pada Tabel 2.1 ditunjukkan beberapa standar yang digunakan. Standar ketelitian ini setingkat lebih tinggi daripada instrumen yang akan dikalibrasi

Tabel 2.1 Standar Kalibrasi yang Biasa Digunakan

| Parameter | Standar primer | Standar sekunder dan kerja |
|---------------------------------|---|--|
| Simpangan/kecepatan/ percepatan | Panjang distandarkan memakai lampu Krypton 88 (1×10^{-4}) pengukuran gerakan memakai alat standar; gerakan dan simulasi meja putar | Mikrometer presisi dan alat ukur (1×10^{-5}); giroskop; meter percepatan standar (2×10^{-4}) |
| Tekanan | Tester bobot mati udara (air dead weight tester); nanometer presisi (3×10^{-5} sampai 1×10^{-8}) | Tester bobot mati minyak, pipa bourdon kuarsa; transduser kesetimbangan gaya (force balance); nanometer air dan air raksa (1×10^{-5} sampai 3×10^{-4}) |
| Gaya/kopel | Bobot mati standar (1×10^{-7} sampai 1×10^{-8}) | Sel-sel beban standar; mesin testing universal; meter kopel presisi (1×10^{-4} sampai 1×10^{-5}) |
| Aliran | Pengukuran volume massa dan waktu (1×10^{-5}) | Pipa pitot, rota meter turbin, meter aliran (1×10^{-4} sampai 1×10^{-3}) |
| Temperatur | Potensiometer presisi; titik didih dan titik leleh metal (2×10^{-3} K) | Termokopel standar, termometer resistansi; potensiometer standar; pirometer radiasi (20×10^{-3}); standar berkas rubidium |
| Waktu/frekuensi | Standar berkas Cesium (waktu 0,2 frekuensi 1×10^{-12} mikro detik perhari) | Osilator kristal kuarsa (waktu 20 mikro detik perhari) |
| Tegangan/ arus | Potensial efek Josephson berhubungan dengan frekuensi (1×10^{-4}) | Voltmeter standar; potensiometer standar (1×10^{-5}) |

2.5 Tranduser Tekanan

Tranduser tekanan yang dipakai adalah MPX10GP, sensor ini bekerja menggunakan silikon piezoelektrik sehingga output yang dikeluarkan akurat dan linear. Bentuk sinyal keluaran dari sensor ini adalah nilai tegangan, untuk versi MPX10GP memiliki spesifikasi rentang pengukuran 10KPa, sinyal keluaran tegangan 20-50 mV, sehingga untuk meningkatkan akurasi perlu penambahan rangkaian penguat differensial. Karakteristik dari sensor ini adalah menggunakan supply tegangan maksimum 6 volt DC, *full scale span* 20-50 mV, linieritas $-1 \sim 1\% V_{fss}$. Pada gambar 2.5(Freescale Semiconductor, Inc, 2007) memperlihatkan karakter output dari MPX10GP yang berbanding dengan suhu.



Gambar 2.5 Fungsi Temperatur Terhadap Output Sensor MPX10GP

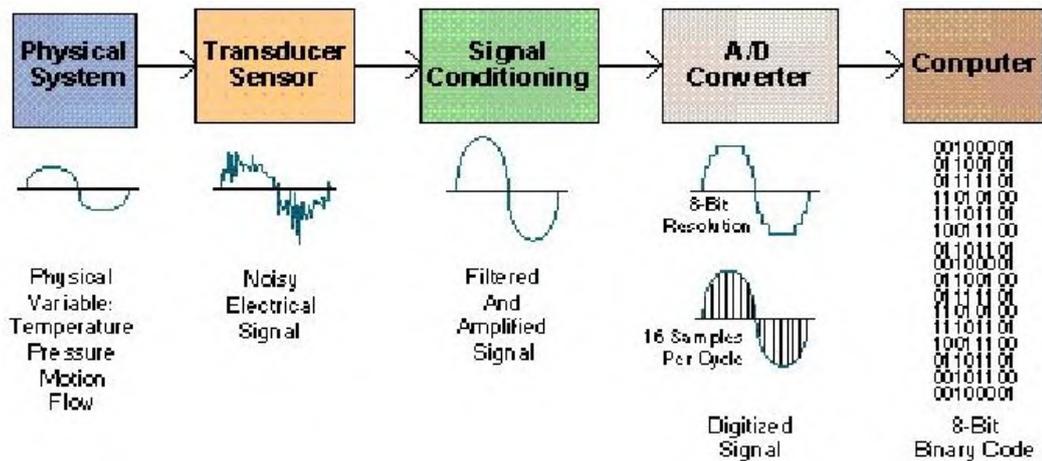
Pada grafik di atas, menunjukkan bahwa perubahan tekanan tidak mengandung parameter suhu, hal ini dikarenakan oleh elemen pembentuk sensor tekanan ini menggunakan silikon diaphragm.

2.6 Akuisisi Data

Proses pengambilan data konvensional biasanya dilakukan sebatas pada data-data diskrit dan yang mengalami perubahan-perubahan data yang lambat dengan jumlah data yang terbatas. Bentuk teknologi sistem akuisisi data yang terdiri dari sub sistem instrumentasi dapat mentransformasikan banyak data kedalam suatu format yang sama sehingga memudahkan dalam proses pengolahan

data. Sistem akuisisi dapat dikelompokkan kedalam dua kelas yaitu sistem akuisisi data analog dan sistem akuisisi data digital (Samadikun dkk., 1989a).

Sistem analog berfungsi untuk mengambil informasi pengukuran dalam bentuk analog maupun sebagai fungsi kontinyu, sedangkan sistem digital menangani informasi-informasi dalam bentuk digital. Penggunaan sistem akuisisi ini diawali dengan data keluaran dari transduser yang mentransformasikan besaran fisis kedalam bentuk yang mudah sinyal listrik, kemudian sistem akuisisi data digital menggunakan mikroprosesor diterapkan pada proses ini, sehingga pengolahan dan penyimpanan data analog dapat diatur sesuai kebutuhan. Untuk proses pengolahan besaran fisis menjadi data digital, dapat dilihat pada gambar berikut ini.

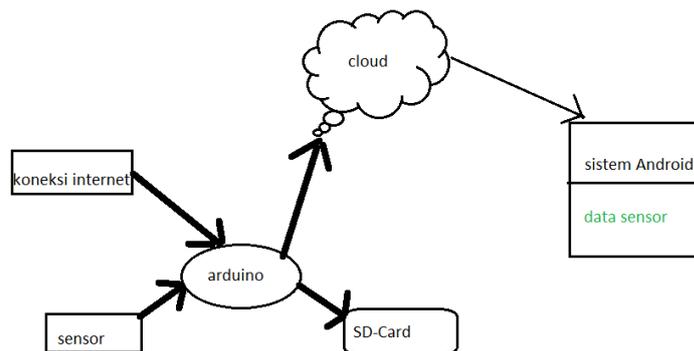


Gambar 2.6 Skema Proses Konversi Data.

Pada skema sistem di atas, parameter perubahan fisis dideteksi oleh transduser, namun biasanya perubahan sinyal besaran fisis menjadi elektrik tidak selalu langsung dapat diterjemahkan dalam sinyal elektrik, sehingga perlu diolah menggunakan blok diagram pengolah sinyal sehingga data menjadi lebih baik. Setelah dari blok pengolah sinyal, data selanjutnya dikonversi menggunakan *analog digital converter*, maupun penterjemah pulsa, sehingga dari blok ini akan diperoleh data digital. Setelah bentuk data menjadi digital, maka data siap untuk dikomunikasikan kepada perangkat komputer maupun mikroprosesor, bentuk data digital ini merupakan standar komunikasi berbagai perangkat digital, sehingga akuisisi data dapat diatur sesuai dengan kebutuhan.

2.6.1 Sistem Akuisisi Data Menggunakan Internet Of Things /IoT

Internet of things (IoT) adalah teknologi yang utama pada saat ini. prinsip dari teknologi ini adalah agar semua objek dari kebutuhan hidup terkoneksi dengan internet. Hal ini akan terus menerus mengirim dan menampilkan data ke web dan dapat diakses dimanapun dan kapanpun. koneksi demikian ini disebut dengan M2M *machine to machine commuication*. sistem ini memerlukan *hardware* maupun *software*, perlengkapan *hardware* diantaranya sensor, mikrokontroller, modul internet dan untuk *software* digunakan bahasa C/C++ yang digunakan untuk pemrograman arduino, pada web server digunakan bahas PHP, MySQL, dan pada *software* Android, digunakan aplikasi eclipse. berikut adalah topologi sistem IoT.



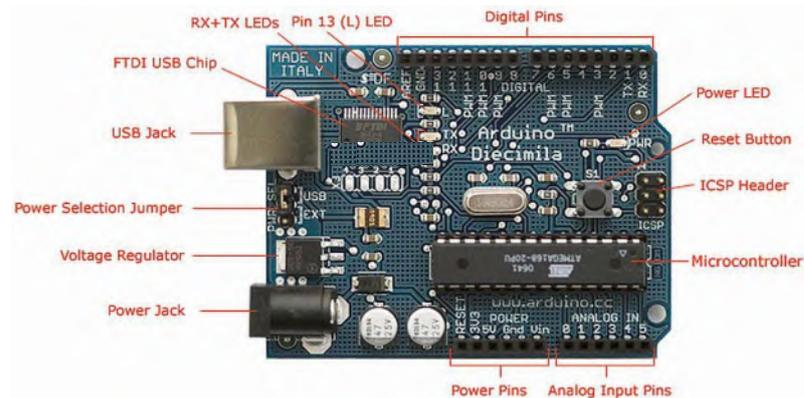
Gambar 2.7 Sistem Koneksi IoT.

Pada topologi di atas, terjadi komunikasi searah, yakni antara sensor, ke Arduino, Arduino ke cloud untuk selanjutnya diakses oleh Handphone yang beroperasi dengan sistem Android.

2.6.2 Perangkat Sistem Akuisisi Data

Perangkat keras pendukung sensor untuk penyimpanan data terdiri dari sebuah modul Arduino , LCD 16 x 2, dan sebuah modul SD card yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan data. Modul Arduino yang

diproduksi hingga saat ini berbasis mikrokontroler AVR 8bit RISC (seri ATmega) seperti ATmega168, ATmega328, ATmega1280 dan ATmega2560 yang telah dilengkapi *bootloader* untuk membantu proses pengisian program. Salah satu contoh hardware Arduino adalah “ArduinoDuemilanove”.



Gambar 2.8 Arduino Board.

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.8, Arduino Duemilanove atau yang biasa disebut dengan Arduino 2009 merupakan *board* mikrokontroler (minimum sistem) berbasis ATmega168 atau ATmega328. Mikrokontroler ini memiliki 14 pin digital input/output (6 diantaranya dapat digunakan sebagai PWM output), 6 analog input, sebuah 16MHz osilator kristal (x-tal), koneksi USB, ICSP header dan terminal daya 7-12V (rekomendasi). Arduino Duemilanove memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer ataupun dengan mikrokontroler lain. ATmega168 dan ATmega328 menyediakan komunikasi UART TTL (5V), ini tersedia pada pin 0 (RX) dan 1 (TX). Sebuah komunikasi serial dengan FTDI FT232RL memudahkan modul Arduino ini untuk berkomunikasi langsung melalui USB. ATmega168 dan ATmega328 juga mendukung komunikasi dengan I²C (TWI) dan komunikasi SPI (*Serial Peripheral Interface*). Dengan adanya regulator tegangan 5V di dalamnya, modul ini dapat langsung dicatu oleh tegangan 7-12V. Selain itu di dalam modul juga terdapat regulator tegangan 3,3V yang memungkinkan modul untuk memberi pasokan daya ke

perangkat lain yang bekerja pada tegangan 3,3V secara langsung. Memori *Flash* yang disediakan dalam modul ini adalah 16Kb untuk modul dengan IC ATmega168 dan 32Kb untuk modul dengan IC ATmega328, memori *flash* ini cukup untuk keperluan pemrograman sistem yang berbasis mikrokontroler.

Modul penyimpanan data (perekam data) adalah suatu perangkat khusus yang mampu menyimpan data dalam jangka waktu tertentu. Dengan dihubungkan pada sensor khusus, alat ini akan menyimpan data yang diinginkan untuk kemudian dapat diambil tanpa terbatas jarak/lokasi. Beberapa fungsi yang sering memanfaatkan modul penyimpanan data adalah pemantauan cuaca, curah hujan, kadar kejernihan air, tingkat kejernihan air, atau bahkan untuk pemantauan kebencanaan seperti prediksi tsunami, gempa, aktifitas vulkanis.



Gambar 2.9 Modul Penyimpanan Data Menggunakan Kartu Memori.

Gambar di atas adalah merupakan suatu piranti yang dapat digunakan sebagai media penyimpanan data, terdiri dari sebuah mikrokontroler dan modul kartu memori. Dengan menggunakan program dari Arduino kita dapat membuat sebuah program untuk menyetting piranti tersebut sebagai sarana penyimpanan data.