



**SISTEM INSTRUMENTASI ELEKTRONIK UNTUK MENGUKUR
TEKANAN PADA LAPISAN TANAH MENGGUNAKAN SENSOR
EARTH PRESSURE CELL**



TUGAS AKHIR

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan Untuk Menyelesaikan

Program Strata Satu Departemen Elektro Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

Makassar

Oleh :

ARIF RAHMAN JUANDA

D411 14 302

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2018



LEMBAR PENGESAHAN
SISTEM INSTRUMENTASI ELEKTRONIK UNTUK MENGUKUR
TEKANAN PADA LAPISAN TANAH MENGGUNAKAN SENSOR
EARTH PRESSURE CELL

Disusun oleh :

ARIF RAHMAN JUANDA

D411 14 302

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
Program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar

Disahkan oleh:

Pembimbing I

Dr. A. Ejah Umraeni Salam, S.T., M.T.
NIP.19720908 199702 2 001

Pembimbing II

Ida Rachmaniar Sahali S.T., M.T.
NIP.19820630 201212 2 001

Mengetahui,
Ketua Departemen Teknik Elektro



Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT.
NIP. 19621231 199003 1 024



ABSTRAK

Perkembangan teknologi instrumentasi memberikan kemudahan dalam pengukuran dibandingkan dengan menggunakan peralatan manual, seperti pengukuran atau pemantauan suatu besaran yang dilakukan secara terus-menerus. Dikembangkannya model *Rapid Impact Compaction* berskala laboratorium yang belum dilengkapi dengan sistem instrumentasi elektronik untuk mengukur besarnya tekanan yang dihasilkan terhadap tanah sehingga dibutuhkan rancangan suatu sistem untuk masalah tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk merancang suatu sistem instrumentasi elektronik menggunakan sensor *earth pressure cell* untuk mengukur tekanan pada lapisan tanah sehingga dapat diketahui hubungan tegangan keluaran sensor dengan tekanan pada sensor serta memperhatikan kinerja dari sensor yang digunakan. Pada tahap perancangan sistem, terlebih dahulu setiap komponen dilakukan pengujian yang bertujuan untuk memastikan komponen berfungsi dengan normal. Pengujian sistem menggunakan beberapa skema kondisi pengujian yang sesuai dengan penggunaan sensor pada *Rapid Impact Compaction* skala laboratorium. Skema pengujian pertama meletakkan sensor pada permukaan pasir kemudian diletakkan beban dengan massa 1-7 kg dengan kenaikan 1kg dan massa 2.5-10 kg dengan kenaikan 2.5 kg pada sensor kemudian dilakukan pengambilan data berupa tegangan keluaran sensor untuk setiap massa beban yang berbeda. Skema pengujian kedua dan ketiga sensor diletakkan pada pasir dengan kedalaman masing-masing 20 dan 30 cm kemudian selanjutnya dilakukan seperti pengujian pada skema pertama dengan menggunakan beban dengan massa 2.5-15 kg dengan kenaikan 2.5 kg. Hasil pengujian menunjukkan semakin besar tekanan yang diberikan terhadap sensor semakin besar tegangan keluaran sensor. Konversi tegangan menjadi tekanan yang bersesuaian menggunakan persamaan umum yang digunakan untuk sensor tekanan yang menggunakan *strain gauge* dan dilakukan perbandingan dengan perhitungan berdasarkan data kalibrasi sensor sehingga diperoleh persentase beda rata-rata untuk skema pertama massa 1-7 kg sebesar 0.08749%, massa 2.5-10 kg sebesar 0.228 %. Skema kedua untuk massa 2.5-15 kg sebesar 0.0991% dan skema ketiga untuk massa 2.5-15 kg sebesar 0.0475%.

Kata Kunci : *earth pressure cell, instrumentasi, rapid impact compaction, sensor, tekanan*

ABSTRACT

The development of instrumentation technology makes the measurement become more easier compared to using manual equipment, such as measuring or monitoring which is run continuously. The development of laboratory scale Rapid Impact Compaction models that have not been equipped with electronic instrumentation systems to measure the amount of pressure produced on the soil so that an instrumentation system is needed for this problem. This study aims to design an electronic instrumentation system using earth pressure cell sensors to measure the pressure in the soil layer so that it can be seen the relationship between the sensor output voltage and the pressure on the sensor and pay attention to the performance of the sensors used. At the system design stage, each component is tested first with the aim of ensuring the components function normally. System testing uses several testing conditions that are in accordance with the use of sensors on a laboratory scale Rapid Impact Compaction. The first testing scheme put the sensor on the surface of the sand and then placed a load of 1-7 kg with an increase of 1 kg and a mass of 2.5-10 kg with an increase of 2.5 kg on the sensor then data was taken in the form of sensor output voltage for each different load mass. The second and third testing scheme of the sensor is placed on sand with a depth of 20 and 30 cm respectively then carried out as a test on the first scheme using a load with a mass of 2.5-15 kg with an increase of 2.5 kg. The test results show the greater the pressure applied to the sensor the greater the sensor output voltage. Voltage conversion becomes a corresponding pressure using the general equation used for pressure sensors using strain gauge and after that it will be compared with calculations based on sensor calibration data so that the average percentage difference for the first scheme with mass 1-7 kg is 0.08749%, mass 2.5-10 kg is 0.228%. The second scheme for the 2.5-15 kg mass is 0.0991% and the third scheme for the 2.5-15 kg mass is 0.0475%.

Keywords: earth pressure cell, instrumentation, pressure, rapid impact compaction, sensor



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim. Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah subhanu wata'ala atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Rasulullah sallallahu 'alaihi wasallam. Penyelesaian skripsi ini merupakan upaya penulis dalam memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis persembahkan skripsi sederhana ini agar menjadi sebuah kebanggaan bagi kedua orang tua. Kedua orang tua peneliti yang dengan setulus hati, keikhlasan jiwa, butiran doa dan keringat jerih payahnya dalam membesarkan dan mendidik ananda. Semoga kalian berdua selalu diberi umur panjang dan senantiasa dikaruniai kesehatan.

Skripsi ini berjudul *Sistem Instrumentasi Elektronik Untuk Mengukur Tekanan pada Lapisan Tanah Menggunakan Sensor Earth Pressure*. Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini mengalami berbagai kesulitan. Namun, berkat ketekunan dan usaha yang disertai doa, penulisan skripsi ini akhirnya dapat terselesaikan. Penyusunan skripsi ini juga tidak terlepas dari bantuan, dorongan, semangat, serta bimbingan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut, penulis sewajarnya menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan saudara-saudara kami tercinta, serta seluruh keluarga atas segala doa, bantuan, nasehat, dan motivasinya.
2. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, M.T.**, selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.



3. Bapak **Dr. Ir. H. Rhiza S. Sadjad., MSEE** selaku kepala Lab Sistem Kendali dan Instrumentasi yang telah membimbing dan memfasilitasi kami selama pengerjaan skripsi ini mulai dari pengajuan proposal hingga sampai ke tahap ujian akhir.
4. Ibu **Dr. A. Ejah Umraeni Salam, S.T., M.T.** selaku pembimbing I dan Ibu **Ida Rachmaniar Sahali S.T., M.T.** selaku Pembimbing II, terima kasih telah meluangkan waktu dan memberikan bimbingan, gagasan, serta ide-ide dalam penyelesaian skripsi ini.
5. Seluruh rekan-rekan anggota “*LSKI*” yang memberi warna dalam pengerjaan skripsi ini.
6. Kepada saudara seperjuangan “*Rectifier 2014*” Departemen Teknik Elektro yang sejak pertama menginjakkan kaki di Universitas Hasanuddin hingga saat ini telah menjadi saudara bagi kami dengan keunikan tersendiri.
7. Kepada makhluk penghuni grup WA “Pejabat Negara” yang setahun belakangan ini turut memantau dan menemani pengerjaan skripsi ini.
8. Kepada saudari Rosaria Ashari R dan Musdalifah S.M yang memudahkan kami dalam proses pengerjaan skripsi ini serta atas bantuan dalam berbagai hal yang telah dilakukan.
9. Kepada saudara Khaerul Imam Herman yang menjadi partner dalam pengerjaan TA pada tahap awal yang dimana menjadi masa sulit kami.



Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam skripsi ini, oleh karena itu saran dan kritik dari semua pihak diharapkan untuk kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat diterima sebagai sumbangan pikiran peneliti yang mendatangkan manfaat baik bagi penulis maupun pembacanya.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi penulis sendiri, institusi pendidikan dan masyarakat luas.

Makassar, Januari 2019

Arif Rahman Juanda



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	i
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4. Batasan Masalah	3
1.5. Metode Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1. Pengertian Pemadatan dan Kepadatan Tanah	7
2.2. Pengertian rapid impact compaction (RIC).....	8
2.3. Arduino	8
2.3.1. Arduino Uno R3.....	11
2.4. Arduino IDE	12
2.5. ATmega328.....	13
2.6. Fitur ATmega328.....	16
2.6. Pengertian Pengukuran	17



2.7. Pengertian Instrumen	18
2.8. Pengertian Sensor	19
2.9. <i>Strain Gauge</i>	21
2.9.1. Jenis-jenis <i>Strain Gauge</i>	23
2.9.2. Prinsip Kerja <i>Strain Gauge</i>	23
2.10. Satuan Tekanan.....	24
2.11. Jembatan Resistif Wheatstone	25
2.12. Catu daya Sensor	26
2.13. Earth Pressure Cell Sensor	26
2.14. AD620 Instrumentation Amplifier Module.....	28
2.15. ADS1115 16 bit ADC Module	30
BAB III RANCANGAN PENELITIAN	32
3.1. Rancangan Umum.....	32
3.2. Perancangan Perangkat Keras	35
3.2.1. Pembuatan Catu Daya	35
3.2.2. Pembuatan Beban Uji.....	36
3.3. Perancangan Sistem Elektronik.....	37
3.3.2. Catu daya 5V dan -5V	37
3.4. Perancangan Perangkat Lunak	38
3.4.1. Konversi ADC	39
3.4.2. Filter tegangan hasil konversi ADC.....	40
3.4.3. Konversi Tegangan Menjadi Satuan Tekanan.....	41
3.4.4. Pengiriman Data ke <i>Software Data Acquisition</i>	42



BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA.....	43
4.1. Pengujian Perangkat Keras.....	43
4.1.1. Pengujian Sensor <i>Earth Pressure Cell</i>	43
4.1.2. Pengujian Modul ADC ADS1115 16-Bit.....	45
4.1.3. Pengujian Modul AD620.....	47
4.1.4. Pengujian Catu daya +5V dan -5V	48
4.2. Pengujian Sistem Instrumentasi.....	49
4.2.1. Pengujian dengan Beban Statis.....	49
4.2.1.1. Pengujian dengan Menggunakan Beban 1 Kg.....	49
4.2.1.2. Pengujian dengan Menggunakan Beban 2.5 Kg.....	52
4.2.1.3. Pengujian pada Ember Berisi Pasir.	54
4.2.2. Pengujian dengan Beban Dinamis	59
5.1. Kesimpulan.....	64
5.2. Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arduino UNO R3	12
Gambar 2.2 Arduino IDE	12
Gambar 2.3 ATmega328 Pinout	14
Gambar 2.4 Model Instrumen Sederhana	18
Gambar 2.5 Rangkaian Jembatan Resistive Wheatstone	26
Gambar 2.6 Catu daya	26
Gambar 2.7 Earth Pressure Cell Sensor	27
Gambar 2.8 Modul AD620	28
Gambar 2.9 Layout AD620	29
Gambar 2.10 Koneksi Single Mode dan Differential Mode	29
Gambar 2.11 Layout ADS1115	31
Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem	32
Gambar 3.2 Skematik Catu daya	35
Gambar 3.3 Catu Positif dan Negatif	36
Gambar 3.4 Beban uji 1 kg dan 2.5 kg	36
Gambar 3.5 Skematik Sistem	37
Gambar 3.6 Software Flowchart	38
Gambar 4.1 Pengujian nilai resistansi full bridge	45
Gambar 4.2 Pengujian ADS1115	46
Gambar 4.3 Pengukuran Terminal +5V dan Terminal -5V	48



Gambar 4.4 Proses Pengukuran Tegangan dengan Massa Beban 1kg, 4kg dan 6 kg.....	50
Gambar 4.5 Grafik Massa Beban Terhadap Tegangan Keluaran	51
Gambar 4.6 Pengukuran Tegangan dengan Massa Beban 2.5kg, 5kg dan 7.5kg.....	52
Gambar 4.7 Grafik Massa Beban Terhadap Tegangan Keluaran	53
Gambar 4.8 Pengujian pada ember Berisi Pasir.....	55
Gambar 4.9 Grafik Massa Beban Terhadap Tegangan Keluaran	56
Gambar 4. 10 Grafik Massa Beban Terhadap Tegangan Keluaran	57
Gambar 4. 11 Grafik Posisi Letak Sensor Terhadap Tegangan Keluaran untuk Massa Beban yang Berbeda.....	57
Gambar 4. 12 Grafik Massa Beban Terhadap Tegangan Keluaran Untuk Posisi Letak Sensor yang Berbeda.....	58
Gambar 4.13 Grafik Massa Beban TerhadapTegangan Keluaran	60
Gambar 4.14 Grafik Pembacaan Tegangan Menggunakan Beban 1 Kg... 61	
Gambar 4.15 Grafik Tegangan dengan menggunakan moving average...62	
Gambar 4.16 Grafik Tegangan dengan nilai k bervariasi	62
Gambar 4.17 Grafik Tegangan Keluaran pada pengujian menggunakan massa tetap massa 5kg dan 3kg ($k=100$).....	63

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino UNO R3	11
Tabel 2.2 Contoh Variabel fisik dan Variabel Sinyal	19
Tabel 4.1 Hasil pengujian resistansi full bridge.....	44
Tabel 4.2 Pengujian Pembacaan Tegangan menggunakan ADS1115	46
Tabel 4.3 Pengukuran Vin dan Vout menggunakan ADS1115	47
Tabel 4.4 Hasil Pengukuran Tegangan dengan Kenaikan Beban 1 Kg	50
Tabel 4.5 Hasil pengukuran Tegangan setelah dikurangi offset.....	51
Tabel 4.6 Hasil Pengukuran Tegangan dengan Kenaikan Beban 2.5 Kg..	53
Tabel 4.7 Hasil pengukuran Tegangan setelah dikurangi offset.....	53
Tabel 4.8 Hasil pengujian pada kedalaman 10 cm.....	55
Tabel 4.9 Hasil pengujian pada kedalaman 20 cm.....	56
Tabel 4.10 Hasil Pengukuran Tegangan dengan Kenaikan Beban 1 kg (Dinamis).....	59
Tabel 4.11 Hasil pengukuran Tegangan setelah dikurangi offset.....	60





BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Semakin berkurangnya luas dataran untuk kebutuhan pembangunan mendorong manusia untuk melakukan reklamasi. Reklamasi adalah aktivitas penimbunan suatu areal dalam skala relatif luas di daratan maupun di areal perairan untuk keperluan rencana tertentu. Daya topang tanah reklamasi tidak sama seperti tanah dataran yang terbentuk secara alamiah, oleh karena itu diperlukan suatu perlakuan untuk meningkatkan daya topang tanah reklamasi yaitu dengan cara melakukan pemadatan. salah satunya dengan menggunakan metode *Rapid Impact Compaction* (RIC). Secara garis besar prinsip kerja metode RIC adalah dengan memberikan tekanan dengan besaran tertentu pada permukaan tanah yaitu menggunakan palu yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu dengan intensitas tumbukan yang diukur dalam satuan *blows/minute* atau tumbukan/menit. Palu tidak menumbuk permukaan tanah secara langsung melainkan pada sebuah plat besi yang dipasang pada permukaan tanah. Energi yang diakibatkan tumbukan palu bergantung pada ketinggian palu tersebut dijatuhkan.

Untuk keperluan analisis data mengingat RIC yang digunakan adalah model skala laboratorium, maka diperlukan suatu sistem instrumentasi elektronik. Suatu sistem instrumentasi elektronik tersusun atas unit masukan (sensor), unit pemroses sinyal (mikrokontroller), unit keluaran (antarmuka). Sensor elektronik merupakan suatu sensor yaitu alat yang bekerja dengan mengkonversi suatu besaran analog menjadi sinyal listrik yang bersesuaian. Keluaran dari sensor berupa sinyal listrik tidak dapat langsung digunakan sebagai data pengamatan. Sinyal listrik akan



diproses oleh unit pemroses sinyal untuk mengkonversi kembali sinyal listrik menjadi besaran analog yang sesuai untuk kemudian dikirimkan ke unit keluaran yaitu antarmuka sehingga besaran bersifat *human readable*.

Setiap sensor memiliki karakteristik tersendiri sesuai dengan komponen penyusun sensor tersebut. Bentuk dan dimensi sensor mempengaruhi tingkat akurasi dalam pengukuran dalam kasus ini ialah tegangan tanah [1]. Untuk mengukur nilai dari suatu besaran tertentu memerlukan pemilihan sensor yang tepat agar nilai suatu besaran dapat terukur secara akurat. Setiap instrumen pengukuran memerlukan proses kalibrasi. Menurut ISO/IEC Guide 17025:2005 dan Vocabulary of International Metrology (UIM) kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen ukur atau sistem pengukuran, atau nilai yang diwakili oleh bahan ukur, dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran yang diukur dalam kondisi tertentu.

Sistem instrumentasi pada model RIC skala laboratorium untuk mengukur tegangan dalam tanah menggunakan *earth pressure cell*. *Earth Pressure Cell* yaitu sensor yang digunakan untuk mengubah tekanan yang terjadi pada lapisan tanah menjadi sinyal listrik. Untuk mengolah sinyal listrik yang dihasilkan sistem ini menggunakan mikrokontroller sebagai unit pemroses sinyal dan data yang telah diolah dikirim ke PC yang berfungsi sebagai antarmuka.

Dari paparan diatas, penulis berinisiatif membuat suatu sistem instrumentasi dikarenakan RIC skala laboratorium belum dilengkapi dengan sistem instrumentasi elektronik dengan menggunakan sensor *earth pressure cell* dan Arduino UNO



sebagai unit pengendali dan pemroses. Sensor *earth pressure cell* digunakan untuk mengukur tekanan pada tanah. Ketika diberikan tekanan maka sensor akan menghasilkan tegangan, tegangan inilah yang akan diproses oleh mikrokontroler Arduino UNO untuk kemudian dikonversi menjadi satuan tekanan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a. Bagaimana merancang sistem instrumentasi untuk mengukur tekanan lapisan tanah menggunakan sensor *earth pressure cell*.
- b. Bagaimana hubungan tegangan keluaran sensor terhadap tekanan lapisan tanah pada sensor.
- c. Bagaimana kinerja sistem instrumentasi menggunakan *Earth Pressure Cell*

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Merancang sistem instrumentasi elektronik menggunakan sensor *earth pressure cell* untuk mengukur tekanan lapisan tanah.
- b. Mengetahui hubungan tegangan keluaran sensor dengan tekanan pada sensor.
- c. Mengetahui kinerja sistem instrumentasi yang menggunakan *Earth Pressure Cell*

1.4. Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini sistem yang akan dibuat, dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:



- a. Menggunakan Arduino UNO sebagai unit pengendali.
- b. Membuat sistem instrumentasi elektronik menggunakan sensor *Earth pressure cell*.
- c. Menguji coba sistem instrumentasi menggunakan beban uji dengan massa tertentu yang terbuat dari pasir.
- d. Mengukur tegangan keluaran sensor menggunakan sistem instrumentasi yang telah dibuat.
- e. Konversi tegangan menjadi satuan tekanan hanya menggunakan persamaan berdasarkan *datasheet* sensor dan belum tervalidasi.

1.5. Metode Penelitian

Adapun metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara pencarian dan pengumpulan literatur-literatur yang berkaitan dengan masalah-masalah yang ada pada tugas akhir ini, baik berupa artikel, buku referensi, jurnal-jurnal, internet, dan sumber-sumber yang dapat menunjang penelitian.

2. Diskusi dan Konsultasi.

Melakukan asistensi secara langsung kepada dosen pembimbing dan pihak-pihak yang berkompeten pada bidang ini.

3. Perancangan Alat.

Meliputi perancangan *hardware* (perangkat keras) dan perancangan *software* (perangkat lunak) dari sistem ini.

4. Pembuatan Alat



Melakukan pembuatan perangkat keras dan membuat perangkat lunak sehingga siap untuk dilakukan uji coba.

5. Pengujian Alat

Meliputi pengujian terhadap komponen sistem dan sistem secara keseluruhan

6. Analisa Hasil dan Simpulan

Melakukan Analisa terhadap data yang telah diperoleh

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penulisan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, batasan masalah, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II LANDASAN TEORI

Pada bab ini dijelaskan tentang berbagai teori penunjang dan referensi lain yang berkaitan dengan Tugas Akhir ini.

BAB III PERANCANGAN SISTEM

Pada bab ini menjelaskan tentang metode-metode yang digunakan dalam perancangan perangkat keras maupun perangkat lunak yang digunakan dalam Tugas Akhir ini.

BAB IV HASIL DAN ANALISA



Pada bab ini berisi hasil perancangan dan penjelasan baik hardware dan software yang digunakan, dan analisa mengenai data-data yang diambil

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari pembahasan hasil analisa yang dilakukan dan saran perbaikan untuk menyempurnakan tugas akhir ini.

BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Pemadatan dan Kepadatan Tanah

Pemadatan tanah ialah suatu proses yang pada prinsipnya adalah suatu usaha untuk memperkecil jarak antara butiran tanah (solid) dengan jalan mengurangi volume udara yang terdapat pada pori tanah tersebut. Semakin kecil jarak antara butiran tanah maka semakin banyak jumlah butiran yang ada dalam satu satuan volume tanah, hal inilah yang merupakan ukuran kepadatan suatu tanah.

Kepadatan tanah dinyatakan sebagai berat kering maksimum butiran tanah per satuan volume tanah (*dry density*) yang di notasikan dengan γ_{dry} . Tanah dapat dipadatkan apabila mengandung kadar air tertentu. Proses pemadatan tanah kelempungan pada kondisi kering (*dry*) atau sebaliknya pada kondisi jenuh tidak akan menghasilkan kepadatan yang maksimum. Kadar air yang diperlukan untuk mendapatkan kepadatan maksimum disebut kadar air optimum (*water content optimum*).

Pada bidang rekayasa sipil, banyak dijumpai aktivitas penggalian dan pengurungan tanah. Pada umumnya, pekerjaan pengurungan selalu diikuti dengan proses pemadatan sehingga lapisan tanah urug tersebut memiliki sifat-sifat teknik (*engineering properties*) sesuai dengan yang direncanakan . pemadatan adalah proses yang dilakukan untuk merapatkan butiran tanah (solid) yang satu dengan yang lain, sehingga partikel tanah saling berdekatan dan pori tanah menjadi kecil.

[2]



2.2. Pengertian rapid impact compaction (RIC)

Rapid Impact Compaction (RIC) merupakan suatu metode kompaksi dinamis yang umumnya digunakan untuk memadatkan tanah berpasir dimana kandungan tanah liat dan lanau yang rendah. Secara garis besar prinsip kerja metode RIC adalah dengan memberikan tekanan dengan besaran tertentu pada permukaan tanah yaitu menggunakan palu yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu dengan intensitas tumbukan yang diukur dalam satuan *blows/minute* atau tumbukan/menit. Palu tidak menumbuk permukaan tanah secara langsung melainkan pada sebuah plat besi yang dipasang pada permukaan tanah. [3]

2.3. Arduino

Arduino merupakan pengendali mikro yang dipasang pada sebuah *board* tunggal yang bersifat *open-source*. Perangkat Arduino dirancang untuk dapat digunakan dengan mudah dan fleksibel baik dari sisi software dan hardware. Arduino memiliki bahasa pemrograman sendiri yang memiliki kemiripan *syntax* dengan bahasa pemrograman C. karena merupakan open-source, setiap orang dapat membuat board sendiri baik untuk tujuan edukasi maupun komersil [4]. Arduino memiliki beberapa kelebihan antara lain:

1. *Open source*

Hardware maupun software Arduino adalah open source. Artinya kita bisa membuat tiruan atau clone atau board yang kompatibel dengan board Arduino tanpa harus membeli board asli buatan “Arduino” yang berbasis di Itali. Meskipun rancangan board dibuat sama persis dengan



board buatan “Arduino”, tidak akan dikategorikan sebagai pembajakan asalkan tidak menggunakan merek dagang “Arduino”.

2. Tidak memerlukan *chip programmer*

Chip pada Arduino sudah dilengkapi dengan bootloader yang akan menangani proses upload dari komputer. Dengan adanya bootloader ini kita tidak memerlukan chip programmer lagi, kecuali untuk menanamkan bootloader

3. Koneksi USB

Sambungan dari komputer ke board Arduino menggunakan USB, bukan serial atau parallel port. Sehingga akan mudah menghubungkan Arduino ke PC atau laptop yang tidak memiliki serial/parallel port.

4. Fasilitas chip yang cukup lengkap

Arduino menggunakan chip AVR ATmega 168/328 yang memiliki fasilitas PWM, komunikasi serial, ADC, timer, interrupt, SPI dan I2C. Sehingga Arduino bisa digabungkan bersama modul atau alat lain dengan protokol yang berbeda-beda.

5. Ukuran yang kecil dan mudah dibawa.

Ukuran board Arduino cukup kecil, mudah di bawah kemana-mana bersama laptop atau dimasukan ke dalam saku.

6. Bahasa pemrograman relatif mudah.

Walaupun bahasa pemrograman Arduino adalah bahasa C/C++, tetapi dengan penambahan library dan fungsi-fungsi standar membuat



pemrograman Arduino lebih mudah dipelajari dan lebih manusiawi. Contoh, untuk mengirimkan nilai HIGH pada pin 10 pada Arduino, cukup menggunakan fungsi `digitalWrite(10, HIGH);` Sedangkan kalau menggunakan bahasa C aslinya adalah `PORTB |= (1 << 2);`.

7. Tersedia library gratis.

Tersedia library yang sangat banyak untuk menghubungkan Arduino dengan macam-macam sensor, aktuator maupun modul komunikasi. Misalnya library untuk mouse, keyboard, servo, GPS, dsb. Berhubung Arduino adalah open source, maka library-library ini juga open source dan dapat di download gratis di website Arduino.

8. Pengembangan aplikasi lebih mudah.

Dengan bahasa yang lebih mudah dan adanya library dasar yang lengkap, maka mengembangkan aplikasi elektronik relatif lebih mudah. Contoh, kalau kita ingin membuat sensor suhu. Cukup membeli sebuah IC sensor suhu (misalnya LM35) dan menyambungkan ke Arduino. Kalau suhu tersebut ingin ditampilkan pada LCD, tinggal membeli sebuah LCD dan menambahkan library LCD pada program yang sama, dan seterusnya.

9. Komunitas open source yang saling mendukung.

Software Linux, PHP, MySQL atau WordPress perkembangannya begitu pesat karena merupakan software open source dimana ada komunitas yang saling mendukung pengembangan proyek. Demikian juga dengan Arduino, pengembangan hardware dan software Arduino didukung oleh pencinta elektronika dan pemrograman di seluruh dunia. Contoh, interface

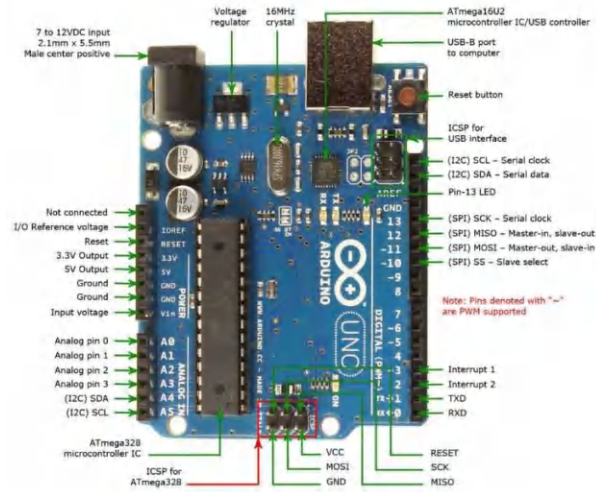
USB pada Arduino Uno mengambil dari LUFA project. Library dan contoh-contoh program adalah sumbangan dari beberapa programmer mikrokontroler, seperti Tom Igoe, dsb [5].

2.3.1. Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P. Arduino Uno memiliki 14 digital pin *input / output* (atau biasa ditulis I/O, dimana 14 pin diantaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM antara lain pin 0 sampai 13), 6 pin input analog, menggunakan crystal 16 MHz antara lain pin A0 sampai A5, koneksi USB, jack listrik, *header* ICSP dan tombol *reset*. Hal tersebut adalah semua yang diperlukan untuk mendukung sebuah rangkaian mikrokontroler. Spesifikasi arduino uno R3 dapat dilihat pada tabel 2.1 dan arduino uno R3 dapat dilihat pada gambar 2.1.

Tabel 2.1 Spesifikasi Arduino UNO R3

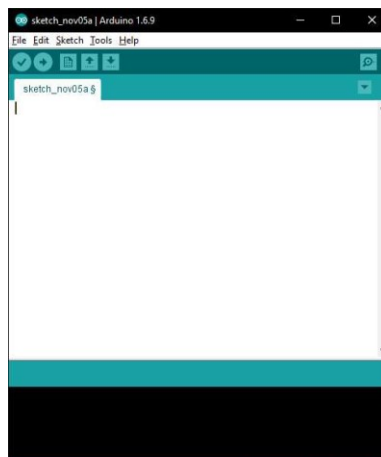
Mikrokontroller	ATmega328
Operasi Tegangan	5 Volt
Input Tegangan	7 - 12 Volt
Pin I/O Digital	14
Pin Analog	6
Arus DC tiap pin I/O	50 mA
Arus DC ketika 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan Clock	16 MHz



Gambar 2.1 Arduino UNO R3

2.4. Arduino IDE

IDE (*Integrated Development Environment*) adalah sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk mengembangkan aplikasi mikrokontroler mulai dari menuliskan *source* program, kompilasi, *upload* hasil kompilasi dan uji coba secara terminal serial. IDE arduino dapat dilihat pada gambar 2.2



Gambar 2.2 Arduino IDE

- a. Icon menu *verify* yang bergambar ceklis berfungsi untuk mengecek program yang ditulis apakah ada yang salah atau error.

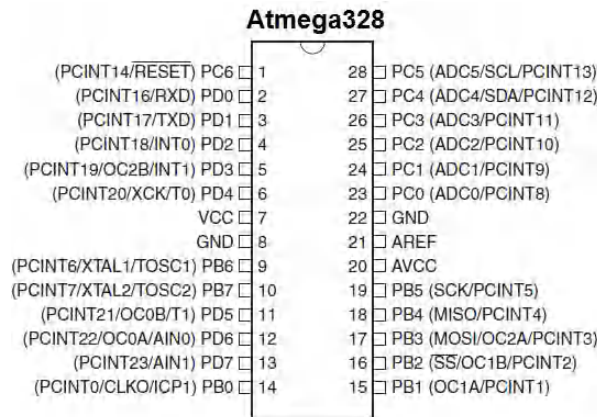


- b. Icon menu **upload** yang bergambar panah ke arah kanan berfungsi untuk memuat / *transfer* program yang dibuat di *software* arduino ke hardware arduino.
- c. Icon menu **New** yang bergambar sehelai kertas berfungsi untuk membuat halaman baru dalam pemrograman.
- d. Icon menu **Open** yang bergambar panah ke arah atas berfungsi untuk membuka program yang disimpan atau membuka program yang sudah dibuat dari pabrikan *software* arduino.
- e. Icon menu **Save** yang bergambar panah ke arah bawah berfungsi untuk menyimpan program yang telah dibuat atau dimodifikasi.
- f. Icon menu **serial monitor** yang bergambar kaca pembesar berfungsi untuk mengirim atau menampilkan serial komunikasi data saat dikirim dari *hardware* arduino.

2.5. ATMega328

ATMega328 merupakan mikrokontroler keluarga AVR 8 bit. Beberapa tipe mikrokontroler yang sama dengan ATMega8 ini antara lain ATMega8535, ATMega16, ATMega32, ATmega328, yang membedakan antara mikrokontroler antara lain adalah, ukuran memori, banyaknya GPIO (pin *input/output*), peripheral (USART, *timer*, *counter*, dll). Dari segi ukuran fisik, ATMega328 memiliki ukuran fisik lebih kecil dibandingkan dengan beberapa mikrokontroler diatas. Namun untuk segi memori dan periperial lainnya ATMega328 tidak kalah dengan yang

lainnya karena ukuran memori dan periperialnya relatif sama dengan ATmega8535, ATmega32, hanya saja berbeda jumlah GPIO.



Gambar 2.3 ATmega328 Pinout

ATmega328 memiliki 3 buah PORT utama yaitu PORTB, PORTC, dan PORTD dengan total pin input/output sebanyak 23 pin. PORT tersebut dapat difungsikan sebagai input/output digital atau difungsikan sebagai periperial lainnya.

a. Port B

Port B merupakan jalur data 8 bit yang dapat difungsikan sebagai input/output. Selain itu PORTB juga dapat memiliki fungsi alternatif seperti di bawah ini

- .ICP1 (PB0), berfungsi sebagai *Timer Counter 1 input capture* pin.
- OC1A (PB1), OC1B (PB2) dan OC2 (PB3) dapat difungsikan sebagai keluaran PWM (*Pulse Width Modulation*).
- MOSI (PB3), MISO (PB4), SCK (PB5), SS (PB2) merupakan jalur komunikasi SPI.



- Selain itu pin ini juga berfungsi sebagai jalur pemrograman serial (ISP).
- TOSC1 (PB6) dan TOSC2 (PB7) dapat difungsikan sebagai sumber *clock* external untuk *timer*.
- XTAL1 (PB6) dan XTAL2 (PB7) merupakan sumber *clock* utama mikrokontroler.

b. Port C

Port C merupakan jalur data 7 bit yang dapat difungsikan sebagai *input/output* digital. Fungsi alternatif PORTC antara lain sebagai berikut.

- ADC6 *channel* (PC0,PC1,PC2,PC3,PC4,PC5) dengan resolusi sebesar 10 bit. ADC dapat kita gunakan untuk mengubah input yang berupa tegangan analog menjadi data digital
- I2C (SDA dan SDL) merupakan salah satu fitur yang terdapat pada PORTC. I2C digunakan untuk komunikasi dengan sensor atau *device* lain yang memiliki komunikasi data tipe I2C seperti sensor kompas, *accelerometer* *nunchuck*.

c. Port D

Port D merupakan jalur data 8 bit yang masing-masing pin-nya juga dapat difungsikan sebagai *input/output*. Sama seperti *Port B* dan *Port C*, *Port D* juga memiliki fungsi alternatif dibawah ini.

- USART (TXD dan RXD) merupakan jalur data komunikasi serial dengan level sinyal TTL. Pin TXD berfungsi untuk mengirimkan



data serial, sedangkan RXD kebalikannya yaitu sebagai pin yang berfungsi untuk menerima data serial.

- *Interrupt* (INT0 dan INT1) merupakan pin dengan fungsi khusus sebagai interupsi *hardware*. Interupsi biasanya digunakan sebagai selaan dari program, misalkan pada saat program berjalan kemudian terjadi interupsi *hardware/software* maka program utama akan berhenti dan akan menjalankan program interupsi.
- XCK dapat difungsikan sebagai sumber *clock external* untuk USART, namun kita juga dapat memanfaatkan *clock* dari CPU, sehingga tidak perlu membutuhkan *external clock*.
- T0 dan T1 berfungsi sebagai masukan *counter external* untuk *timer* 1 dan *timer*
- AIN0 dan AIN1 keduanya merupakan masukan *input* untuk *analog omparator*.

2.6. Fitur ATmega328

ATMega328 adalah mikrokontroler keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur RISC (*Reduce Instruction Set Computer*) yang mana setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur CISC (*Completed Instruction Set Computer*). Mikrokontroler ini memiliki beberapa fitur antara lain:

- a. Memiliki *EEPROM* (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 1KB sebagai tempat penyimpanan data semi permanen karena *EEPROM* tetap dapat menyimpan data meskipun catu daya dimatikan.



- b. Memiliki *SRAM* (*Static Random Access Memory*) sebesar 2KB.
- c. Memiliki pin I/O digital sebanyak 14 pin 6 diantaranya *PWM* (*Pulse Width Modulation*) output.
- d. 32 x 8-bit register serba guna.
- e. Dengan *clock* 16 MHz kecepatan mencapai 16 MIPS.
- f. 32 KB *Flash memory* dan pada arduino memiliki *bootloader* yang menggunakan 2 KB dari flash memori sebagai *bootloader*.
- g. 130 macam instruksi yang hampir semuanya dieksekusi dalam satu siklus *clock*.

2.6. Pengertian Pengukuran

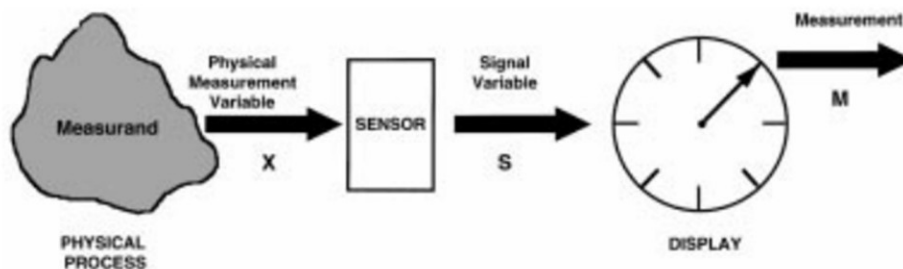
Pengukuran merupakan tindakan, atau sebuah hasil dari suatu perbandingan yang bersifat kuantitatif antara suatu kuantitas dengan kuantitas pembanding yang jenisnya sama dan ditetapkan sebagai satuan. Hasil dari suatu pengukuran dapat ditampilkan dalam bentuk simpangan jarum penunjuk pada sebuah skala atau berupa angka yang merepresentasikan suatu perbandingan atau rasio antara kuantitas yang tidak diketahui dengan satuan pengukuran. Alat atau instrumen yang digunakan untuk melakukan pengukuran disebut instrumen pengukuran.

Terdapat dua metode untuk memperoleh hasil dari suatu pengukuran, yakni dengan metode pengukuran langsung dan tidak langsung. Metode pengukuran langsung yaitu metode pengukuran dimana hasil pengukuran tidak perlu dibandingkan dengan satuan pengukuran. Misal, pada pengukuran arus listrik menggunakan Amperemeter, pengukuran tegangan menggunakan Voltmeter, dan resistansi dengan menggunakan Ohmmeter. Metode pengukuran tidak langsung,

yaitu pengukuran dilakukan terhadap parameter lain yang mempengaruhi parameter yang hendak diukur kemudian dilakukan perhitungan matematis sesuai hubungan dengan parameter yang hendak diukur. Misal, pengukuran suatu resistansi pada konduktor. dengan menggunakan metode tidak langsung maka pengukuran dapat dilakukan dengan cara mengukur jatuh tegangan antara ujung-ujung konduktor dan mengukur nilai arus yang mengalir melalui konduktor. dengan mengetahui nilai tegangan dan arus pada konduktor nilai resistansi konduktor dapat dihitung berdasarkan hukum Ohm dimana $R = \frac{V}{I}$ [6]

2.7. Pengertian Instrumen

Secara harfiah, instrumen merupakan suatu alat yang berfungsi untuk mengubah suatu variable fisik (objek pengukuran) menjadi suatu objek atau data yang dapat di rekam (hasil pengukuran). Hasil dari suatu pengukuran merupakan hasil yang konsisten dan berlaku umum agar dapat digunakan sebagai standar sistem satuan pengukuran sehingga hasil yang diperoleh dari suatu instrumen dapat dibandingkan dengan instrumen yang lain. Misal, penggaris merupakan instrumen pengukuran dimana objek pengukuran adalah panjang suatu benda dan hasil pengukuran berupa angka dalam suatu satuan (meter, inci, dll) yang merepresentasikan panjang suatu objek.



Gambar 2.4 Model Instrumen Sederhana [6]



Gambar 2.4 merupakan gambaran sederhana dari proses instrumentasi, pada bagian sebelah kiri merupakan proses fisika atau objek pengukuran yang memiliki variabel pengukuran fisik yang dapat teramati disimbolkan X. variabel X tidak selamanya yang diukur secara langsung, melainkan dapat juga dengan mencari variabel lain yang telah diketahui, juga mempengaruhi objek pengukuran. Misal, massa suatu benda umumnya diukur sebagai proses pembebanan, dimana objek pengukuran adalah massa, akan tetapi yang menjadi variabel pengukuran fisik adalah gaya ke bawah yang diakibatkan interaksi antara massa benda dan massa bumi sehingga timbul gaya tarik-menarik yang disebut dengan gaya gravitasi. Berikut tabel 2.2 yang menunjukkan beberapa contoh variabel fisik. [7]

Tabel 2.2 Contoh Variabel fisik dan Variabel Sinyal [7]

No	Variabel Fisik	Variabel Sinyal
1	Gaya	Tegangan
2	Panjang	Simpangan
3	Temperatur	Arus
4	Percepatan	Gaya
5	Kecepatan	Tekanan
6	Tekanan	Cahaya
7	Frekuensi	Frekuensi
8	Kapasitas	
9	Resistansi	
10	Waktu	

2.8. Pengertian Sensor

Secara harfiah sensor didefinisikan sebagai alat yang menerima dan merespon suatu masukan atau rangsangan fisik. Secara khusus sensor didefinisikan suatu alat yang menerima suatu rangsangan fisik dan mengeluarkan respon dalam



bentuk sinyal listrik . rangsangan fisik merujuk pada masukan yang akan dikonversi menjadi listrik.

Sensor berfungsi untuk merespon terhadap masukan yang berupa variabel fisik dan mengubahnya menjadi sinyal listrik sehingga dapat diolah oleh rangkaian elektronika, dengan kata lain sensor adalah penerjemah sinyal analog menjadi sinyal listrik yang memiliki nilai yang dapat diukur. Sinyal keluaran suatu sensor dapat berupa tegangan, arus, atau muatan, karakteristik ini merupakan format sinyal keluaran. Contoh lain dari sinyal keluaran dapat dilihat pada tabel 2.2 pada bagian variabel sinyal. Setiap sensor memiliki karakteristik masukan dan karakteristik keluaran masing-masing bergantung pada spesifikasi sensor.

Sensor berbeda dengan *transducer*. *Transducer* adalah alat yang berfungsi untuk mengkonversi bentuk energi menjadi energi yang lain. Berbeda dengan sensor yang hanya khusus mengubah suatu energi menjadi energi listrik atau sinyal listrik. Misal, *loudspeaker* yang berfungsi mengubah energi listrik menjadi medan magnet yang berubah-ubah sehingga menghasilkan gelombang akustik dimana hal tersebut tidak berkaitan dengan definisi sensor yang telah diuraikan sebelumnya. *Transducer* digunakan sebagai aktuator yaitu alat yang berfungsi mengubah sinyal listrik menjadi sinyal non listrik pada beberapa sistem elektronika. *Transducer* dapat menjadi komponen suatu sensor kompleks . Sensor kompleks adalah sensor yang memiliki setidaknya satu *transducer* karena variabel fisik yang akan diamati tidak dapat dikonversi menjadi sinyal listrik secara langsung. Misal, sensor untuk mengamati reaksi kimia. Sensor ini memiliki transducer untuk mengkonversi reaksi kimia menjadi panas, kemudian panas ini yang akan diubah menjadi sinyal listrik.



Berdasarkan cara pemrosesan masukan sensor dapat di klasifikasikan menjadi dua yaitu *direct sensor* dan sensor kompleks. *Direct sensor* mengubah masukan menjadi sinyal listrik secara langsung tanpa harus dikonversi menjadi bentuk lainnya terlebih dahulu., sedangkan sensor kompleks mebutuhkan paling sedikit satu transducer sebelum diteruskan ke bagian *direct sensor* untuk menghasilkan keluaran listrik.

Sensor tekanan merupakan sensor kompleks. Prinsip kerja sensor tekanan umumnya berdasarkan hasil konversi tekanan yang dikenakan pada sebuah elemen yang sensitif dengan luas area tertentu. Ketika gaya dikenakan pada elemen tersebut, maka elemen akan berubah posisi atau berubah bentuk. Perubahan bentuk elemen ini mengakibatkan perubahan resistansi pada elemen yang digunakan. Perubahan resistansi sebanding dengan tekanan atau gaya yang diberikan terhadap elemen. Fenomena inilah yang digunakan sebagai konversi menjadi besaran listrik dalam hal ini menggunakan prinsip jembatan *wheatstone*. [8]

2.9. Strain Gauge

Strain Gauge merupakan *resistive elastic sensor* yaitu sensor yang resistansinya berubah dipengaruhi oleh gaya yang bekerja pada *strain gauge* yang disebut efek *piezoresistive* . Tekanan adalah perubahan bentuk fisik benda yang terjadi akibat benda dikenakan suatu gaya.

Strain Gauge adalah komponen elektronika yang dipakai untuk mengukur tekanan (deformasi atau strain). Alat ini berbentuk foil logam atau kawat logam yang bersifat insulatif (isolasi) yang ditempel pada benda yang akan diukur



tekanannya, dan tekanan berasal dari pembebanan. Prinsipnya adalah jika tekanan pada benda berubah, maka foil atau kawat akan terdeformasi, dan tahanan listrik alat ini akan berubah. Perubahan tahanan listrik ini akan dimasukkan kedalam rangkaian jembatan *Wheatstone* yang kemudian akan diketahui berapa besar tahanan pada *Strain Gauge*.

Sensor strain gauge pada umumnya adalah tipe metal-foil, dimana konfigurasi grid dibentuk oleh proses *photoetching*. Karena prosesnya sederhana, maka dapat dibuat bermacam macam ukuran gauge dan bentuk grid. Untuk macam *gauge* yang terpendek yang tersedia adalah 0,20 mm; yang terpanjang adalah 102 mm. Tahanan *gauge* standard adalah 120 mm dan 350 ohm, selain itu ada *gauge* untuk tujuan khusus tersedia dengan tahanan 500, 1000, dan 1000 ohm.

Sg adalah factor gauge atau konstanta kalibrasi untuk gauge. Factor Sg selalu lebih kecil dari sensitivitas *alloy metallic Sa* karena konfigurasi grid dari *gauge* dengan konduktor *transverse* lebih kecil responsifnya ke strain axial dari pada konduktor lurus *uniform*.

Pengukuran ketegangan menggunakan *strain gauge* dilakukan dengan menempatkan strain gauge pada rangkaian jembatan. Dalam prakteknya, orde pengukuran strain tidak lebih dari milistrain ($\epsilon \times 10^{-3}$), oleh karena itu pengukuran ketegangan memerlukan pengukuran yang sangat akurat dari perubahan yang sangat kecil dari resistansinya. Nilai perubahan tahanan pada strain gauge yang mengalami perubahan tekanan tidak signifikan, sehingga untuk dapat memberikan perubahan nilai elektrik maka perubahan tahanan pada strain gauge ini dimasukan ke dalam rangkaian jembatan *wheatstone*. [9]

2.9.1. Jenis-jenis *Strain Gauge*

Strain gauge terbuat dari kawat tahanan tipis berdiameter sekitar 1 mm. Kawat tahanan yang biasa digunakan adalah campuran dari bahan konstan (60 % Cu dan 40 % Ni). Kawat tahanan ini dilekatkan pada papan penyangga membentuk strain gauge dengan jenis sebagai berikut:

- Bonded strain gauge

Susunan kawat tahanan di dalamnya berliku-liku sehingga memudahkan pendeteksian terhadap gaya tekanan yang tegak lurus dengan arah panjang lipatan kawat, karena tekanan akan menarik kabel sehingga meregang. Dengan meregangnya strain gauge, maka terjadi perubahan resistansi kawat

- Unbonded strain gauge

Jenis strain gauge yang dibentuk dengan kawat tahanan yang terpasang lurus dan simetris. Jika papan atau rangka mendapat tekanan dari luar, maka resistansinya akan bertambah . [9]

2.9.2. Prinsip Kerja *Strain Gauge*

Sensor strain gauge adalah grid metal-foil yang tipis yang dilekatkan pada permukaan dari struktur. Apabila komponen atau struktur dibebani, terjadi strain dan ditransmisikan ke foil grid. Tahanan foil grid berubah sebanding dengan strain induksi beban. Sensor strain gauge pada umumnya adalah tipe metal-foil, dimana konfigurasi grid dibentuk oleh proses photoetching. Karena prosesnya sederhana, maka dapat dibuat bermacam macam ukuran gauge dan bentuk grid. Untuk macam gauge yang terpendek yang tersedia adalah 0,20 mm; yang terpanjang adalah 102



mm. Tahanan gauge standard adalah 120 mm dan 350 ohm, selain itu ada gauge untuk tujuan khusus tersedia dengan tahanan 500, 1000, dan 1000 ohm.

Gaya yang diberikan pada suatu benda logam (material ferrit / konduktif), selain menimbulkan deformasi bentuk fisik juga menimbulkan perubahan sifat resistansi elektrik benda tersebut.

Dengan menempelkan jenis material tersebut pada suatu benda uji (specimen) menggunakan suatu perekat yang isolatif terhadap arus listrik, maka material tadi akan menghasilkan adanya perubahan resistansi yang nilainya sebanding terhadap deformasi bentuknya.

Apabila ada gaya akan mengubah nilai resistansinya, perubahan resistansinya sesuai dengan gaya yang diberikan. Prinsip dasar dari penggunaan hambatan listrik strain gauge merupakan fakta bahwa hambatan dari perubahan kawat sebagai fungsi tegangan, meningkat dengan tekanan dan menurun dengan adanya pemampatan. Perubahan dalam hambatannya diukur dengan menggunakan rangkaian jembatan Wheatstone. [9]

2.10. Satuan Tekanan

Satuan internasional untuk tekanan adalah pascal: $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. Satu pascal didefinisikan sebagai gaya sebesar 1 N dikenakan pada permukaan seluas 1 m^2 . Satuan lain yang digunakan adalah *atm (atmosfer)*. Satu atmosfer didefinisikan sebagai tekanan sebesar 1 cm^2 yang diakibatkan oleh air dengan ketinggian 1 m pada suhu $+4^\circ \text{C}$ pada percepatan gravitasi normal. Berikut hubungan beberapa unit satuan tekanan :

$$1 \text{ Pa} = 1.45 \times 10^{-4} \text{ lb/in}^2 = 9.896 \times 10^{-6} \text{ atm} = 7.5 \times 10^{-4} \text{ cmHg.}$$



Satuan lain yang digunakan adalah Torr, dengan hubungan sebagai berikut

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ Torr} = 101,325 \text{ Pa.}$$

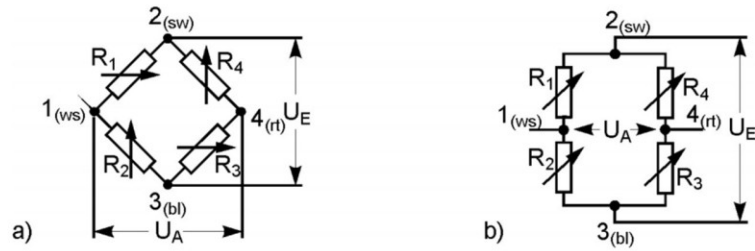
Selain itu dikenal satuan *pound per square inch* (lbs/sq) atau Psi, dengan hubungan sebagai berikut :

$$1 \text{ Psi} = 6.89 \times 10^3 \text{ Pa} = 0.0703 \text{ atm} [8]$$

2.11. Jembatan Resistif Wheatstone

Pada tahun 1843, Sir Charles Wheatstone (1802-1875) menemukan rangkaian jembatan untuk mengukur hambatan listrik yang dikenal sebagai jembatan Wheatstone. Prinsip kerja jembatan wheatstone adalah perbandingan antara resistansi yang tidak diketahui dengan resistansi yang nilainya diketahui. Jembatan wheatstone sangat tepat digunakan untuk mengukur perubahan resistansi pada *strain gauge*. Seperti yang diketahui perubahan strain gage berbanding lurus dengan perubahan resistansi.

Rangkaian jembatan wheatstone dibentuk menggunakan resistor-resistor R1 sampai R4 seperti terlihat pada gambar 2.5. setiap node diberikan kode angka atau warna sesuai standar HBM untuk koneksi dengan *transducer* atau instrumen lainnya. Node 2 dan 3 di hubungkan dengan suatu tegangan (U_E) yang disebut tegangan masukan jembatan atau tegangan eksitasi, maka tegangan pada U_A (tegangan keluaran jembatan) diantara node 1 dan 4. Nilai dari tegangan keluaran bergantung pada ratio resistor R1 : R2 dan R4 : R3. [10]



Gambar 2.5 Rangkaian Jembatan Resistive Wheatstone [10]

2.12. Catu daya Sensor

Catu daya yang digunakan sebagai tegangan masukan eksitasi sensor untuk pengujian sistem adalah *adjustable power supply* DRP-305DN yang diproduksi oleh *Digital Electronics* dengan spesifikasi 0-30V DC/ 0 ~ 5A. Catu daya diatur sesuai dengan kebutuhan tegangan masukan eksitasi sensor.



Gambar 2.6 Catu daya

2.13. Earth Pressure Cell Sensor

Earth Pressure Cell sensor adalah sensor yang digunakan dalam sistem ini. Prinsip kerja sensor ini menggunakan strain gauge. Strain gauge di konfigurasi menjadi rangkaian jembatan penuh wheatstone yang di pasang pada sensing plate. Seperti pada umumnya, karena menggunakan strain gauge maka sensor ini bekerja

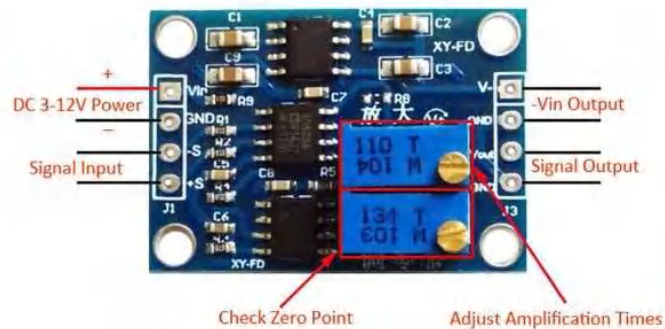
ketika ada tekanan pada sisi *sensing plate* maka strain gauge akan mengalami deformasi. Deformasi pada strain gauge mengakibatkan perubahan nilai resistansi, sehingga rangkaian jembatan wheatstone dari strain gauge menjadi tidak seimbang maka timbul tegangan di kedua node yang menjadi keluaran dari sensor ketika sensor diberikan tegangan masukan eksitasi. Besar dari tegangan keluaran bergantung pada besar tegangan masukan eksitasi yang diberikan. Sensor ini menggunakan strain gauge dengan resistansi sebesar $350\ \Omega$, sehingga pada saat pengukuran resistansi pada input eksitasi sensor atau keluaran sensor yaitu S+ dan S- maka resistansi yang terukur sebesar $350\ \Omega$ yang disebut sebagai resistansi *full-bridge*. Sensor yang digunakan memiliki diameter 48mm dengan ketebalan 10mm. *Range* efektif pengukuran sensor ini 0 - 400 KPa dengan resolusi sebesar $\leq 0.5\%$ *full scale output*. Berdasarkan data hasil kalibrasi pabrik pada tegangan masukan eksitasi 2V DC, sensitifitas sensor dinyatakan dalam satuan $\mu\epsilon$ (*microstrain*) yakni sebesar $3.3\ \mu\epsilon/\text{KPa}$ dengan rating keluaran sensor sekitar 0.659mV/V . Pada pengujian sistem ini digunakan tegangan masukan eksitasi sensor sebesar 9V DC.



Gambar 2.7 Earth Pressure Cell Sensor

2.14. AD620 Instrumentation Amplifier Module

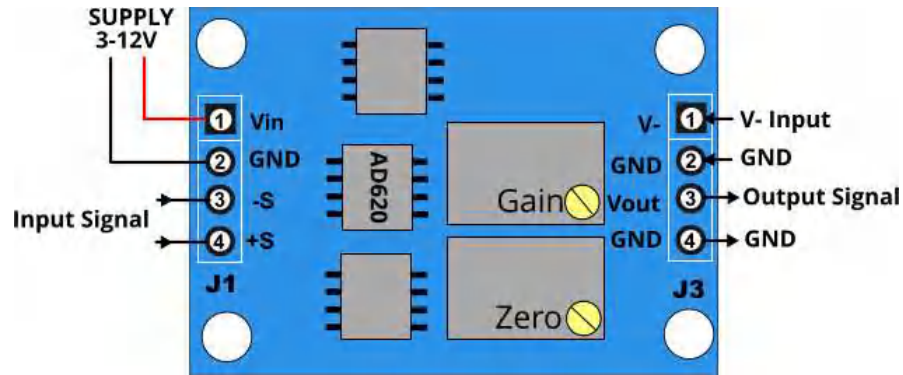
AD620 Instrumentation Amplifier Module digunakan sebagai penguat instrumentasi untuk earth pressure cell sensor. Pemilihan modul ini karena penguat ini dapat digunakan untuk sinyal kecil (μV) baik AC ataupun DC, seperti yang telah dijelaskan bahwa kelauran earth pressure cell sensor ialah dalam orde μV hingga mV sehingga dibutuhkan penguat untuk pengukuran tegangan keluaran sensor. Spesifikasi singkat modul ini adalah sebagai berikut



Gambar 2.8 Modul AD620

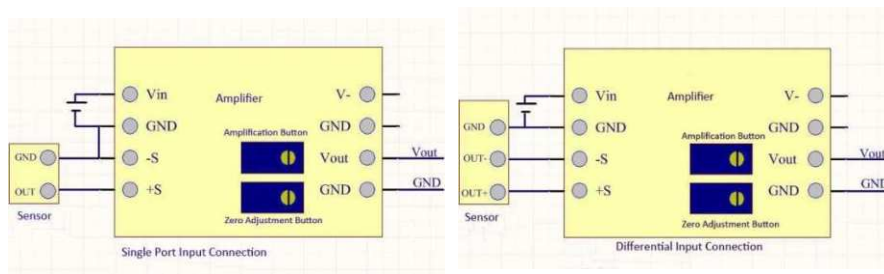
1. Supply Range: 3-12VDC
2. Magnification: 1.5-1000 times
3. Signal Input Voltage: 100 μV - 300mV DC/AC
4. Signal Output Range: $\pm (\text{Vin}-2\text{V})$
5. Offset Voltage: 50 μV
6. Input Bias Current: 1.0nA (max)
7. Common Mode Rejection Ratio: 100 dB
8. Offset Voltage Drift: 0.6 μV / $^{\circ}\text{C}$ (maximum)
9. Stability: 2 μV / month maximum

Layout dari modul ini dapat dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Layout AD620

Modul penguat ini ialah memiliki dua potensiometer masing-masing berfungsi untuk mengatur gain penguatan dan mengatur offset tegangan keluaran. Modul penguat ini dapat dioperasikan dengan dua macam mode operasi yaitu *single mode* dan *differential mode*. *Single mode* merupakan mode operasi penguatan tegangan satu polaritas. *Differential mode* adalah mode penguatan dua polaritas yang umumnya digunakan untuk sensor bertipe *bridge sensor* atau sensor lain yang memiliki keluaran beda atau *differential output*. pada sistem ini digunakan *Differential mode* karena earth pressure cell sensor termasuk kedalam tipe *bridge sensor*. Gambar 2.10 merupakan layout sambungan untuk penggunaan *single mode* dan *differential mode* pada modul penguat instrumentasi AD620.



Gambar 2.10 Koneksi Single Mode dan Differential Mode



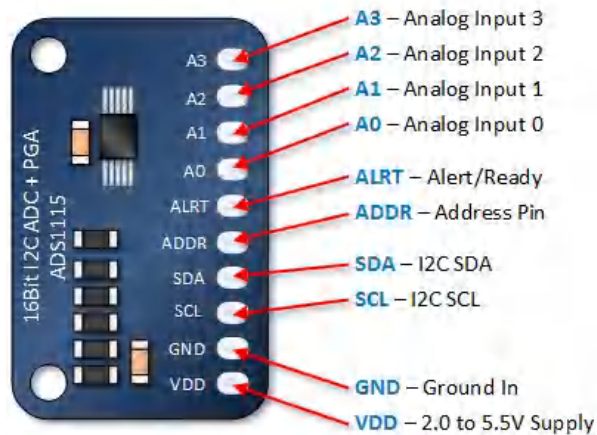
2.15. ADS1115 16 bit ADC Module

ADS1115 digunakan sebagai ADC (*analog to digital converter*) dalam rancangan sistem yang akan dibuat. ADC digunakan untuk mengkonversi sinyal analog menjadi sinyal digital yang akan di proses oleh mikrokontroler. Pemilihan ADS1115 dibandingkan ADC bawaan Arduino karena tingkat presisi lebih tinggi karena memiliki kemampuan PGA (*programmable gain amplifier*) untuk memproses *small signal*. ADS1115 memiliki *sampling rate* mencapai 860 sampel/detik sehingga tepat digunakan untuk sistem instrumentasi *realtime* yang membutuhkan kecepatan sampling yang tinggi. ADS1115 memiliki 4 channel masukan sinyal analog yang dapat digunakan secara bersamaan. Secara singkat ADS1115 memiliki fitur sebagai berikut

1. Resolution: 16 Bits
2. Programmable Sample Rate: 8 to 860 Samples/Second
3. Power Supply/Logic Levels: 2.0V to 5.5V
4. Low Current Consumption: Continuous Mode: Only 150 μ A Single-Shot Mode: Auto Shut-Down
5. Internal Low-Drift Voltage Reference
6. Internal Oscillator
7. Internal PGA: up to x16
8. I2C Interface: 4-Pin-Selectable Addresses
9. Four Single-Ended or 2 Differential Inputs
10. Programmable Comparator

ADS1115 dapat dioperasikan dengan dua mode masukan, yaitu single mode dan differential mode yang diatur melalui program pada mikrokontroler.. Untuk pengoperasian single mode dapat mengkonversi secara langsung 4 masukan sinyal analog. Pengoperasian *differential mode* dapat mengkonversi langsung 2 masukan sinyal analog bertipe *differential* yaitu dengan menggunakan pasangan analog input A0 dan A1 atau A2 dan A3. ADS1115 mendukung penggunaan secara bersamaan hingga 4 modul sekaligus dalam satu mikrokontroler

. Terdapat pin ADDR yang berfungsi mengatur pengalamatan tiap modul yang dipasang pada satu mikrokontroler. Pengaturan pengalamatan bergantung pada koneksi pin ADDR. Pin ADDR dikoneksikan pada pin VDD, GND, SCL, atau SCA yang masing-masing memiliki pengalamatan yang berbeda-beda.



Gambar 2.11 Layout ADS1115