SISTEM AKUISISI DATA SENSOR ECVT (*ELECTRICAL CAPACITANCE VOLUME TOMOGRAPHY*) MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560 BERBASIS MATLAB

Skripsi

Oleh

Arrosyiqu Bik

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016

ABSTRACT

DATA ACQUISITIONSYSTEM OF (ELECTRICAL CAPACITANCE VOLUME TOMOGRAPHY) ECVT SENSOR USING ARDUINO MEGA 2560 BASED ON MATLAB

BY

ARROSYIQU BIK

Data Acquisition System is an electric signal measurement from transducer and measuring device for further processingunit at personal computer. The devices would be connected one by the other for showing the result of measuring on computer. The purpose of this system is to display the result of electric sensing using capacitance's value from the pairs of electrode. This system consists of Multiplexer circuit, signal conditioning, PGA (Programmable Gain Amplifier), ADC value and serial communication using Arduino mega 2560.

This research begins by studying some of literature of data acquisition system for using in ECVT. Then, based on literature has been studied that made a design of circuit and program/software would be implemented for realization this data acquisition system. After the entire device system consisting of Mux, ADC and serial communication are completed, and then the tasting performance of circuit is tested. The tested is around switching relay, Ic Multiplexer, Driver Mux, power amplifier in signal conditioning, Gain amplifier, ADC resolution in converting data to digital value with Arduino mega and the last is serial communication todata deliveryon PC. The result of this research is a data acquisition device can choose the pairs of output will generate N(N-1)/2, which N is the many of electrode in this system is 12. The resolution of analog to digital converter that used in this system is 10 bit it's mean the accuracy of ADC up to 30 nF for each 1 bit. Be equipped with serial communication for sending data to PC.

Keywords :Data acquisition, Mux, ADC, Arduino mega 2560, serial communication, ECVT

ABSTRAK

SISTEM AKUISISI DATA SENSOR ECVT*(ELECTRICAL CAPACITANCE VOLUME TOMOGRAPHY)* MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA2560 BERBASIS MATLAB

Oleh

ARROSYIQU BIK

Sistem Akuisisi Data adalah suatupengukuran sinyal elektrik dari Tranduser dan peralatan pengukuran untuk diproses lebih lanjut didalam komputer. Semua perangkat tersebut dihubungkan satu sama lain untuk dapat menampilkan hasil pengukuran ke dalam komputer.Tujuan dari sistem ini untuk menampilkan hasil sensing elektronik yang memanfaatkan nilai kapasitansi yang terlingkupi oleh pasangan-pasangan elektroda. Sistem ini terdiri dari rangkaian *Multiplexer*, pengkondisi sinyal,PGA (*Programmable Gain Amplifer*), nilai ADC dan komunikasi serial menggunakan Arduino Mega 2560.

Penelitian ini dimulai dengan mempelajari berbagai literatur yang berhubungan dengan sistem akuisisi data. Selanjutnya, berdasarkan literatur yangtelah dipelajari, maka dibuat sebuah rancangan rangkaian danprogram/*software* pendukung dalam merealisasikan sistem akuisisi data sensor ECVT ini. Setelah seluruh perangkat sistem yang terdiri dari Mux, ADC, dan komunikasi serial selesai dirancang, dilakukan pengujian terhadap kinerja rangkaian. Dimana pengujian yang dilakukan adalah pengujian *switchingrelay,* Ic *Multiplexer*, *Driver Mux*, penguat sinyal pada pengkondisi sinyal, penguatan gain, resolusi ADC dalam mengkonversi ke nilai digitaldengan arduino mega dan yang terakhir adalah komunikasi serial dalam penyampaian data ke dalam PC.Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah perangkat akuisisi data yang dapat memilih pasangan keluaran sehingga menghasilkan N(N-1)/2, dimana N merupakan banyaknya elektroda yang dalam alat ini maksimal jumlah elektroda adalah 12. Pengkonversi analog ke digital yang memiliki resolusi 10bit yang berarti memliki ketepatan mencapai 30nF untuk tiap kenaikan 1 bit. Dilengkapi dengan komunikasi serial untuk menyampaikan data langsung ke dalam PC.

Kata kunci :Akuisisi data, Mux, ADC, Arduino mega2560, komunikasi serial, ECVT

SISTEM AKUISISI DATA SENSOR ECVT (*ELECTRICAL CAPACITANCE VOLUME TOMOGRAPHY*) MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560 BERBASIS MATLAB

Oleh

Arrosyiqu Bik

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK

Pada

Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016

Judul Skripsi : **SISTEM AKUISISI DATA SENSOR ECVT (*ELECTRICAL CAPACITANCE VOLUME TOMOGRAPHY*) MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560 BERBASIS MATLAB**

Nama Mahasiswa : Arrosyiqu Bik

Nomor Pokok Mahasiswa : 1115031018

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

M. Komarudin, S.T., M.T.
NIP 19681207 199703 1 006

Syaiful Alam, S.T., M.T.
NIP 19690416 199803 1 004

2. Ketua Jurusan Teknik Elektro

Dr. Ing. Ardian Ulvan, M.Sc.
NIP 19731128 199903 1 005

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **M. Komarudin, S.T., M.T.** .....

Sekretaris : **Syaiful Alam, S.T., M.T.** .....

Penguji : **Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.** .....

2. Dekan Fakultas Teknik

Prof. Dr. Suharno, M.Sc.
NIP 19620717 198703 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **14 Maret 2016**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan oleh orang lain dan sejauh pengetahuan saya tidak terdapat karya ataupun pendapat yang dittulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah sebagaimana yang telah disebutkan di dalam daftar pustaka. Dan selain itu saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sangsi sesuai dengan hukuman yang berlaku.

Bandar lampung, 6 April 2016

METERAI TEMPEL

6000

Arrosyiqu Bik
1115031018

RIWAYAT HIDUP

Nama lengkap penulis, yaitu Arrosyiqu Bik lahir di Kota Metro, provinsi Lampung, pada tanggal 07 Desember 1990. Penulis adalah anak ke tiga dari empat bersaudara dari pasangan Almarhum Bapak Zainal Arifin dan Ibu Endang Rena Purbandari. Penulis berkebangsaan Indonesia dan beragama Islam. Penulis telah menyelesaikanpendidikan sekolah dasar di SDN Sardonoharjo, Sleman, Yogyakarta pada tahun 2003, kemudian melanjutkan sekolah di Madrasah Tsanawiyah (MTs) Sunan Pandanaran Sleman, Yogyakarta, lulus pada tahun 2006, dan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) di SMK Muhamadiyah 3 Metro dan lulus pada tahun 2010.

Pada tahun 2011 penulis masuk sebagaimahasiswa di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampungmelalui jalur PMPAP. Selama menjadi mahasiswa di Fakultas Teknik penulis pernah menjadi Asisten Laboratorium Teknik Digital Jurusan Teknik Elektro. Selain itu penulis pernah aktif menjadi salah satu anggota tim ROBOT URO (Unila Robotika dan Otomasi) dan pernah mengikuti Organisasi Kemahasiswaan di Jurusan Teknik Elektro menjadi anggota Divisi Mikat dan Bakat Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro (HIMATRO) pada tahun 2011 sampai tahun 2013. Bidang Konsentrasi yang dipilih penulis adalah Sistem Isyarat Elektronika (SIE) pada semester 5 dalam perkuliahan dan

penelitian Tugas Akhir (TA). Penulis telah melakukan Praktek Kerja Lapangan (PKL) di P.T Ctech Lab Edwar Teknologi, Tangerang pada tanggal 1 September 2014 dan memilih judul "Analisis dan Simulasi Osilator Multivibrator dan penguat Mosfet *Complementer* pada alat ECCT (*Electro Capacitive Cancer Therapy*)". Dan Penulis telah melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) pada tanggal 21 Januari 2015di Desa Suma Mukti, Kabupaten Way Kanan.

Motto

Barang siapa bersungguh-sungguh, maka ia akan mendapatkan apa yang didapatkan.

"Barangsiapa menempuh jalan untuk mencari ilmu di dalamnya, maka Allah mudahkan baginya jalan menuju surga."

(HR. Muslim)

DENGAN TULUS KUPERSEMBAHKAN SEBUAH KARYA INI

SEBAGAI RASA CINTA DAN RASA

TERIMAKASIHKU

UNTUK :

Kedua orang tuaku yang tercinta Almarhum Zainal Arifin dan Endang Rena Purbandari yang telah mendukung

serta mendoakanku hingga bisa sampai seperti sekarang ini, dan juga

Untuk kakakku tercinta Mutanalul Khoironi yang telah memberikan semangat kepadaku

TERIMAKASIH UNTUK SEMUANYA YANG TELAH ENGKAU BERIKAN KEPADAKU

SANWACANA

Alhamdulillahirobbil'alamin segala puji hanya bagi Allah SWT Tuhan semesta alam yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kapada penulis untuk dapat bersemangat dan berkrerasi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi/ Tugas akhir dengan judul "Sistem Akuisisi Data Sensor ECVT (*Electrical Capacitance Volume Tomography*) menggunakan Arduino mega2560 berbasis Matlab".

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari banyak pihak. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hasriadi Mat Akin. selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Suharno, M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Bapak Dr. Ardian Ulvan, S.T.,M.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Bapak Dr. Herman Halomoan S, S.T., M.T selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

5. Bapak M. Komarudin, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Utama atas semua bimbingan, saran, motifasi, kritik dan ilmu yang berguna dalam proses penyelesaian skripsi ini.
6. Bapak Syaiful Alam, S.T., M.T. selaku dosen Pembimbing Pendamping atas kesediaanya untuk memberikan bimbingan, saran, motivasi, kritik dan ilmu yang berguna dalam proses penyelesaian skripsi ini.
7. Ibu Dr. Ir. Sri Ratna S., M.T. selaku dosen Penguji atas semua motivasi, kritik, saran yang mambangun, dan bimbingannya dalam proses penyelesaian skripsi ini.
8. Seluruh dosen Teknik Elektro Universitas Lampung khususnya bapak Alm. Yuliarto Raharjo, S.T., M.T yang telah memberikan masukan, bimbingan, saran dan ilmu yang sangat berarti bagi penulis.
9. Mbak Ning, mas Daryono dan seluruh karyawan admin atas semua bantuannya dalam menyelesaikan urusan administrasi di Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
10. Keluargaku : Alm. AyahkuZainal Arifin dan Ibuku Endang Rena Purbandari, adikku Musabiqulillah dan kakakku Mutanalul khoironi, yang selalu senantiasa memberikan doa, dukungan serta kasih sayang yang begitu besar yang tidak bisa dinilai dengan apapun.
11. Sahabat-sahabatku di Laboratorium Teknik Digital: Moh. Cahyonyo, Aris untung, Supriyadi, M. Yusuf T, Choirudin Dwi Jaya, Nicolas Gata Janu Prayoga, Ida Bagus Made DK., adik-adikku tercinta di Laboratorium Teknik Digital Vernando Faizal R., Didi Ardiansyah, Windu Nur Hardiranto, Chandar Lima, Rizki Alandani, Nanang Kurniawan, Valentin Jauhari, Venus

Asadilla, Menachem Cristian Gurning, Maruf Fajar Santoso, Nasrul Fatkhurohman, M. Yasin, dan adik-adikku 2014 - 2015 terimakasih atas semua bantuan dan dukungan serta masa-masa sulit yang pernah kita lewati bersama.

12. Teman-teman di laboratorium terpadu Teknik Elektro Khususnya Restu Prayudhi, Oka Kurniawan S., Najib Amaro, Frisky Volino Andreas, Minhajul Abidin Jaya, M. Havif, Dirya Andrian atas semangat kerjasama dan dukungannya.
13. Teman-teman seperjuangan Teknik Elektro angkatan 2011 yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang memberikan dukungan sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
14. Semua pihak yang telah membantu serta mendukung penulis dari awal kuliah hingga selesainya skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis senantiasa mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak.Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua.

Bandar lampung, 14 Maret 2016

Penulis

ARROSYIQU BIK

DAFTAR ISI

Halaman

DAFTAR ISI i

DAFTAR GAMBAR..... iii

DAFTAR TABEL vi

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah..... 1

1.2. Tujuan Penelitian..... 3

1.3. Manfaat Penelitian..... 3

1.4. Rumusan Masalah 4

1.5. Batasan Masalah..... 4

1.6. Hipotesis..... 5

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tomografi..... 6

2.2. *Review* Tomografi..... 9

2.3. Sensor ECVT..... 11

2.4. Prinsip ECVT..... 12

2.5. Kapasitor Keping Sejajar..... 13

2.5.1. Listrik Kapasitor..... 13

2.5.2. Kapasitansi..... 15
2.5.3. Dielektrik..... 16
2.6. Kapasitan dalam ECVT..... 20
2.7. Sistem Akuisisi Data..... 21
2.8. *Multiplexer*..... 24
2.9. Pengkondisi Sinyal..... 26
2.9.1. Rangkaian Pengukur Kapasitansi Berbasis*Charge/discharge*..... 26
2.9.2. Rangkaian Pengukur Kapasitansi Berbasis AC (AC *Based*)..... 27
2.10. *Programmable Gain Amplifier* (PGA)..... 29
2.10.1.Definisi OP Amp..... 29
2.10.2.*Programmable Gain Amplifier*..... 31
2.11. ADC (*Analog to Digital Converter*)..... 37
2.11.1. Proses pengolahan sinyal ADC..... 39
2.11.2. *Signal-to-Noise Ratio* (SNR)..... 42
2.12. *Arduino Mega 2560*..... 45
2.13. *Pemrograman*..... 49
2.13.1. *Software* Arduino..... 49
2.13.2. *Software* Matlab..... 54
2.14. Komunikasi..... 59
2.15. Komputer (*Central Prosessing Unit*)..... 60
2.16. Serial Monitor..... 61
2.17. LCD..... 62

III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian 64
3.2. Alat dan Bahan 64

3.3. Spesifikasi Alat..... 65
3.4. Metode Penelitian..... 65
3.4.1. Studi Literatur 65
3.4.2. Implementasi rangkaian sistem..... 66
3.4.3. Pengujian Alat dan Sistem..... 66
3.4.4. Analisis dan Kesimpulan 68
3.4.5. Pembuatan Laporan..... 68
3.5. Perancangan Sistem Akuisisi Data..... 69
3.5.1. Akuisisi Data dengan Arduino Mega2560..... 69
3.5.2. Pemrograman menggunakan Matlab..... 71
3.5.3. Cara Kerja Sistem Komunikasi Data / Akuisisi Data..... 72

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Mikrokontroler..... 77
4.2. Rangkaian *Power Supply*..... 79
4.3. Sensor ECVT..... 81
4.4. Rangkaian Multiplekser..... 83
4.5. Rangkaian Pengkondisi sinyal..... 85
4.6. Rangkaian PGA (*Programmable Gain Amplifier*)..... 87
4.7. Rangkaian *Analog to Digital Converter* (ADC)..... 89
4.8. Simulasi pengukuran..... 93
4.9. Data pengukuran dan grafik..... 100
4.10. Data pengukuran dan grafik..... 118

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan..... 125

5.2. Saran..... 126

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel **Halaman**

2.1. Tipe tomografi berdasarkan fenomena fisika..... 8

2.2. Nilai konstanta dielektrik suatu bahan..... 17

2.3. Fungsi *pin* IC MCP6s21..... 22

4.1. Data pengukuran tegangan pada Arduino Mega 2560..... 58

4.2. Data pengukuran tegangan pada rangkaian *power supply*..... 64

4.3. Pengukuaran dari pengkondisi sinyal..... 86

4.4. Karakteristik Ic MCP6s21..... 87

4.5. Nilai Kapasitansi hasil simulasi Comsol Multyphisic 3.5..... 93

4.6. Data pengukuran tanpa menggunakan Gain..... 100

4.7. Data pengukuran menggunakan Gain..... 104

4.8. Pengukuran menggunakan *Multiplexer*..... 109

4.9. Pengukuran nilai kapasitansi (Cx)..... 112

4.10. Data pengukuran objek limbah minyak sawit..... 114

DAFTAR GAMBAR

Gambar **Halaman**

2.1.Prinsip dasar proses *tomography*..... 8

2.2. Sistem sensor ECVT..... 11

2.3. Medan listrikkapasitorkepingsejajar..... 14

2.4. Prinsip dasar kapasitor..... 15

2.5. Prinsipkerja kapasitor..... 18

2.6. Prinsip Tomografi Kapasitansi 2 dimensi..... 21

2.7. Diagram Blok *multi-channel* DAS..... 23

2.8. *Multiplexer*..... 24

2.9. IC *Multiplexer*..... 25

2.10.Blok Diagram Pengkondisi sinyal ECVT..... 26

2.11.Rangkaian*Charge/discharge*..... 26

2.12.Rangkaianberbasis AC (AC-*Based*)..... 28

2.13.IC PGA MCP6s21, 22, 26, dan 28..... 33

2.14.Blok diagram dalam IC MCP6s28 33

2.15.Blok diagram antarmuka mcp6s21 dengan *microcontroller*..... 34

2.16.Rangkaian ADC..... 38

2.17.Proses Blok Diagram ADC..... 39

2.18.Penyederhanaanbagian*sample/hold*..... 40

2.19.Prosespencuplikan (a) Sinyal analog (b) Sinyal yang dicuplik 40

2.20.Ilustrasi proses kuantisasi..... 41

2.21.Ilustrasi proses pengkodean..... 42

2.22.IlustrasiKuantisasi..... 43

2.23. Arduino Mega2560 R3 Bagian Depan..... 47

2.24. Pemetaan pin ATmega2560..... 48

2.25. *Sketch*kode program Arduino..... 49

2.26. Program matlab menampilkan *data logger*..... 55

2.27. Tampilan serial monitor..... 61

2.28. LCD 16 x 2 *character*..... 63

3.1. Diagram alir penelitian..... 68

3.2. Desain Perangkat keras Arduino mega2560..... 70

3.3. *Source code* matlab..... 71

3.4. Blok Diagram perancangan sistem Akuisisi data ECVT Arduino..... 72

3.5. *Data Logger* dari matlab..... 74

4.1. *Prototype*alatSistemAkuisisi Data..... 75

4.2. Diagram AlirRangkaian..... 76

4.3. Papan PCB dariRangkaian*power supply*..... 79

4.4. Sensor ECVT 8 *Channel*..... 81

4.5. Desain sensor ECVT..... 82

4.6. Desain 3 Dimensi sensor ECVT..... 83

4.7. Rangkaian Multiplekser..... 84

4.8. Perangkat DDS pengkondis..... 85

4.9. RangkaianIc filter..... 86

4.10. Gelombang AC dari DDS sebesar500kHz..... 87

4.11. Rangkaian PGA..... 88

4.12. Ic MCP6s21..... 88

4.13. RangkaianSistem minimum Arduino Mega 2560..... 90

4.14. Grafiksinyal analog darisimulasimatlab..... 91

4.15. Grafikperbandingankapasitansi air, udaradanminyaksawit..... 94

4.16. Grafikantaraudaradanminyaksawit yang telahdiperbesar..... 95

4.17. *Menu draw*..... 96

4.18. *Subdomain setting*..... 96

4.19. *Boundry setting*..... 97

4.20. Tampilan 3 dimensi sensor ECVT..... 97

4.21. Tampilan 3 dimensipada*menu solve*..... 98

4.22. Tampilan menu *Global Data Display*..... 98

4.23. Tampilan*text* nilaidarihasilsimulasi..... 99

4.24. Grafikperbandinganteganganoutput tanpa gain..... 101

4.25. Grafikperbandinganantaraminyaksawitdanudara..... 103

4.26. Grafikperbandinganhasilpengukurandengan Gain..... 105

4.27. Grafikperbandinganantarateganganoutput (Udara) dengan PGA dantanpa PGA..... 107

4.28.Grafikperbandinganantarateganganoutput (minyak) dengan PGA dantanpa PGA..... 108

4.29. Grafikpengukuranmenggunakan*multiplexer*..... 110

4.30. Grafikperbandinganantaraudaradanminyakmenggunakan Mux. 111

4.31. Grafik pengukuran kapasitansi..... 113

4.32. Pergeseran letak objek limbah minyak sawit..... 115

4.33. Grafik objek limbah minyak sawit saat posisi diangkat..... 116

4.34. Grafik objek limbah minyak sawit saat posisi depandanbelakang 117

4.35. Komunikasi serial USB.....

1184.36. Proses komunikasiantaraarduinodenganIc PGA.....

1194.37. Grafikpemilihan Gain.....

1204.38. Tegangan*input noise* vs Gain.....

1204.39. Grafik*error* gain DC +1.....

121 4.40. Pemeriksaan*port* USB ke PC.....

122 4.41. Proses *Up load* program keArduino.....

122 4.42. Tampilannilai Rx pada serial monitor.....

123 4.43. Tampilan Rx pada LCD.....

124

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT) merupakan suatu sistem yang mampu melakukan pencitraan terhadap suatu benda secara volumetrik. Sistem ECVT ini berbasis perhitungan kapasitansi dari suatu sensor yang mengelilingi suatu objek yang memanfaatkan distribusi permitivitas objek tersebut dan rambatan medan listrik dalam melakukan proses rekonstruksi citra.

Seperti halnya industri pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan Biogas, dimana biogas tersebut berasal dari uap ampas minyak kelapa sawit yang dipanaskan didalam tabung reaktor lalu uap tersebut menimbulkan tekanan keatas guna untuk mendorong turbin generator. Masalah dari industri tersebut adalah efek uap dari biogas yang lama-lama dapat menimbulkan suatu kerak pada sisi tabung sehingga menimbulkan gangguan pada sistem penguapan. Kebanyakan dalam proses pekerjaan dibutuhkan data yang valid dan juga monitoring untuk suatu perangkat yang digunakan sebagai pengendalian sistem. Dengan demikian diperlukan suatu perangkat yang dapat membaca data dari

sinyal sensor kemudian mengendalikan sinyal yang lain dengan menggunakan kode-kode program yang akan ditampilkan ke komputer.

Pada perangkat tersebut disebut sistem akuisisi data, yakni merupakan suatu sistem yang berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan dan menyiapkan data, hingga memprosesnya untuk menghasilkan data yang dikehendaki.

Dari latar belakang tersebut, penulis membuat sistem Akuisisi Data pada sensor ECVT (*Electrical Capacitance Volume Tomography*) dengan menggunakan Arduino Mega 2560. Sistem data yang diterima akan diproses dengan menggunakan kode-kode program kemudian diteruskan untuk menampilkan data ke komputer. Program tersebut menggunakan mikrokontroler berbasis Arduino Mega 2560 dengan spesifikasi yang mendukung dengan komputer tersebut. Hal ini dikarenakan alat yang diperlukan membutuhkan sinyal *input* yang banyak (ADC maupun digital) dan juga butuh kecepatan transfer data yang cepat.

Disisi lain, keunggulan dari alat ini dapat mengontrol PGA (*Programmable Gain Amplifier*) dari pengkondisi sinyal dan rangkaian pada *Multiplexer* serta menampilkan data akuisisi secara terprogram. Selain itu, didalam perangkat tersebut akan dibuat aktuator pada *output* Arduino Mega guna menggerakkan motor mekanik yang akan beroperasi didalam tabung reaktor sehingga saat sinyal ECVT mendeteksi perubahan kapasitansi tertentu, maka program arduino mega akan langsung mengeksekusi sinyal tersebut kemudian dapat menampilkan data yang diterima dengan cepat. Demikian penulis berharap perangkat yang dibuat akan menjadi barang produksi yang bermanfaat dan berkualitas.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menciptakan sistem Akuisisi Data sensor ECVT menggunakan Arduino Mega 2560 berbasis Matlab 2011a.
2. Dapat memproses dan mengirimkan data ke komputer lalu ditampilkan dalam bentuk grafik akuisisi data menggunakan program matlab.
3. Dapat mengontrol PGA (*programmable Gain Amplifier*) serta sistem rangkaian *multiplexer* pada sisi arduino.
4. Mempelajari pembuatan desain sensor ECVT 8 *channel* dengan menggunakan *software* COMSOL MULTIPHYSICS 3.5.
5. Mengembangkan sistem ECVT untuk rekonstruksi citra dan mendapatkan nilai kapasitansi sebagai sistem akuisisi data.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain :

1. Dapat memanfaatkan dan mengembangkan program arduino untuk banyak aplikasi.
2. Memperoleh pengetahuan tentang sistem pengendalian dengan memanfaatkan nilai sensor ECVT.
3. Mengetahui sistem akuisisi data dari sensor dan menampilkan ke komputer dalam bentuk data melalui *software* matlab.

1.4 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang suatu sistem Akuisisi Data sensor ECVT menggunakan Arduino Mega 2560 berbasisi matlab.
2. Bagaimana menerapkan program Arduino dan Matlab pada komputer untuk menampilkan data yang diinginkan.
3. Bagaimana Matlab dapat digunakan untuk menggambarkan keadaan sinyal sensor ECVT.
4. Bagaimana *software Comsol Multiphysics* 3.5 dapat digunakan untuk simulasi dan merancang bentuk sensor ECVT.

1.5 Batasan Masalah

Terdapat batasan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Sistem yang digunakan akan diterapkan pada model sensor ECVT
2. *Software* Matlab yang digunakan pada penelitian ini untuk menggambarkan data yang ditampilkan ke komputer
3. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pengendali utama sistem
4. Tidak membahas secara detail pada sisi sensor ECVT
5. Hanya membahas secara umum pada blok pengkondisi sinyal
6. Tidak membahas secara detail tentang rangkaian *multiplexer*

1.6 Hipotesis

Dengan membuat sistem akuisisi data dan program Matlab pada *serial port* komputer, dapat memberikan gambaran data sinyal sensor ECVT yang jelas dan dapat menampilkannya ke komputer.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tomografi

Tomografi berasal dari kata yunani dari kata "*Tomos*" yang berarti "bagian", "irisan" atau "potongan" dan "*Graphia*" yang berarti "gambar" atau "penggambaran". Jadi tomografi adalah penggambaran suatu objek dalam bentuk irisan-irisan atau beberapa sayatan melintang. Tomografi sebagai teknologi mampu menggambarkan obyek secara cepat dan mudah. Selain mudah juga dapat memberikan informasi lengkap dalam menggambarkan keadaan benda. Kelengkapan informasi didapat dengan semakin banyaknya informasi yang tergambar dalam struktur psikologis obyek. Baik struktur internal maupun struktur eksternalnya seperti suhu, kandungan air, dan lain-lain. Dengan kelebihan yang dimiliki tersebut, tomografi banyak dikembangkan khususnya dalam bidang industri dan medis.

Sistem tomografi pertama yaitu tomografi konvensional adalah pada pencitraan sinar-X. Pencitraan pada sinar-X adalah menembakkan sumber sinar x melewati tubuh pasien dengan meletakkan *film* dibelakangnya selama pemaparan. Hasilnya, struktur pada bidang fokal akan tajam, sementara struktur di bidang lain akan tampak blur. Dengan memodifikasi arah dan mengurangi pergerakan, operator dapat memilih bidang fokal yang berbeda yang mengandung struktur yang diinginkan. Namun kini

pencitraan sinar-X telah memasuki era komputer, yaitu *computer-assisted technique*, yang dikenalkan oleh Alessandro Vallebona, sangat berguna dan terbukti dalam mengurangi masalah super-imposisi dari struktur pada bayangan radiografi.

Tomografi modern menyertakan data proyeksi dari berbagai arah dan memasukkan data tersebut kedalam proses rekonstruksi tomografi dengan komputer. Berbagai macam tipe dari sinyal akuisisi dapat digunakan pada perhitungan algoritma yang sama dengan tujuan menghasilkan citra tomografi. Sampai dengan tahun 2005, tomografi terbagi beberapa berdasarkan fenomena fisika :

Tabel 2.1 Tipe tomografi berdasarkan fenomena fisika

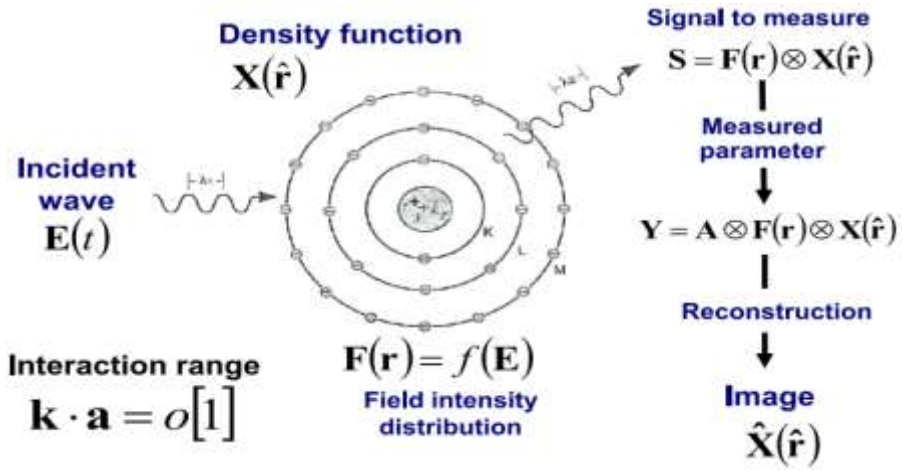
Fenomena Fisika	**Tipe Tomografi**
Sinar-X	CT
Sinar Gamma	SPECT
Anihilasi electron-positron	PET
Resonansi magnetic inti	MRI
Ultrasonik	USG

Beberapa perkembangan terkini menggunakan integrasi fenomena fisika ditunjukan oleh Tabel 2.1, misal Sinar-X untuk CT dan angiografi, kombinasi CT/MRI dan kombinasi CT/PET. Pada tomografi, terdapat beberapa algoritma rekonstruksi. Algoritma tersebut terbagi menjadi dua cakupan yaitu *Filter back projection* (FBP) dan *Iterative Construction* (IR). Kedua teknik ini sama-sama memiliki akurasi dan

waktu komputasi yang baik. FBP membutuhkan waktu komputasi sedikit, sementara IR menghasilkan sedikit artifact (kesalahan pada rekonstruksi) namun dengan waktu komputasi tinggi.

Tomography adalah sebuah teknik untuk menampilkan sebuah representasi dari sebuah objek di dalam penampang. Kata *tomography* berasal dari bahasa Yunani Kuno yaitu *Tomos* (τόμος), yang memiliki arti "*slice*, atau bagian" dan *Grapho* (γράφω), yang memiliki arti "menulis" (Oxford, 1930).

Prinsip dasar dari *tomography* adalah dengan memberikan gelombang atau energi datang (*Incident Wave* E(t)). Terhadap sebuah objek (*Density Function* X($\hat{r}$)). Saat gelombang atau energi mengenai objek dan terdistribusi secara merata pada objek (*Field Intensity Distribution* F(r)=f(E)) maka akan terjadi *konvolusi* sinyal antara nilai gelombang dan objek, didapatkan gelombang S= F(r) ⊗ X($\hat{r}$). Dari gelombang tersebut jika dilakukan inversi atau rekonstruksi gambar maka akan didapatkan kembali bentuk dari objek X($\hat{r}$).



Gambar 2.1 Prinsip dasar proses *tomography*

Prinsip dasar tersebut membuat banyak berkembang ilmu tentang *tomography* di antaranya: X-Ray, *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), *Ultrasonography* (USG), *Computed Tomography Scan* (CT-*Scan*), *Positron Emission Tomography Scan* (PET-*Scan*), termasuk *Electrical capacitance volume Tomography* (ECVT).

2.2 *Review* Tomografi

Proses tomografi pertama kali dalam tubuh manusia tanpa harus melakukan operasi berhasil setelah ditemukan Sinar-X oleh Rontgen pada tahun 1895. Sinar-X mampu menembus jaringan tubuh manusia dan membuat tubuh manusia yang tidak tembus cahaya menjadi 'transparan'. *Film* hasil Rontgen yang merupakan citra bayangan (proyeksi) dari obyek yang dikenai Sinar-X pada prinsipnya sama dengan sebuah bayangan obyek yang terbuat dari kaca pada pencahayaan dengan sinar matahari. Sifat ini dimanfaatkan di dunia kedokteran khususnya untuk melakukan visualisasi struktur tulang dan jaringan lainnya terhadap tubuh pasien untuk keperluan diagnosa.

Diagnosa berdasarkan citra proyeksi langsung dengan Sinar-X dipakai di dunia kedokteran dan juga aplikasi lain untuk melakukan inspeksi tak merusak (*nondestructive testing*) selama hampir 100 tahun hingga ditemukannya teknologi pencitraan yang tidak hanya menghasilkan gambar bayangan, tetapi mampu melakukan rekonstruksi citra dalam obyek, seolah-olah seperti foto tembus ke dalam obyek. Teknologi ini disebut tomografi komputasi (*Xray Computed Tomography/*CT Scan) yang ditemukan pertama oleh G.N. Hounsfield (Inggris) pada tahun 1972. Alat yang dibuat oleh Hounsfield sebagian didasarkan pada logaritma matematika untuk melakukan rekonstruksi citra penampang dalam sebuah obyek yang disinari dari

berbagai arah, yang dikembangkan oleh A.M. Cormack satu dekade sebelumnya. Secara sederhana, pencitraan CT didasarkan pada formulasi matematis yang menyatakan bahwa apabila sebuah obyek ’dilihat’ dari berbagai arah, gambar (citra) penampang dalam boyek tersebut biasa dihitung (atau ”direkonstruksi”). Dengan demikian metode CT bisa dipisahkan menjadi dua proses:

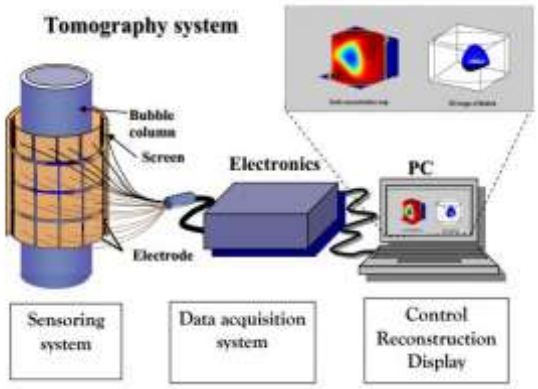
1. Pengambilan data proyeksi melalui penyinaran dan pendeteksian Sinar-X dari berbagai penjuru.
2. Proses rekonstruksi untuk memperoleh citra penampang obyek

Hampir bersamaan dengan ditemukannya *CT-Scan*, berbagai teknologi pencitraan menggunakan mode lain juga dikembangkan untuk aplikasinya di dunia kedokteran seperti misalnya *Magnetic Resonance Imaging* (MRI), radiasi partikel nuklir (*positron emission tomography* (PET), dan juga pencitraan dengan gelombang akustik dan ultrasonik. Berbeda dengan *CT Scan*, pencitraan dengan MRI dilakukan dengan penerapan medan magnet yang sangat kuat (hingga 1.5 tesla, sekitar 30.000 kali kekuatan medan magnet bumi) terhadap tubuh pasien.

Dengan medan magnet dari luar tersebut berbagai inti atom yang mempunyai sifat “*magnetic moment*” yang terdapat dalam tubuh pasien akan memancarkan sinyal frekuensi radio (rf). Sinyal rf ini kemudian dideteksi dengan detektor rf dan direkonstruksi untuk mendapatkan peta konsentrasi atom tersebut. Sifat *magnetic moment* berbeda antara atom yang satu dengan yang lain, sehingga struktur jaringan tubuh pasien yang normal akan memberikan respon yang berbeda dengan jaringan yang terkena kanker.

2.3 Sensor ECVT

Sensor ECVT (*Electrical Capacitance Volume Tomography*) merupakan sensor yang menggunakan teknik medan listrik yang bisa menampilkan gambar 3 dimensi dengan berdasarkan pengukuran nilai kapasitansi. Teknologi ECVT bermula dari tugas akhir ilmuan Dr.Warsito ketika menjadi mahasiswa S1 di Fakultas Teknik Jurusan Teknik Kimia, Universitas Shizuoka, Jepang pada tahun 1991. Ketika itu beliau ingin membuat teknologi yang mampu melihat tembus dinding reaktor yang terbuat dari baja atau objek yang tidak tembus cahaya. Beliau lantas melakukan riset di *laboratorium of Molecular Transport* dibawah bimbingan Profesor Shigeo Uchida.



Gambar 2.2 Sistem sensor ECVT

Electrical Capacitance Volume Tomography (ECVT) adalah sebuah teknik melihat struktur benda yang memanfaatkan prinsip kapasitor pelat sejajar. Saat jarak pelat dan luas pelat dibuat konstan, maka yang berpengaruh hanyalah konstanta dielektrik di antara pelat. Perbedaan nilai konstanta dielektrik ini yang akan menjadi dasar benda di antara pelat tersebut.

ECVT memiliki beberapa kelebihan dibandingkan dengan alat *tomography* lainnya. ECVT mampu melakukan pencitraan 3D, tanpa perlu ada proses penggabungan potongan gambar. ECVT juga mampu melakukan pembacaan secara *realtime*, yaitu setiap perubahan pada objek dalam interval lwaktu tertentu mampu direkam oleh ECVT. Karena ECVT mampu melakukan pencitraan secara 3D dan *realtime.* ECVT dikatakan sebagai pencitraan secara *online* 4D. Kelebihan lain dari ECVT adalah desain sensor tidak terbatas, tidak hanya kotak atau tabung, bahkan dapat berbentuk mangkuk dan helm selama muatan listrik yang diberikan mampu diterima masing-masing elektroda yang digunakan.

2.4 Prinsip ECVT

ECVT merupakan teknik tomografi yang memanfaatkan sifat kapasitansi listrik dari benda yang bersifat nonkonduktif. Pada ECVT terdapat pasangan sensor atau elektroda yang secara bergantian menghasilkan kapasitansi yang terukur yang dipengaruhi oleh distribusi permitivitas yang berada didalamnya. Untuk itu pada bab ini akan dibahas mengenai teori medan listrik yang berhubungan dengan listrik statis untuk mendapatkan hubungan antara kapasitasi listrik dengan distribusi permitivitas yang mendasari teknik tomografi ini.

2.5 Kapasitor Keping Sejajar

Kapasitor adalah komponen elektronika yang terdiri dari dua konduktor yang berdekatan tetapi terisolasi satu sama lain dan membawa muatan yang sama besar dan berlawanan. Komponen ini sangat penting dalam elektronika atau listrik karena mempunyai sifat-sifat :

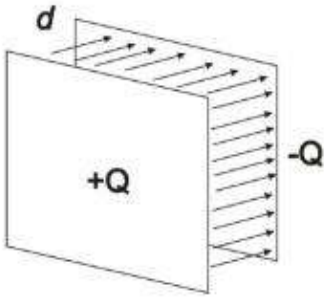
1. Dapat menyimpan dan mengosongkan muatan listrik.
2. Tidak dapat mengalirkan arus searah (DC).
3. Dapat mengalirkan arus bolak-balik (AC).
4. Dapat memperhalus riak yang terjadi ketika arus bolak-balik (AC) di konversikan menjadi arus searah (DC) pada catu daya.

Umumnya kapasitor yang digunakan adalah kapasitor keping sejajar yang menggunakan dua keping konduktor sejajar. Kepingan tersebut dapat berupa lapisan-lapisan logam yang tipis, terpisah dan terisolasi satu sama lain. Ketika kepingan terhubung pada piranti yangbermuatan misalnya baterai, muatan akan dipindahkan dari satu konduktor ke konduktorlainya sampai beda potensial antara kutub positif (+) dan kutub negatif (-) sama dengan beda potensial antara kutub positif (+) dan kutub negatif (-) baterai. Jumlah muatan (Q) yang dipindahkan tersebut sebanding dengan beda potensial (Tipler,1991).

2.5.1 Listrik Kapasitor

Benda yang bermuatan listrik di setiap titiknya terdapat kuat medan listrik. Bila muatannya diperbesar, maka kuat medan listrik di sekitar benda bermuatan listrik tersebut menjadi lebih besar dan sebaliknya. Bila muatannya diperkecil, maka kuat

medan listriknya menjadi lebih kecil (Haliday,1986). Kehadiran medan listrik disekitar bahan mengakibatkan atom-atom pada bahan membentuk momen-momen dipole listrik. Banyaknya momen-momen dipole listrik persatuan volume bahan disebut polarisasi (Sarwate,1990). Untuk menghasilkan medan listrik E yang kuat dari suatu kapasitor keping sejajar yang terdiri dari dua keping yang sama luasnya dan terpisah dengan jarak *d*, maka jarak *d* harus lebih kecil dibandingkan dengan panjang dan lebar keping (Tipler,1991).

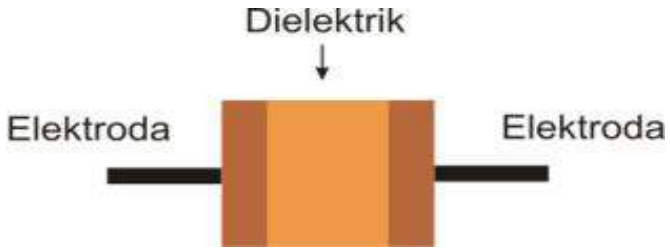


Gambar 2.3 Medan listrik kapasitor keping sejajar

Pada Gambar 2.3 kapasitor keping sejajar diberi muatan +Q pada satu keping dan muatan –Q pada keping lainnya. Garis-garis medan listrik antara keping-keping suatu kapasitor keping sejajar yang terpisah pada jarak yang sama, akan menunjukkan bahwa medan listrik bersifat seragam. Sehingga beda potensial antara bidang-bidang kapasitor sama dengan medan listrik (E), yang ditimbulkan dengan jarak pemisah *d* :

$$V = E.d \qquad (1)$$

Kapasitor adalah komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik. Struktur sebuah kapasitor terbuat dari 2 buah plat metal yang dipisahkan oleh suatu bahan dielektrik. Bahan-bahan dielektrik yang umum dikenal misalnya udara vakum, keramik, gelas dan lain-lain. Jika kedua ujung plat metal diberi tegangan listrik maka muatan-muatan positif akan mengumpul pada salah satu kaki (elektroda) metalnya dan pada saat yang sama muatan - muatan negatif terkumpul pada ujung metal yang satu lagi. Muatan positif tidak dapat mengalir menuju ujung kutub negatif dan sebaliknya muatan negatif tidak bias menuju ke ujung positif, karena terpisah oleh bahan dielektrik yang non-konduktif. Muatan elektrik ini tersimpan selama tidak ada konduksi pada ujung-ujung kakinya.



Gambar 2.4. Prinsip dasar kapasitor

2.5.2 Kapasitansi

Kapasitansi di definisikan sebagai kemampuan dari suatu kapasitor untuk dapat menampung muatan elektron. Coulumb pada abad 18 menghitung bahwa 1 coulumb = 6.25 x 1018 elektron. Kemudian Michael Faraday membuat postulat bahwa *Sebuah kapasitor akanmemiliki kapasitansi sebesar 1 farad jika denganteganganan 1 Volt dapat memuat muatan elektronsebanyak 1 coulumb.*

Dengan rumus dapat ditulis :

$$Q = CV \qquad (2)$$

Q = muatan elektron dalam C (coulomb)

C = nilai kapasitansi dalam F (farad)

V = besar tegangan dalam V (volt)

Dalam praktek pembuatan kapasitor, kapasitansi dihitung dengan mengetahui luas area plat metal (A), jarak (*d*) antara kedua plat metal (tebal dielektrik) dan konstanta (k) bahan dielektrik. Dengan rumusan dapat ditulis sebagai berikut:

$$C = (8.85 \times 10\ -12)\ (k\ A/d) \qquad (3)$$

Untuk rangkaian elektronis praktis, satuan farad adalah sangat besar sekali. Umumnya kapasitor yang ada di pasaran memiliki satuan *uF (10-16),nF (10-9F)* dan *pF (10-12F).* Konversi satuan sangat penting diketahui untuk memudahkan membaca besaran sebuah kapasitor. Misalnya 0.047uF dapat juga dibaca sebagai 47nF.

2.5.3 Dielektrik

Suatu material non-konduktor seperti kaca, kertas, air atau kayu disebut dielektrik. Ketika ruang diantara dua konduktor pada suatu kapasitor diisi dengan dielektrik, kapasitansi naik sebanding dengan faktor k yang merupakan karakteristik dielektrik dan disebut sebagai konstanta dielektrik. Kenaikan kapasitansi disebabkan oleh melemahnya medan listrik diantara keping kapasitor akibat kehadiran dielektrik.

Dengan demikian, untuk jumlah muatan tertentu pada keping kapasitor, beda potensial menjadi lebih kecil dan kapasitansi kapasitor akan bertambah besar (Tipler, 1991).

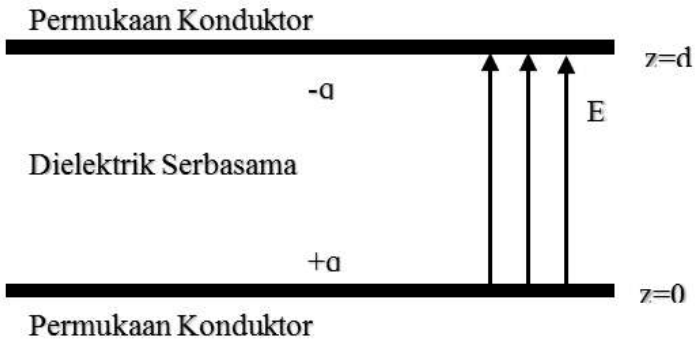
2.5.4 Konstanta Dielektrik

Konstanta dielektrik atau permitivitas listrik relatif adalah sebuah konstanta dalam ilmu fisika. Konstanta ini melambangkan rapatnya fluks elektrostatistik dalam suatu bahan bila diberi potensial listrik, sehingga merupakan perbandingan energi listrik yang tersimpan pada bahan tersebut jika diberi sebuah potensial relatif terhadap vakum (ruang hampa). Dimana permitivitas *relative* dari sebuah medium berhubungan dengan *susceptibility* (kerentanan) listriknya *e* χ yang dinyatakan melalui persamaan (Anonymous A, 2008). Bahan dielektrik pada suatu kapasitor menghambat aliran arus antar platnya. Berbagai bahan digunakan untuk dielektrik seperti ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Nilai konstanta dielektrik suatu bahan

Bahan Konstanta	**Dielektrik**
Vakum	1
Udara	1,006
Mika	3-6
Kayu	2-8
Air	80,37
Logam	~

Saat dua keping konduktor diletakkan diantara dielektrik yang serba sama, maka medan eksternal yang diberikan kepada kedua konduktor tersebut akan menyebabkan satu konduktor bermuatan positif dan satunya lagi bermuatan negatif.



Gambar 2.5 Prinsip kerja kapasitor.

Muatan akan tersebar pada permukaan dan memiliki nilai kerapatan muatan permukaan (+q dan –q). Medan listrik (E) yang diberikan akan tegak lurus terhadap permukaan konduktor tersebut. Untuk memindahkan muatan positif terhadap muatan negatif memiliki nilai kerja atau beda potensial (V_0). Sekarang definisi dari nilai kapasitansi sistem konduktor sebagai besar muatan dalam konduktor terhadap beda potensial antar konduktor.

$$C = \frac{q}{V} \tag{4}$$

C = Kapasitansi dalam Farad (F)

q = Kerapatan muatan (coulomb)

v = Beda potensial

Kapasitansi tidak bergantung dari potensial dan muatan total, karena rasionya tetap. Jika kerapatan muatannya bertambah dengan faktor N, hukum gauss menyatakan bahwa kerapatan fluks listrik atau intensitas medan listriknya juga bertambah bernilai N, dan demikian juga dengan beda potensialnya. Artinya kapasitansi hanya merupakan fungsi dari dimensi fisis sistem konduktor dan *permitivitas* bahan dielektrik.

Kapasitansi diukur dalam farad (F), farad didefinisikan sebagai coulumb per volt. Kapasitansi yang umum digunakan memiliki nilai yang sangat kecil, berupa mikrofarad (μF) dan pikofarad (pF). Dan untuk Sensor ECVT berada pada orde femto farad (fF).

Gambar 2.5 merupakan pengembangan sistem kapasitansi menggunakan dua konduktor yang sederhana yang identik berbentuk bidang datar sejajar berjarak d. Muatan yang sama pada permukaan konduktor menimbulkan medan yang sama pula. Jika bidang tersebut memiliki luas S yang dimensi linearnya jauh lebih besar dari jarak d. Maka akan didapatkan nilai kapasitansi sebagai berikut.

$$C = \frac{\epsilon\, A}{d} \qquad (5)$$

Keterangan:

C : Kapasitansi dalam Farad (F)

S : Luas penampang dalam meter persegi (m^2)

ϵ: *Permitivitas* statis relatif (konstanta dielektrik) dikalikan untuk vakum

Permitivitas vakum ($\epsilon_0 \approx 8{,}854x\ 10^{-12} Fm^{-1}$)

d : jarak antar pelat dalam meter (m)

Prinsip tersebut memperlihatkan jika sensor ECVT dengan luas penampang pelat tetap dan jarak antar pelat tetap, maka yang akan mempengaruhi besarnya kapasitansi pada sensor hanyalah *permitivitas*. Karena perbedaan nilai dielektrik dari padat, cair dan gas maka ECVT mampu melakukan *tomography*.

2.6 Kapasitan dalam ECVT

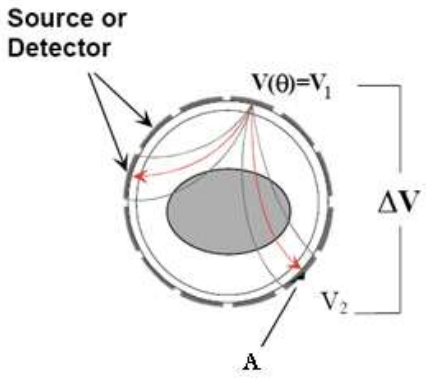
Kapasitan dalam ECVT diukur dengan pengukuran berbasis persamaan poisson yang ditulis dalam ruang tiga dimensi sebagai :

$$\nabla\varepsilon(x,y,z)\nabla\varphi(x,y,z) = -\rho(x,y,z) \tag{6}$$

dimana $\varepsilon(x,y,z)$ adalah distribusi permitivitas, $\Phi(x,y,z)$ adalah distribusi potensial dalam medan listrik, dan $\rho(x,y,z)$ adalah densitas muatan. Pengukuran kapasitans C_i dari pasangan ke-i antara sumber dan elektroda detektor didapat dengan mengintegralkan :

$$C = \frac{Q}{V} = -\frac{1}{\Delta V_i}\iint_r \varepsilon(x,y,z)\nabla\phi(x,y,z)dA \tag{7}$$

dimana ΔV_i adalah beda potensial antara pasangan elektroda dan A_i adalah area permukaan yang menutup elektroda detektor. Persamaan diatas menghubungkan distribusi konstanta dielektrik (permitivitas) dengan kapasitansi C_i yang diukur



Gambar 2.6 Prinsip Tomografi Kapasitansi 2 dimensi

Pada persamaan (6), nilai distribusi potensial ϕ (x,y,z) bergantung pada distribusi permitivitas ε(x,y,z). Bila nilai permitivitas berubah maka nilai potensial akan berubah. Dalam kasus ini, persamaan (6) tidak bisa disederhanakan/non-linear.

Permasalahan dari rekonstruksi citra ECVT adalah menyelesaikan distribusi permitivitas ε(x,y,z) dari vektor kapasistansi C yang diukur. Dalam bentuk diskrit adalah mencari G yang tidak diketahui dari C menggunakan persamaan diatas, dimana S adalah matriks konstan untuk sederhananya dan S akan berubah sesuai dengan distribusi permitivitas.

2.7 Sistem Akuisisi Data

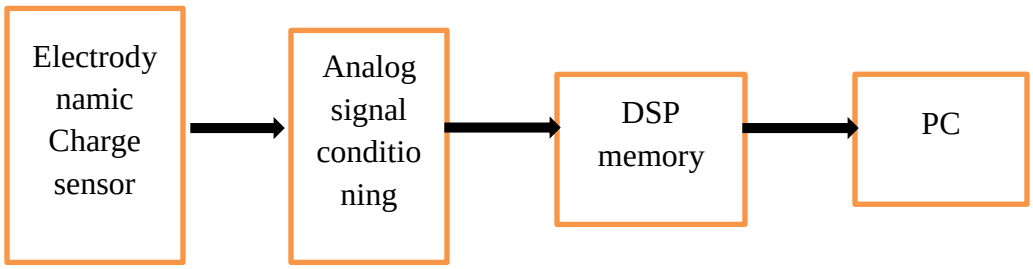
Pada mulanya proses pengolahan data lebih banyak dilakukan secara manual oleh manusia. Sehingga pada saat itu perubahan besaran fisis dibuat besaran yang langsung bisa diamati panca indra manusia. Selanjutnya dengan kemampuan teknologi pada bidang elektrikal besaran fisis yang diukur sebagai data dikonversikan kebentuk sinyal listrik, data kemudian ditampilkan kedalam bentuk simpangan jarum,

pendaran cahaya pada layar rekorder xy dan lain-lain. Sistem akuisisi data berkembang pesat sejalan dengan kemajuan dibidang teknologi digital dan komputer. Kini, akuisisi data menkonversikan besaran fisis data *source* ke bentuk sinyal digital dan diolah oleh suatu komputer. Pengolahan dan pengontrolan proses oleh komputer memungkinkan penerapan akuisisi data dengan *software*. *Software* memberikan harapan proses akuisisi data bisa divariasi dengan mudah sesuai kebutuhan.

Sistem akuisisi data adalah pengukuran sinyal elektrik dari tranduser dan peralatan pengukuran yang kemudian akan diproses didalam komputer (Nikolay Kirianiki et all,2002). Sehingga akuisisi dapat diartikan sebagai suatu cara untuk memperoleh informasi tentang sistem atau proses. Parameter informasi seperti suhu, tekanan atau aliran dari suatu sensor informasi yang akan diubah menjadi sinyal listrik.

Akuisisi data merupakan pengambilan informasi dari dunia nyata yang kemudian informasi tersebut akan diolah oleh komputer. Akuisisi data umumnya melibatkan proses pengambilan sinyal dan mengolahnya untuk memperoleh informasi. Komponen dari sistem akuisisi data meliputi sensor yang mengubah suatu parameter pengukuran menjadi sinyal listrik yang kemudian diterima oleh perangkat keras akuisisi data. Data yang diperoleh biasanya ditampilkan, dianalisis dan disimpan dalam PC. Hal ini dapat dicapai antara lain dengan menggunakan perangkat lunak dan perangkat keras kontrol interaktif.

Sistem Akuisisi Data merupakan gabungan antara *hardware* yang diikuti pemrograman dan pengantarmukaan langsung menuju *personal computer* (PC). Pada keseluruhan sistem akuisisi data untuk ECVT akan tersusun atas :



Gambar 2.7 Diagram Blok *multi-channel* DAS

Gambar 2.7 menjelaskan bahwa DAS untuk ECVT terdiri atas 4 bagian utama yaitu : sensing elektronis, pengkondisi sinyal, *memory* DSP dan juga komputer. Bagian *electro-dynamiccharge* sensor terdiri atas sensor kapasitansi dan juga tanduser kapasitansi ke tegangan yang dihubungkan ke rangkaian multiplekser agar dapat melakukan M kali pengukuran secara simultan sampai pengukuran terakhir. Nilai-nilai yang diperoleh dari bagian pertama akan masuk menuju bagian pengkondisi sinyal analog yang terdiri dari *analog-to-digital converter* (ADC) dan *amplifier* agar dapat menguatkan dan menyaring sinyal-sinyal masukan *low*.

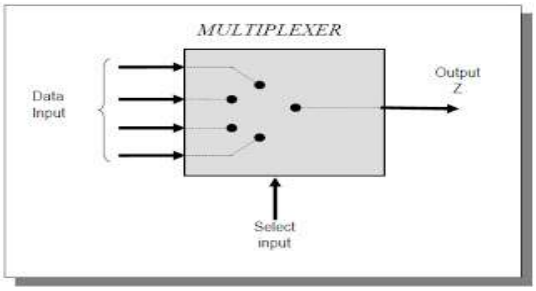
Sensor elektroda menghasilkan sinyal *low* yang sangat rendah sehingga sulit untuk diproses, sehingga dibutuhkan pengkondisi sinyal untuk melakukan penguatan. Pada dasarnya, rangkaian pengkondisi sinyal akan terdiri dari *buffer amplifier*, *high pass filter* (HPF) dan *gain amplifier*. *Buffer amplifier* digunakan untuk meminimalisir *noise* dan memaksimalkan sinyal masukan. HPF difungsikan untuk mengeliminasi efek dari pergantian sinyal. Seperti saat terjadi DC *offset* saat memasuki level berikutnya. Dan untuk mendigitalisasi sinyal masukan maka dipergunakan ADC. Bagian terakhir yang terdapat pada DAS adalah *Digital Signal Processing* (DSP)

yang akan memproses sinyal digital sekaligus menjadi *interface* antara DAS dan PC. Data yang dikirim dari DSP akan digambarkan dalam bentuk grafik dan tabel yang dapat dijalankan pada PC dengan spesifikasi tertentu.

Sinyal *offset* akan dikurangi menggunakan penguatan dari *differential amplifier* sehingga didapatkan nilai kapasitansi yang seimbang. Resultan dari sinyal-sinyal tersebut akan menunjukan perubahan dari kapasitansi. Kemudain sinyal akan kembali dikuatkan menggunakan *Programmable Gain Amplifier* (PGA) dengan penguatan yang telah penguatan yang bisa dipilih 1,2,4 atau 8 untuk menghasilkan cakupan pengukuran yang lebih besar. Dan terakhir sinyal analog akan didigitalisasikan dengan ADC 12-bit. Setelah sinyal berhasil didigitalisasi maka data pengukuran telah dapat dikirimkan ke komputer melalui mikrokontroler. Dan komputer akan merekonstruksi citra dan menampilkanya ke dalam monitor.

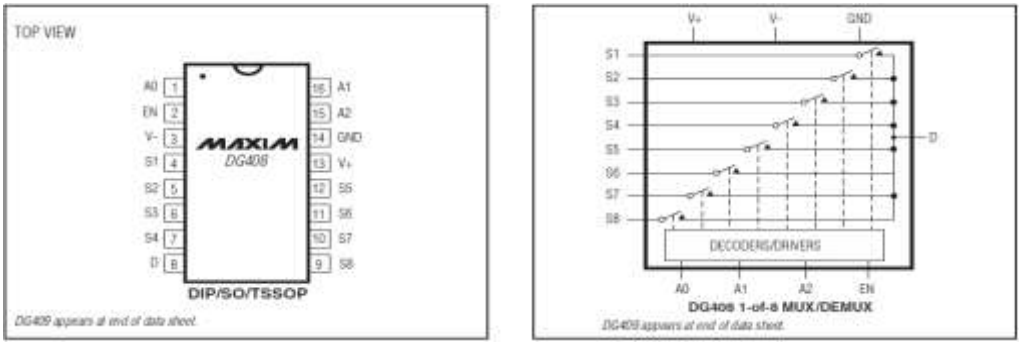
2.8 *Multiplexer*

Multiplexer adalah rangkaian logika yang menerima beberapa *input* data digital dan menyeleksi salah satu dari *input* tersebut pada saat tertentu, untuk dikeluarkan pada sisi *output*. *Multiplexer* berfungsi sebagai data *selector*.



Gambar 2.8 *Multiplexer*

Pada rangkaian *multiplexer* akan dibuat masukan berupa plat kapasitor yang berjumlah kurang lebih 8 *channel* dan pada *channel-channel* tersebut dapat dikontrol melalui program arduino ataupun program matlab. Rancangan *multiplexer* akan menggunakan *IC multiplexer* DG408 yang akan diletakkan setelah sensor ECVT dan dikendalikan dari sisi arduino. Didalam ic terdapat beberapa saklar yang dapat dijadikan sebagai kontrol chanel pada sensor ECVT yang begitu banyak.



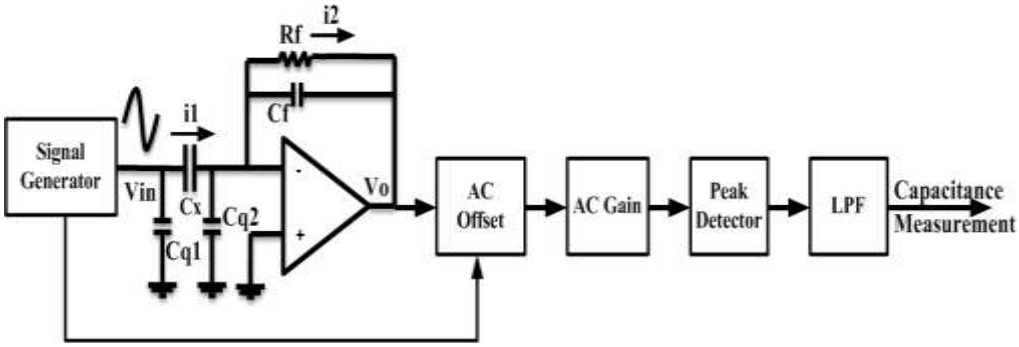
Gambar 2.9 IC *Multiplexer*

Multiplekser atau yang biasa disingkat dengan MUX merupakan suatu alat atau komponen elektronika yang dapat digunakan untuk memilih *input* (masukan) yang akan diteruskan ke bagian *output* (keluaran). Pemilihan *input* mana yang dipilih akan ditentukan oleh sinyal yang ada di bagian kontrol (kendali).

Proses multipleksing berlangsung hampir sama seperti proses pensaklaran, namun dengan jumlah saklar yang lebih dari satu dan dengan proses pensaklaran yang berlangsung berdasarkan kendali dari sinyal lain.

2.9 Pengkondisi Sinyal

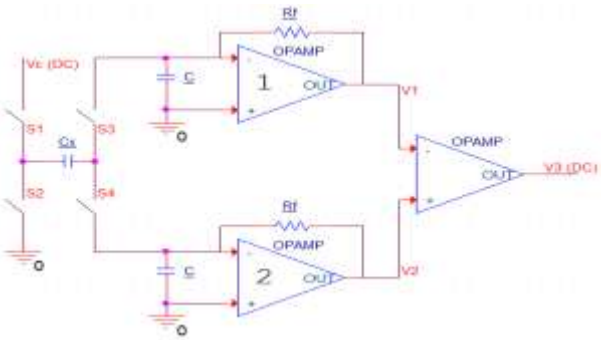
Sistem ini menggunakan pengkondisi sinyal untuk dapat mengubah sinyal sensor kapasitansi menjadi sinyal DC yang akan diproses lebih lanjut. Pada Gambar 2.10 menunjukkan sebuah blok diagram dari rangkaian pengkondisi sinyal ECVT yang terdiri dari 2 bagian utama yaitu sinyal generator di sisi kiri elektroda dan pendeteksian rangkaian di sisi lain.



Gambar 2.10 Blok Diagram Pengkondisi sinyal ECVT

2.9.1 Rangkaian Pengukur Kapasitansi Berbasis *Charge/discharge*

Perkembangan pertama untuk rangkaian pengukur kapasitansi adalah berbasis *charge/discharge* seperti yang diperlihatkan Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Rangkaian *Charge/discharge*.

Rangkaian pengukur kapasitansi berbasis *charge/discharge* menggunakan prinsip *amplifier* diferensial. Rangkaian tersebut kerja secara sempurna dengan dua *fase*. Yaitu *fase charge* dan *fase discharge*. Pada *fase charge*, sakelar 1 dan 4 tertutup sedangkan sakelar 2 dan sakelar 3 terbuka. Arus yang masuk dari sumber tegangan (Vc) melalui kapasitansi yang akan di ukur (Cx) ke op-amp 1 dengan resistor umpan balik (Rf).

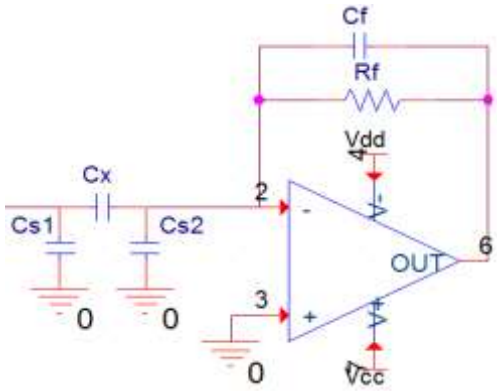
Berlaku hal yang sama untuk *fase discharge*. Sakelar 2 dan 3 tertutup sedangkan sakelar 1 dan 4 terbuka. *Charge* yang tersimpan pada kapasitansi pengukuran (Cx) akan menjadi *fase discharge*. Bagian kiri dari Cx *discharge* ke *ground* dan bagian kanan akan mengambil arus dari op-amp 2.

Catatan, kapasitor pelembut (C) ditempatkan di setiap masukan sinyal pada op-amp menuju *ground* dan sebagai pencegah terjadinya loncatan tegangan berlebih pada op-amp. *Amplifier* diferensial pada tahap selanjutnya (op-amp 3) dengan penguatan K yang digunakan untuk menjumlahkan kedua keluaran sinyal op-amp 1 dan op-amp 2. Hasil penjumlahannya akan menghasilkan sinyal pengukuran berupa DC yang akan merepresentasikan kapasitansi pengukuran (Cx).

2.9.2 Rangkaian Pengukur Kapasitansi Berbasis AC (AC-*Based*)

Pada sistem akuisisi data yang sekarang sedang akan mengembangkan perangkat pengkondisi sinyal yang berbasis *Phase-Sensitive Demodulation* (PSD). Dengan pengkondisi sinyal yang berbasis PSD tersebut cukup sulit untuk diaplikasikan, maka dari itu dibuatlah perangkat baru yang disebut Alat Pengukur Kapasitansi Orde Femto Farad untuk sensor ECVT berbasis *Phase-Sensitive Demodulation* (PSD).

Pada sistem ECVT yang ada masih menggunakan perangkat AC-*Based.* Dari hal tersebut penelitian yang saat ini akan dilakukan perancangan pengkondisi sinyal berbasis PSD dan alat ini sangat penting untuk dirancang. Dan bila alat ini berhasil maka pengembangan ECVT akan dikembangkan menggunakan sistem PSD tersebut.



Gambar 2.12 Rangkaian berbasis AC (AC-*Based*).

Pada pengembangan untuk rangkaian pengukur kapasitansi yang kedua adalah menggunakan alat pengukur kapasitansi berbasis AC-*Based.* Alat ini terdiri dari satu op-amp dengan dua umpan balik resistor (Rf) dan kapasitor (Cf) yang diperlihatkan pada Gambar 2.12. Pengembangan sistem ECVT yang sekarang akan menggunakan rangkaian pengkondisi sinyal yang berbasis PSD yang mana menggunakan prinsip *sinusoidal excitation* dan *phase-sensitive demodulation* (PSD).

Selanjutnya menggunakan rangkaian Op-amp AD817 dengan tipe *inverting amplifier.* Kemudian menggunakan analog mulitplier yang digunakan untuk melakukan percobaan pada rangkaian PSD. *Analog Multiplier* menggunakan AD633 dan terakhir menggunakan rangkaian *low-pass filter* (LPF) dengan tambahan *All-pass filter* untuk perbaikan sinyal dari PSD.

2.10 *Programmable Gain Amplifier* (PGA)

2.10.1 Definisi OP Amp

Operational *Amplifier* atau di singkat op-amp merupakan salah satu komponen analog yang popular digunakan dalam berbagai aplikasi rangkaian elektronika. Aplikasi op-amp popular yang paling sering dibuat antara lain adalah rangkaian *inverter*, *non-inverter*, *integrator* dan *differensiator*. OP-AMP (*Operasional Amplifiers*) pada hakekatnya merupakan sejenis IC. Didalamnya terdapat suatu rangkaian elektronik yang terdiri atas beberapa transistor, resistor dan atau dioda. Jikalau pada IC jenis ini ditambahkan suatu jenis rangkaian, masukkan dan suatu jenis rangkaian umpan balik, maka IC ini dapat dipakai untuk mengerjakan berbagai operasi matematika, seperti menjumlah, mengurangi, membagi, mengali, mengintegrasi, dan sebagainya. Oleh karena itu IC jenis ini dinamakan penguat operasi atau operasional *amplifier*, disingkat OP-AMP. Namun demikian OP-AMP dapat pula dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, misalnya : sebagai penguat audio, pengatur nada, osilator atau pembangkit gelombang, *sensor circuit*, dan sebagainya. OP-AMP banyak disukai karena faktor penguatannya besar (100.000 kali).

Pengembangan rangkaian terpadu IC luar telah ada sejak tahun 1960, pertama telah dikembangkan pada chip silikon tunggal. Rangkaian terpadu itu merupakan susunan antara transistor dan dioda sebagai penguat dan pasangan Darlington. Kemudian tahun 1963 industri semikonduktor Fairchild memperkenalkan IC OP-AMP pertama kali µA 702, yang mana merupakan pengembangan IC OP-AMP yang lain sebelumnya, dimana tegangan sumber (Catu Daya) dibuat tidak sama yaitu +VCC = +12 V dan -VEE = -6 V, dan resistor *input*nya rendah sekali yaitu (40 KOhm) dan

gain tegangan (3600 V/V). IC tipe µA702 ini tidak direspon oleh industri–industri lain karena tidak *universal*. Tahun 1965 Fairchild memperkenalkan IC MA709 merupakan kelanjutan sebagai tandingan dari µA702. Dengan banyak kekhususan tipe µA709 mempunyai tegangan sumber yang simetris yaitu +VCC = 15 V dan –VEE = -15 V, resistan *input* yang lebih tinggi (400 KOhm) dan gain tegangan yang lebih tinggi pula (45.000 V/V). IC µA709 merupakan IC linear pertama yang cukup baik saat itu dan tidak dilupakan dalam sejarah dan merupakan generasi OP-AMP yang pertama kali. Generasi yang pertama OP-AMP dari Motorola yaitu MC1537. Penguat operasional dalam bentuk rangkaian terpadu memiliki karakteristik yang mendekati karakteristik penguat operasional ideal tanpa perlu memperhatikan apa yang terdapat di dalamnya. Karakteristik penguat operasional ideal adalah :

1) Penguatan tegangan lingkar terbuka (*open-loop voltage gain*) $A_{VOL} = -\infty$
2) Tegangan ofset keluaran (*output offset voltage*) $V_{OO} = 0$
3) Hambatan / Impedansi masukan (*input resistance*) $R_I = \infty$
4) Hambatan / Impedansi keluaran (*output resistance*) $R_O = 0$
5) Lebar pita (*band width*) BW = ∞
6) Waktu tanggapan (*respon time*) = 0 detik
7) Karakteristik tidak berubah dengan suhu

Kondisi ideal tersebut hanya merupakan kondisi teoritis tidak mungkin dapat dicapai dalam kondisi praktis. Tetapi para pembuat Op Amp berusaha untuk membuat Op

Amp yang memiliki karakteristik mendekati kondisi-kondisi di atas. Karena itu sebuah Op Amp yang baik harus memiliki karakteristik yang mendekati kondisi ideal. Penguatan tegangan lingkar terbuka (*open loop voltage gain*) adalah penguatan diferensial Op Amp pada kondisi dimana tidak terdapat umpan balik (*feedback*) yang diterapkan padanya. Secara ideal, penguatan tegangan lingkar terbuka adalah :

$$\mathbf{A_{VOL}} = \mathbf{Vo / Vid} = -\infty \qquad (8)$$

$$\mathbf{A_{VOL}} = \mathbf{Vo/(V1\text{-}v2)} = -\infty \qquad (9)$$

Tanda negatif menandakan bahwa tegangan keluaran V_O berbeda fasa dengan tegangan masukan V_{id}. Konsep tentang penguatan tegangan tak berhingga tersebut sukar untuk divisualisasikan dan tidak mungkin untuk diwujudkan. Suatu hal yang perlu untuk dimengerti adalah bahwa tegangan keluaran V_O jauh lebih besar dari pada tegangan masukan V_{id}. Dalam kondisi praktis, harga A_{VOL} adalah antara 5000 (sekitar 74 dB) hingga 100000 (sekitar 100 dB). Tetapi dalam penerapannya tegangan keluaran V_O tidak lebih dari tegangan catu yang diberikan pada Op Amp. Karena itu Op Amp baik digunakan untuk menguatkan sinyal yang amplitudonya sangat kecil.

2.10.2 *Programmable Gain Amplifier*

Pengertian *Amplifier* adalah komponen elektronika yang di pakai untuk menguatkan daya atau tenaga secara umum. Dalam penggunaannya, *amplifier* akan menguatkan

sinyal sensor yaitu memperkuat sinyal arus I dan tegangan V listrik dari *input*nya. Sedangkan *outpu*nya akan menjadi arus listrik dan tegangan yang lebih besar.

Besarnya pengertian *amplifier* sering disebut dengan istilah Gain. *Gain power amplifier* berkisar antara 200 kali sampai 100 kali dari sinyal *output.* Jadi gain merupakan hasil bagi dari daya di bagian *output* dengan daya di bagian *input* dalam bentuk fungsi frekuensi. Ukuran gain biasanya memakai decible (dB). Jika penguatan G didefenisikan sebagai perbandingan tegangan keluaran terhadap tegangan masukan, maka dapat ditulis

$$G = v_{out}/v_{in} = - R_2/R_1 \qquad (10)$$

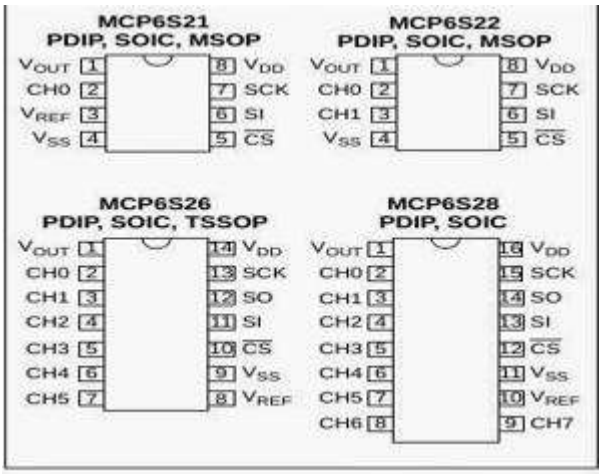
Keterangan :

G : Penguatan

Vout : Tegangan keluaran

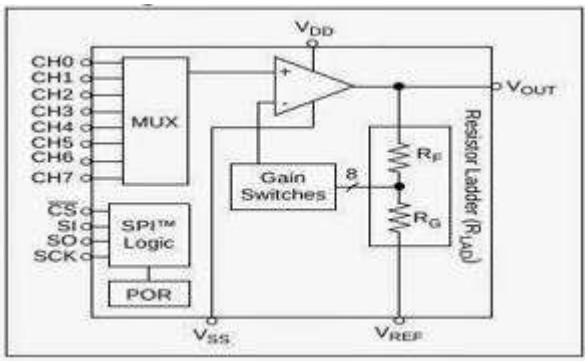
Vin : Tegangan masukan

PGA atau *Programmable Gain Amplifier* adalah OpAmp yang memiliki gain pada *range* tertentu dan dapat diprogram. Jika pada OpAmp biasa pengaturan gain dilakukan menggunakan konfigurasi resistor, maka pada PGA pengaturan gain dilakukan dengan menggunakan *software.* Hal ini sangat berguna untuk pengukuran besaran analog atau pengaturan tegangan analog yang bersifat dinamis, yang mana dibutuhkan besaran gain yang fleksibel sesuai kebutuhan.



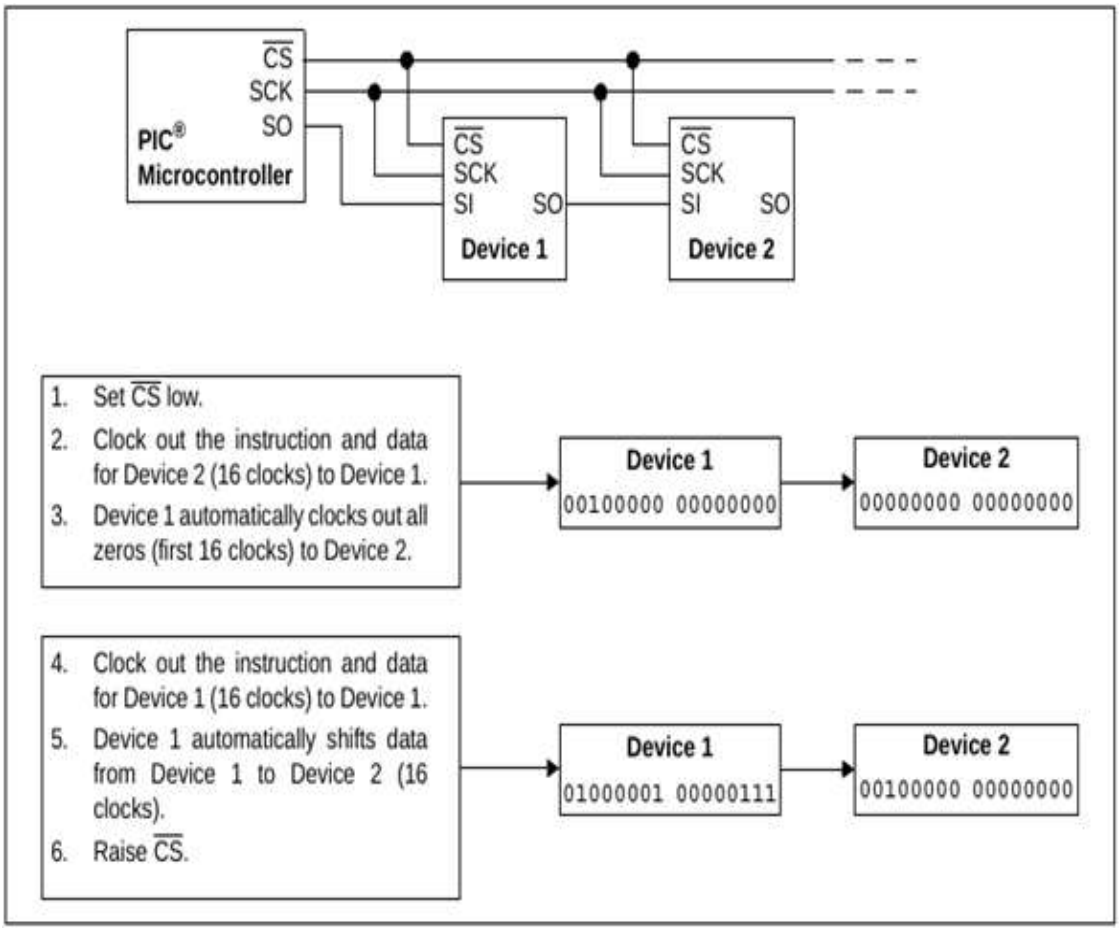
Gambar 2.13 IC PGA MCP6s21, 22, 26, dan 28

Perangkat PGA yang digunakan pada sistem akuisisi data ini adalah MCP6S21 dari Microchip. MCP6S21 memiliki besaran gain +1, +2, +4, +8, +10, +16 dan +32 dengan *bandwith* 2-12 MHz. MCP6S21 hanya memiliki 1 (satu) *channel input*. MCP6S21 menggunakan komunikasi SPI untuk pengaturan gain maupun *mode shutdown*. Model PGA MCP6S21 tidak memiliki *pin* SO (MISO). Berbeda dengan tipe MCP6S26 yang memiliki 6 *channel input* dan MCP6S28 dengan 8 *channel input* sehingga dapat sekaligus berfungsi sebagai *multiplexer*.



Gambar 2.14 Blok diagram dalam IC MCP6s28

MCP6S26 dan MCP6S28 memiliki *pin* SO (MISO) sehingga memungkinkan konfigurasi *daisy chain* (*cascade* atau bersambung dengan menggunakan SPI yang sama). Antarmuka serial juga dapat menempatkan PGA pada keadaan *shutdown* untuk menghemat daya. PGA ini telah dioptimalkan untuk kecepatan tinggi, tegangan *offset* rendah dan operasi *supply* tunggal dengan masukan dan kemampuan *output*.



Gambar 2.15 Blok diagram antarmuka mcp6s21 dengan *microcontroller*

Tabel 2.3 Fungsi *pin* IC MCP6s21

Name	**Function**
VOUT	*Analog Output*
CH0-CH7	*Analog Inputs*
VSS	*Negative Power Supply*
VDD	*Positive Power Supply*
SCK SPI	*Clock Input*
SI SPI	*Serial Data Input*
SO SPI	*Serial Data Output*
CS SPI	*Chip Select*
VREF External	*Reference Pin*

Berikut adalah keterangan *pin* Mcp6s21 :

a. VOUT

Pin Output (VOUT) merupakan sumber tegangan yang impedansinya rendah. Gain yang dipilih (G), *input* yang dipilih (CH0-CH7) dan tegangan pada VREF menentukan nilainya.

b. ANALOG INPUT

Input CH0 sampai CH7 terhubung ke sumber sinyal. *Input* tersebut adalah *input* CMOS yang memiliki impedansi tinggi dengan arus bias yang rendah. MUX internal memilih *output* mana yang akan diperkuat.

c. VREF

Pin VREF harus berada pada tegangan antara VSS danVDD. Tegangan pada *pin* ini akan menggeser tegangan *output*.

d. POWER SUPPLY

Catu daya *pin* positif (VDD) adalah 2.5V sampai 5.5V dan lebih tinggi dari *pin* negatif *power supply* (VSS). Untuk operasi normal, *pin* lainnya antara VSS dan VDD. Biasanya, bagian ini digunakan untuk tegangan tunggal positif. Dalam hal ini, VSS terhubung ke *ground* dan VDD terhubung ke tegangan.

e. DIGITAL INPUT

Interface input SPI antara lain adalah : *Chip Select* (CS), *Serial Input* (SI) dan *Serial Clock* (SCK).

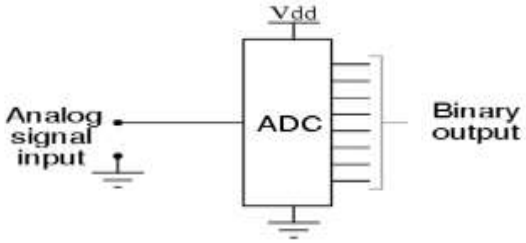
f. DIGITAL OUTPUT

Perangkat MCP6S26 dan MCP6S28 memiliki antarmuka SPI *pin serial output* (SO). Ini adalah *output* pada CMOS dan tidak pernah dalam keadaan tinggi. Setelah *device* terpilih (CS tinggi), maka SO menjadi rendah.

2.11 ADC (*Analog to Digital Converter*)

ADC adalah pengubah *input* analog menjadi kode-kode rangkaian pengukuran/ pengujian berupa data biner. Umumnya ADC digunakan sebagai perantara antara sensor yang kebanyakan analog dengan sistem komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan, dan sebagainya kemudian diukur menggunakan sistem digital. Prinsip kerja ADC adalah mengkonversi sinyal analog ke dalam bentuk besaran yang merupakan rasio perbandingan sinyal *input* dan tegangan referensi. Sebagai contoh, bila tegangan referensi 5 volt, tegangan input 3 volt, rasio *input* terhadap referensi adalah 60%. Jadi, jika menggunakan ADC 8 bit dengan skala maksimum 255, akan didapatkan sinyal digital sebesar 60% x 255 = 153 (bentuk decimal) atau 10011001.

ADC pada *output* rangkaian pengkondisi sinyal sangat diperlukan dan dirancang untuk menghasilkan sinyal DC murni yang telah dikuatkan dari rangkaian sebelumnya karena ukuran sinyal sensor ECVT masih dalam orde femtofarad. Hal ini sinyal *output*nya masih berupa tegangan ADC yang harus diubah ke digital agar dapat dibaca oleh mikrokontroler Arduino. Besar tegangan *output* DC pengkondisi sinyal diasumsikan sebesar antara 0V – 5V atau bisa lebih, misalkan *output* tegangan 3 volt DC dan *ground* serta tegangan referensi 5 volt DC, maka presentasi selisih antara tegangan referensi dengan tegangan *output* dikalikan 1024 (2^{10}) sama dengan nilai decimal. Presentasi 60% x 1024 = 614.4 atau biner (1001100110). Data biner tersebut adalah sebesar 10 bit yang sudah dikonversi ke digital maka akan mudah dikenal oleh mikrokontroler.



Gambar 2.16 Rangkaian ADC

Microcontroller memiliki kemampuan untuk menerima, mengolah, dan memberikan *output signal* digital. Sebagai contoh bila *microcontroller* dengan catu daya 5 volt, *microcontroller* tersebut dapat mengenali tegangan sebesar 0 volt sebagai *signal digital low*, atau tegangan 5 volt sebagai *signal digital high*. Sedangkan untuk mengenali nilai tegangan antara 0 volt hingga 5 volt, diperlukan *feature* khusus, yakni *Analog-to-Digital Converter*. *Analog-to-Digital Converter* atau biasa disebut ADC, memungkinkan mikrokontroler untuk mengenali suatu nilai analog melalui suatu pendekatan digital. Saat ini banyak mikrokontroler, termasuk Arduino telah dilengkapi dengan *feature* ADC yang terintegrasi di dalamnya.

Pada *board* Arduino, terdapat enam *pin* analog, yakni mulai dari A0 hingga A5. Huruf A pada awal nama *pin* Arduino menandakan *pin* tersebut dapat digunakan untuk mengolah sinyal analog. Seberapa tepat nilai sinyal analog yang dipetakan secara digital, ditentukan oleh seberapa besar resolusi ADC. Semakin besar resolusi ADC, maka semakin mendekati nilai analog dari sinyal tersebut. Untuk resolusi ADC pada *board* Arduino Mega ialah 10 bit, yang berarti mampu memetakan hingga 1024 *discrete analog level*. Beberapa jenis *microcontroller* lain memiliki resolusi 16 bit, 65536 *discrete analog level.*

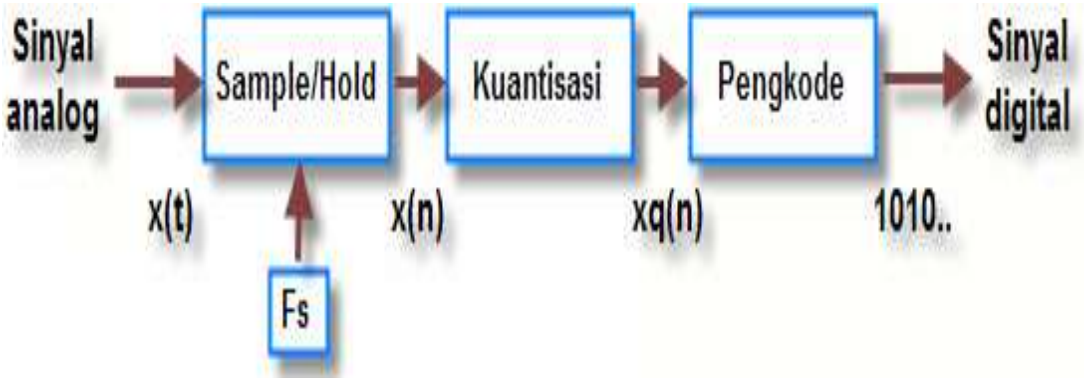
2.11.1 Proses pengolahan sinyal ADC

Pin analog Arduino dapat menerima nilai hingga 10 bit sehingga dapat mengkonversi data analog menjadi 1024 keadaan (2^10= 1024). Artinya nilai 0 merepresentasikan tegangan 0 volt dan nilai 1023 merepresentasikan tegangan 5 volt. Sehingga nilai terbesar adalah 1023. Data yang sebelumnya analog dikonversi menjadi data digital. Proses konversi dari nilai analog menjadi digital ini disebut proses ADC (*Analog to Digital Conversion*). Bagaimana jika tegangan 5 volt dikonversi menjadi data digital 10 bit.

$$\frac{5\ volt}{1023} = 0{,}004887585 \tag{11}$$

Artinya setiap 1 angka desimal mewakili tegangan sebesar 0,004887585 volt. Berapa besar tegangan yang diwakili angka 512.

$$512.\frac{5\ volt}{1023} = 2{,}50244\ volt\ \approx 2{,}5\ volt \tag{12}$$

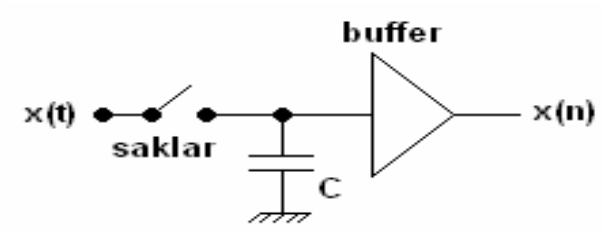


Gambar 2.17 Proses Blok Diagram ADC

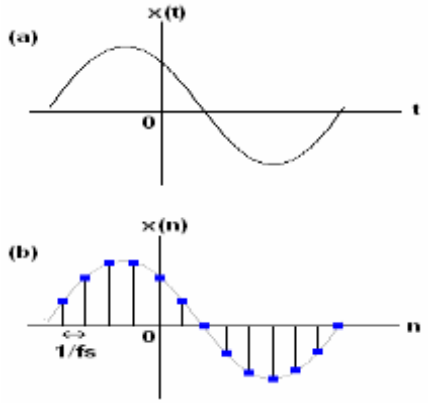
Adapun beberapa proses dalam pengolahan sinyal ADC antara lain :

a. Sampling

Proses pencuplikan secara sederhana ditunjukkan oleh Gambar 2.18 Apabila saklar ditutup sebentar kemudian dibuka kembali maka kapasitor C akan terisi muatan yang sama dengan besar sinyal x(t) saat saklar ditutup. *Buffer* ditambahkan agar muatan kapasitor tetap terjaga saat digunakan oleh proses berikutnya. Perhatikan saklar, apabila saklar ditutup dan dibuka dengan kecepatan tetap sebesar fs maka akan didapatkan titik-titik yang berjarak sama seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.19.



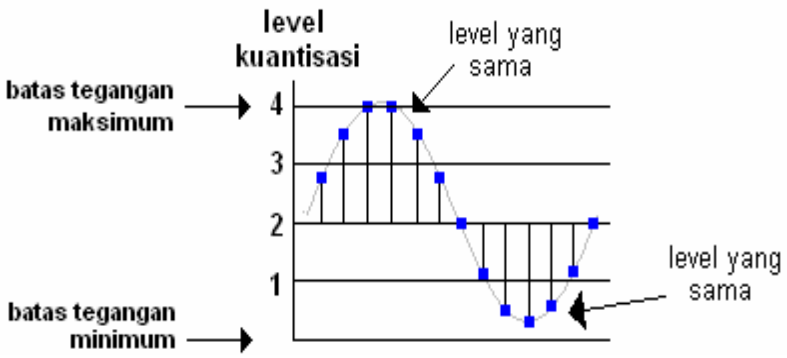
Gambar 2.18 Penyederhanaan bagian *sample/hold*.



Gambar 2.19 Proses pencuplikan. (a) Sinyal analog. (b) Hasil sinyal yang dicuplik.

b. Kuantisasi

Sinyal digital merupakan sebuah deretan angka (*sampling*) yang diwakili oleh beberapa digit dengan jumlah tertentu (menentukan keakuratan). Proses melakukan konversi sinyal yang telah dicuplik menjadi sinyal digital yang diwakili oleh sebuah nilai dengan jumlah digit tertentu disebut kuantisasi seperti pada Gambar 2.20.

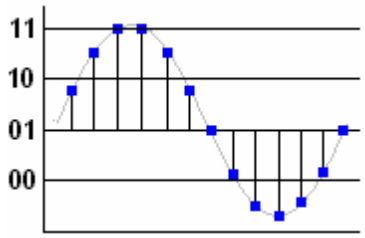


Gambar 2.20 Ilustrasi proses kuantisasi.

Gambar 2.20 adalah contoh proses kuantisasi yang menggunakan empat level. Anda dapat melihat pada level 4 terdapat empat buah sinyal yang menempati level yang sama, artinya keempat sinyal tersebut dikelompokkan menjadi level yang sama walaupun tingginya berbeda. Demikian pula pada level 1. Selisih antara nilai kuantisasi dengan sinyal sebenarnya disebut kesalahan kuantisasi (*error quantization*). Jarak antara level kuantisasi disebut resolusi. Kuantisasi merupakan proses yang tidak dapat dibalik sehingga menyebabkan distorsi sinyal yang tidak dapat diperbaiki.

c. Pengkode

Proses pengkodean dalam ADC menetapkan bilangan biner tertentu pada tiap level kuantisasi. Bila kita mempunyai level kuantisasi sejumlah L, maka kita membutuhkan bilangan biner tidak sejumlah L. Anda membutuhkan digit yang diperlukan sebanyak b-bit sehingga 2b ≥ L. Untuk Gambar 2.21, terdapat empat level kuantisasi sehingga dibutuhkan 2-bit saja. Jadi kode biner untuk Gambar 2.21 adalah 00, 01, 10, 11.



Gambar 2.21 Ilustrasi proses pengkodean.

Sinyal pada Gambar 2.21 setelah keluar dari ADC akan mempunyai kode biner 10,11,11,11,11,10,01,01,00,00,00,01,01.

2.11.2 *Signal-to-Noise Ratio* (SNR)

Merupakan perbandingan antara daya sinyal dan daya *noise* pada keluaran konverter A/D. Daya *noise* terdiri dari seluruh *error* yang ada pada sistem ADC seperti *noise* kuantisasi, *noise* panas (*thermal*), dan *noise* rangkaian. SNR dapat dirumuskan sebagai :

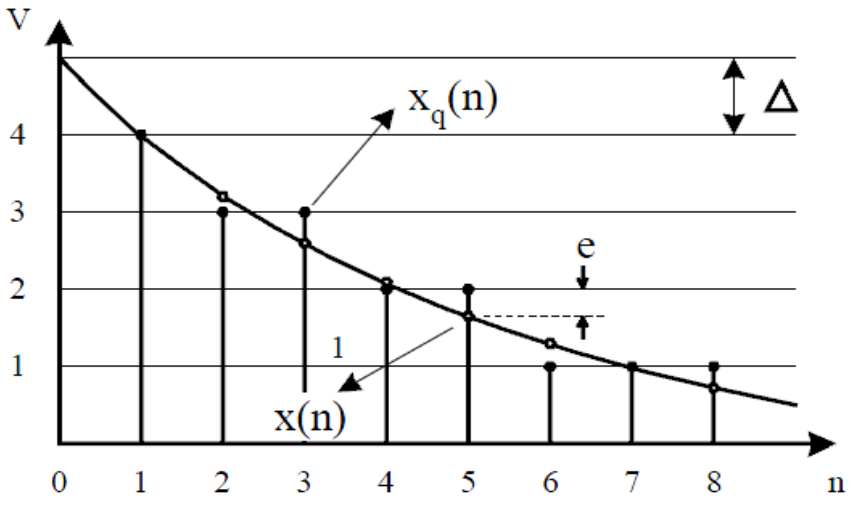
$$\text{SNR} = 10 \log \left(\frac{P\ sinyal}{P\ noise}\right)\ dB \qquad (13)$$

Dimana :

P_{sinyal} = daya sinyal (Watt)

P_{noise} = daya noise (Watt)

Pada konverter A/D yang ideal, *error* hanya terjadi pada kuantisasi (*noise* kuantisasi). *Noise* kuantisasi atau *error* kuantisasi merupakan selisih antara sinyal cuplikan x(n) dan sinyal keluaran $x_q(n)$ yang terkuantisasi. *Noise* kuantisasi diilustrasikan seperti pada Gambar (2.22).



Gambar 2.22 Ilustrasi Kuantisasi

Pada Gambar (2.22), besaran e menunjukkan *error* kuantisasi yang sesuai dengan $e(n) = x(n) - x_q(n)$. *Error* kuantisasi ini dapat dianggap sebagai besaran yang acak (random) atau sebagai noise putih (*white noise*). Daya *noise* kuantisasi (P_Q) pada pencuplikan *Nyquist* diberikan dengan :

$$P_{Q\,(Nyquist)} = \frac{1}{\Delta}\int_{-\frac{\Delta}{2}}^{\frac{\Delta}{2}} e^2.de = \frac{\Delta^2}{12} \qquad (Volt^2) \tag{14}$$

Dimana :

PQ (*Nyquist*) = Daya *noise* kuantisasi pada laju *Nyquist*

Δ = Interval kuantisasi (1 LSB)

Vsp = Tegangan Maksimum

e = *error* kuantisasi (*noise* kuantisasi)

Dari Persamaan (40) dapat dilihat bahwa *noise* kuantisasi dipengaruhi oleh *interval* kuantisasi (Δ). Jika laju pencuplikan (fs) semakin tinggi maka *interval* kuantisasi akan semakin kecil. Dengan demikian daya *noise* kuantisasi akan didistribusikan pada daerah yang lebih banyak.

Untuk ADC yang ideal, SNR dirumuskan dengan :

$$SNRmax = 10\log\left(\frac{Ps}{Pq}\right)\ dB \tag{15}$$

Dimana :

Ps = Daya sinyal sinusoidal skala penuh

Pq = Daya *noise*

Untuk konverter A/D yang bekerja pada laju *Nyquist* ($f_s = 2.f_m$), maka SNR maksimum ADC tersebut adalah :

$$SNRmaks = 6{,}02\ N + 1{,}76\ dB \quad (16)$$

Dimana :

SNRmaks = SNR maksimum (ADC ideal)

N = resolusi bit

2.12 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan papan mikrokontroler berbasiskan ATmega2560 (*datasheet* ATmega2560). Arduino Mega2560 memiliki 54 pin digital *input/output*, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM, 16 pin sebagai *input* analog, dan 4 pin sebagai UART (*port serial hardware*), 16 MHz kristal osilator, koneksi USB, *jack power*, *header* ICSP, dan tombol *reset*. Ini semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau *power* dihubungkan dengan *adaptor* AC-DC atau batere untuk mulai mengaktifkannya. Arduino Mega2560 adalah versi terbaru yang menggantikan versi Arduino Mega. Adapun spesifikasi dari mikrokontroler ATMega 2560 ini adalah sebagai berikut :

a. Saluran I/O sebanyak 54 buah yaitu *port A, port B, port C,* dan *port D*
b. ADC 10 bit sebanyak 8 saluran.
c. 13µs - 260µs Waktu konversi
d. Kecepatan transfer data sampai 400 kHz

e. 16 MHz kristal osilator

f. 15 *pin* sebagai *output* PWM

g. 16 *pin* sebagai *input* analog

h. 4 *pin* sebagai UART (*port serial hardware*)

i. Koneksi USB

j. Tegangan Operasi 5V

k. *Input Voltage* (disarankan) 7-12V

l. Arus DC per pin I/O 40 mA

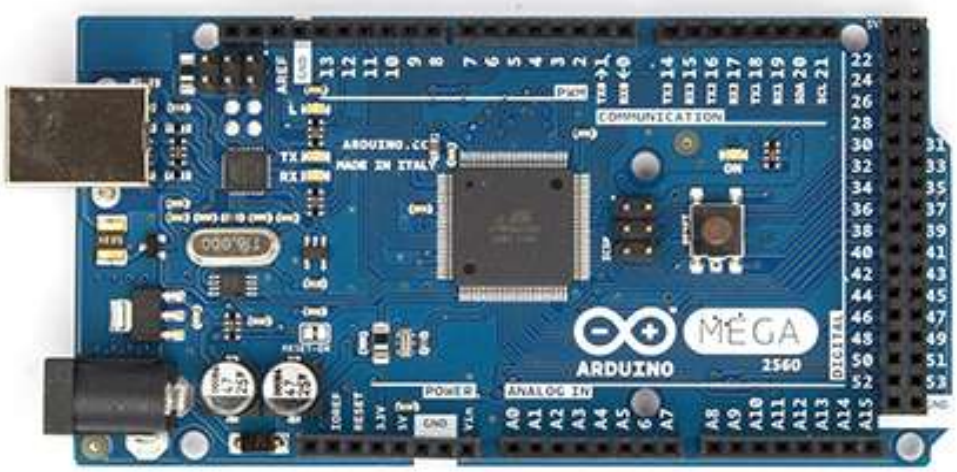
m. *Flash Memory* 256 KB (8 KB digunakan untuk *bootloader*)

n. SRAM 8 KB

o. EEPROM 4 KB

p. *Clock Speed* 16 MHz

Papan Arduino ATmega 2560 dapat beroperasi dengan pasokan daya eksternal 6 Volt sampai 20 volt. Jika diberi tegangan kurang dari 7 Volt, maka *pin* 5 Volt mungkin akan menghasilkan tegangan kurang dari 5 Volt dan ini akan membuat papan menjadi tidak stabil. Jika sumber tegangan menggunakan lebih dari 12 Volt, regulator tegangan akan mengalami panas berlebihan dan bisa merusak papan. Rentang sumber tegangan yang dianjurkan adalah 7 Volt sampai 12 Volt.



Gambar 2.23 Arduino Mega 2560 R3 Bagian Depan

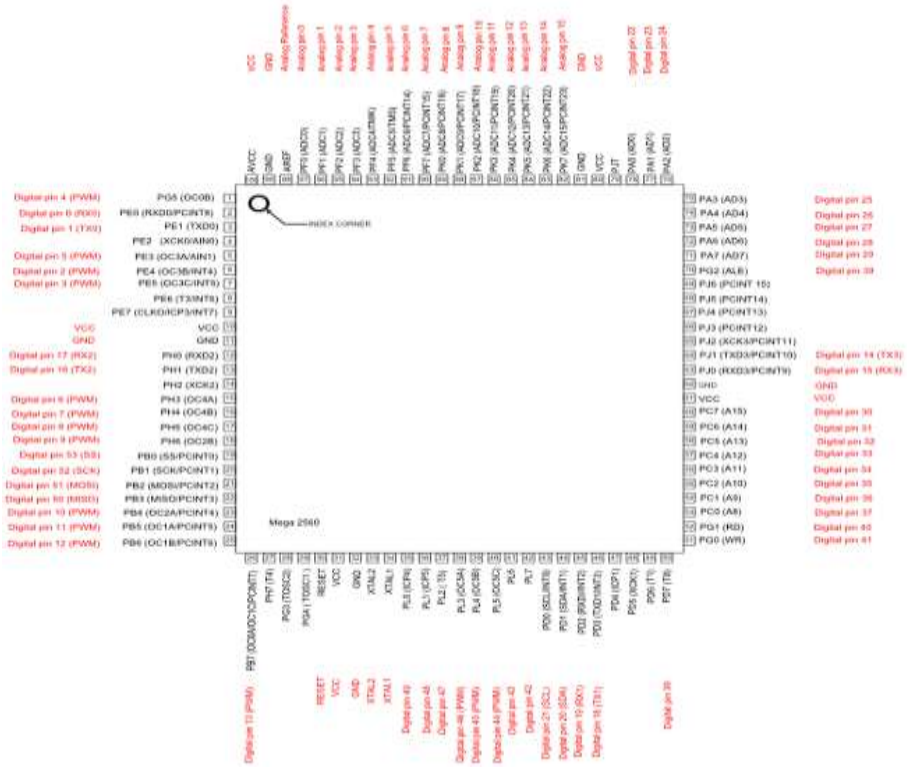
Pin tegangan yang tersedia pada papan Arduino adalah sebagai berikut :

1. **VIN** : Adalah *input* tegangan untuk papan Arduino ketika menggunakan sumber daya eksternal. Dan dapat memberikan tegangan melalui *pin* ini, atau jika memasok tegangan untuk papan melalui *jack power*, bisa mengakses/mengambil tegangan melalui pin ini.
2. **5V** : Sebuah *pin* yang mengeluarkan tegangan 5 Volt, dari *pin* ini tegangan sudah diatur dari *regulator* yang tersedia (*built-in*) pada papan. Arduino dapat diaktifkan dengan sumber daya baik berasal dari *jack power* DC (7-12 Volt), konektor USB (5 Volt), atau pin VIN pada *board* (7-12 Volt).

3. **3V3** : Sebuah *pin* yang menghasilkan tegangan 3,3 Volt. Tegangan ini dihasilkan oleh *regulator* yang terdapat pada papan (*on-board*). Arus maksimum yang dihasilkan adalah 50 mA.

4. **GND** : *Pin Ground* atau Massa.

5. **IOREF** : *Pin* ini pada papan Arduino berfungsi untuk memberikan referensi tegangan yang beroperasi pada mikrokontroler. Sebuah perisai (*shield*) dikonfigurasi dengan benar untuk dapat membaca pin tegangan IOREF dan memilih sumber daya yang tepat atau mengaktifkan penerjemah tegangan pada *output* untuk bekerja pada tegangan 5 Volt atau 3,3 Volt.

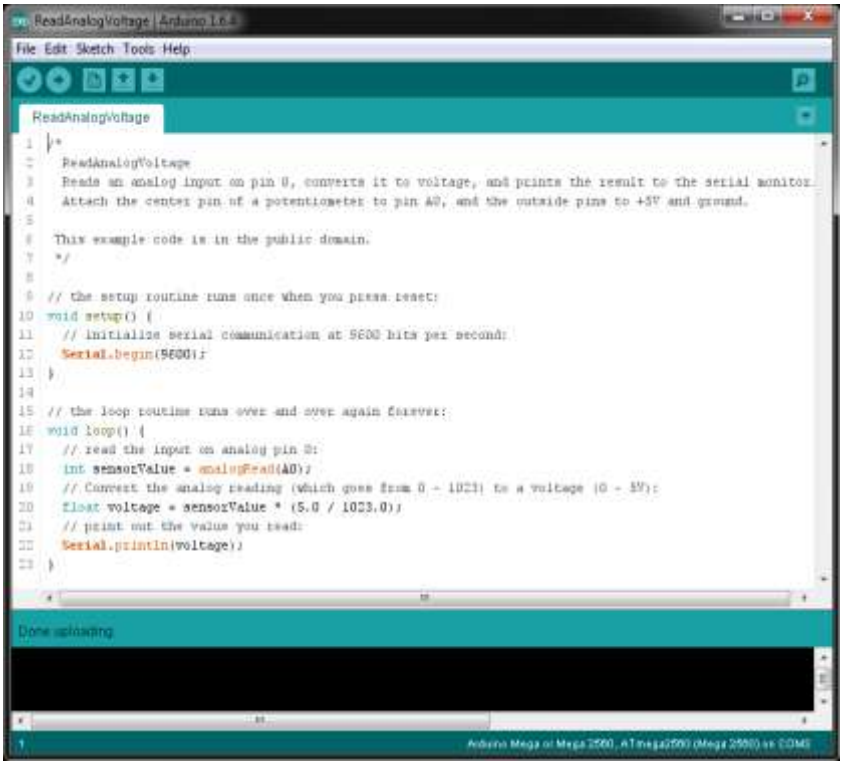


Gambar 2.24 Pemetaan pin ATmega2560

2.13 Pemrograman

2.13.1 *Software* Arduino

Arduino Mega dapat diprogram dengan *software* Arduino. ATmega 2560 pada Arduino Mega sudah tersedia *preburned* dengan *bootloader* yang memungkinkan anda untuk meng-*upload* kode baru tanpa menggunakan *programmer hardware* eksternal. Hal ini karena komunikasi yang terjadi menggunakan protokol asli STK500. Juga dapat melewati *bootloader* dan program mikrokontroler melalui pin header ICSP (*In-Circuit Serial Programming*).



Gambar 2.25 *Sketch* kode program Arduino

Sesuai pada sketsa arduino dari Gambar 2.25, dibawah ini adalah *listing* programnya

```
  ReadAnalogVoltage

// the setup routine runs once when you press reset:

void setup() {

  // initialize serial communication at 9600 bits per second:

Serial.begin(9600);}

// the loop routine runs over and over again forever:

void loop()

 {// read the input on analog pin 0:

int sensorValue = analogRead(A0);

  // Convert the analog reading (which goes from 0 - 1023) to a voltage (0 - 5V):

float voltage = sensorValue * (5.0 / 1023.0);

  // print out the value you read:

Serial.println(voltage); }
```

Lingkungan *open-source* Arduino memudahkan untuk menulis kode dan *upload* ke *board* Arduino. Ini berjalan pada *Windows*, Mac OS X, dan Linux. Berdasarkan pengolahan, avr-gcc, dan perangkat lunak sumber terbuka lainnya. Arduino

menggunakan pemrograman dengan bahasa C. Berikut ini adalah beberapa penjelasan mengenai karakter bahasa C dan *software* Arduino.

a. Struktur

Setiap program Arduino (biasa disebut *sketch*) mempunyai dua buah fungsi yang harus ada.

1. Void *setup*( ) { }

   Semua kode didalam kurung kurawal akan dijalankan hanya satu kali ketika program Arduino dijalankan untuk pertama kalinya.

2. Void *loop*( ) { }

   Fungsi ini akan dijalankan setelah *setup* (fungsi void *setup*) selesai. Setelah dijalankan satu kali fungsi ini akan dijalankan lagi, dan lagi secara terus secara terus menerus sampai catu daya (*power*) dilepaskan.

b. Syntax

Berikut ini adalah elemen bahasa C yang dibutuhkan untuk format penulisan.

1. //(komentar satu baris)

   Kadang diperlukan untuk member catatan pada diri sendiri apa arti dari kode-kode yang dituliskan. Cukup menuliskan dua buah garis miring dan apapun yang kita ketikkan dibelakangnya akan diabaikan oleh program.

2. **/* */**(komentar banyak baris)

   Jika terdapat banyak catatan, maka hal itu dapat dituliskan pada beberapa baris sebagai komentar. Semua hal yang terletak di antara dua simbol tersebut akan diabaikan oleh program.

3. **{ }**(kurung kurawal)

   Digunakan untuk mendefinisikan kapan blok program mulai dan berakhir (digunakan juga pada fungsi dan pengulangan).

4. **;**(titk koma)

   Setiap baris kode harus diakhiri dengan tanda titik koma (jika ada titik koma yang hilang maka program tidak akan bisa dijalankan).

c. Variabel

Sebuah program secara garis besar dapat didefinisikan sebagai instruksi untuk memindahkan angka dengan cara yang cerdas. Variabel inilah yang digunakan untuk memindahkannya.

1. **int** (*integer*)

   Digunakan untuk menyimpan angka dalam 2 byte (16 bit). Tidak mempunyai angka desimal dan menyimpan nilai dari -32,768 dan 32,767.

2. **long** (*long*)

   Digunakan ketika *integer* tidak mencukupi lagi. Memakai 4 byte (32 bit) dari memori (RAM) dan mempunyai rentang dari -2,147,483,648 dan 2,147,483,647.

3. **boolean** (boolean)

   Variabel sederhana yang digunakan untuk menyimpan nilai *TRUE* (benar) atau *FALSE* (salah). Sangat berguna karena hanya menggunakan 1 bit dari RAM.

4. **float** (*float*)

   Digunakan untuk angka desimal (*floating point*). Memakai 4 byte (32 bit) dari RAM dan mempunyai rentang dari -3.4028235E+38 dan 3.4028235E+38.

5. **char** (*character*)

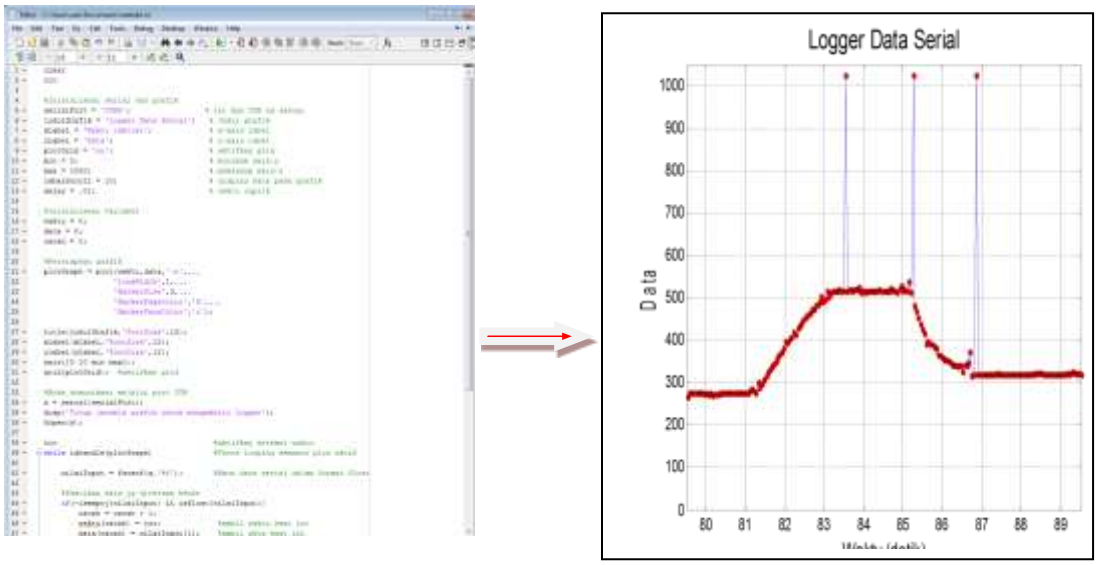
   Menyimpan 1 karakter menggunakan kode ASCII (misalnya 'A' = 65). Hanya memakai 1 byte (8 bit) dari RAM.

Jadi, pada sisi program arduino berfungsi untuk membaca tegangan ADC dan memprosesnya dengan pengaturan sketsa program yang sudah disebutkan kemudian dapat mengirimkan data *baudrate* 9600, maksudnya kecepatan data yang dikirim 9600 *bit per second*. Sketsa yang ditulis pertama adalah *syntax* berupa komentar supaya ada keterangan dalam program. Kemudian dimasukkan struktur void *setup* untuk inisialisasi kode yang akan dijalankan. Setelah itu membuat struktur *void loop* sebagai program pengulangan untuk memanggil kode inisialisasi yang terdapat di *void setup*. Didalam *void loop* terdapat program untuk pembacaan ADC atau bisa dilihat *list program* arduino dan juga terdapat kode program untuk mengubah dari tegangan analog menjadi digital.

2.13.2 *Software* Matlab

Matlab adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman metematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matrix. MATLAB (*Matrix Laboratory*) merupakan bahasa pemrograman tingkat berbasis pada *matrix* sering digunakan untuk teknik komputasi numerik, yang digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika elemen, matrik, optimasi, aproksimasi dan lain-lain. Sehingga Matlab banyak digunakan pada matematika dan komputasi, pengembangandan algoritma, pemrograman modeling, simulasidan pembuatan prototipe, analisis data dan visualisasi serta analisis numerik dan statistik.

Software matlab digunakan untuk dapat menggambarkan akuisisi data secara visual berupa gambar grafik 2 dimensi atau 3 dimensi. Seluruh data yang masuk pada arduino akan dikontrol kemudian diproses di matlab lalu ditampilkan pada komputer. Program matlab tersebut harus bisa berkomunikasi dengan arduino agar dapat membaca nilai sensor ADC, maka perlu menseting *syntax* pada program matlab.



Gambar 2.26 Program matlab menampilkan *data logger*

Pada bagian matlab beberapa *syntax* dan variabel yang harus diedit agar dapat mengenali perangkat keras arduino, berikut sketsa programnya.

```
clear
clc

%Inisialisasi serial dan grafik
serialPort = 'COM3';                    % isi dgn COM yg sesuai
judulGrafik = 'Logger Data Serial';      % Judul grafik
xLabel = 'Waktu (detik)';                % x-axis label
yLabel = 'Data';                         % y-axis label
plotGrid = 'on';                         % aktifkan grid
min = 0;                                 % minimum axis-y
max = 1050;                              % maksimum axis-y
lebarScroll = 10;                        % display data pada grafik
delay = .01;                             % waktu cuplik

%Inisialisasi variabel
waktu = 0;
data = 0;
cacah = 0;

%Persiapkan grafik
plotGraph = plot(waktu,data,'-o',...
'LineWidth',1,...
'MarkerSize',3,...
'MarkerEdgeColor','k',...
```

```
'MarkerFaceColor','r');

title(judulGrafik,'FontSize',15);
xlabel(xLabel,'FontSize',12);
ylabel(yLabel,'FontSize',12);
axis([0 10 min max]);
grid(plotGrid);  %aktifkan grid

%Buka komunikasi melalui port COM
s = serial(serialPort);
disp('Tutup jendela grafik untuk mengakhiri logger');
fopen(s);

tic                                     %aktifkan deteksi waktu
while ishandle(plotGraph)               %Terus looping semasih
plot aktif

    nilaiInput = fscanf(s,'%f');        %Baca data serial dalam
format float

%Pastikan data yg diterima benar
if(~isempty(nilaiInput) && isfloat(nilaiInput))
        cacah = cacah + 1;
        waktu(cacah) = toc;              %ambil waktu saat ini
        data(cacah) = nilaiInput(1);     %ambil data saat ini

%Set Axis sesuai dengan nilai lebarScroll
if(lebarScroll > 0)
        set(plotGraph,'XData',waktu(waktu > waktu(cacah)-
lebarScroll), ...
'YData',data(waktu > waktu(cacah)-lebarScroll));
        axis([waktu(cacah)-lebarScroll waktu(cacah) min max]);
else
        set(plotGraph,'XData',waktu,'YData',data);
        axis([0 waktu(cacah) min max]);
end

%Beri waktu sesaat utk Update Plot
        pause(delay);
end
end

% Tutup serial port dan delete variabel yg sudah terpakai
fclose(s);
clear all;
disp('Logger berakhir...');
```

Beberapa bagian dari Window Matlab

1. ***Current Directory***

   Window ini menampilkan isi dari direktori kerja saat menggunakan matlab. Dan dapat mengganti direktori ini sesuai dengan tempat direktori kerja yang diinginkan. *Default* dari alamat direktori berada dalam *folder works* tempat program *files* Matlab berada.

2. ***Command History***

   Window ini berfungsi untuk menyimpan perintah-perintah apa saja yang sebelumnya dilakukanoleh pengguna terhadap matlab.

3. ***Command Window***

   Window ini adalah *window* utama dari Matlab. Disini adalah tempat untuk menjalankan fungsi, mendeklarasikan *variable*, menjalankan proses-proses , serta melihat isi *variable*.

4. ***Workspace***

   Workspace berfungsi untuk menampilkan seluruh variabel-variabel yang sedang aktif pada saat pemakaian matlab. Apabila variabel berupa data matriks berukuran besar maka *user* dapat melihat isi dari seluruh data dengan melakukan *double* klik pada variabel tersebut. Matlab secara otomatis akan menampilkan *window "array editor*" yang berisikan data pada setiap variabel yang dipilih *user*.

Softare Matlab memiliki empat macam statement yang dapat digunakan untuk mengatur aliran data pada fungsi yang akan dibuat antara lain sebagai berikut :

1. If, Else, Elseif

Bentuk dasar penggunaan *statement* jenis ini adalah sebagai berikut :

```
if ekspresi1
statements1;
elseif ekspresi2
statements2;
else
statements3;
end
```

2. Switch

Bentuk dasar penggunaan *statement switch*

```
switch switch_ekspresi
case case_ekspresi1
statement1
case case_ekspresi2
statement2
...
otherwise
statementN
end
```

3. while

Statement while digunakan untuk aliran data yang bersifat perulangan.
Bentuk dasar penggunaan *while*

```
while ekspresi
statements
...
End
```

4. for

Bentuk dasar penggunaan bentuk *for* :

```
for index = start:increment:stop
statement
...
statement
end
```

2.14 Komunikasi

Arduino Mega2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer dan Arduino lain atau dengan mikrokontroler lainnya. Arduino ATmega328 menyediakan 4 *hardware* komunikasi serial UART TTL (5 Volt). Sebuah chip ATmega16U2 (ATmega8U2 pada papan Revisi 1 dan Revisi 2) yang terdapat pada papan digunakan sebagai media komunikasi serial melalui USB dan muncul sebagai COM *Port Virtual* (pada *Device* komputer) untuk berkomunikasi dengan perangkat lunak pada komputer, untuk sistem operasi Windows masih tetap memerlukan file inf, tetapi untuk sistem operasi OS X dan Linux akan mengenali papan sebagai *port* COM secara otomatis. Perangkat lunak Arduino termasuk didalamnya serial monitor memungkinkan data tekstual sederhana dikirim ke dan dari papan Arduino. LED RX dan TX yang tersedia pada papan akan berkedip ketika data sedang dikirim atau diterima melalui chip USB-*to-serial* yang terhubung melalui USB komputer (tetapi tidak untuk komunikasi serial seperti pada pin 0 dan 1).

Sebuah perpustakaan *Software* Serial memungkinkan untuk komunikasi serial pada salah satu pin digital Mega2560. ATmega2560 juga mendukung komunikasi TWI dan SPI. Perangkat lunak Arduino termasuk perpustakaan *Wire* digunakan untuk menyederhanakan penggunaan bus TWI. Untuk komunikasi SPI, menggunakan perpustakaan SPI.

2.15 Komputer (*Central Prosessing Unit*)

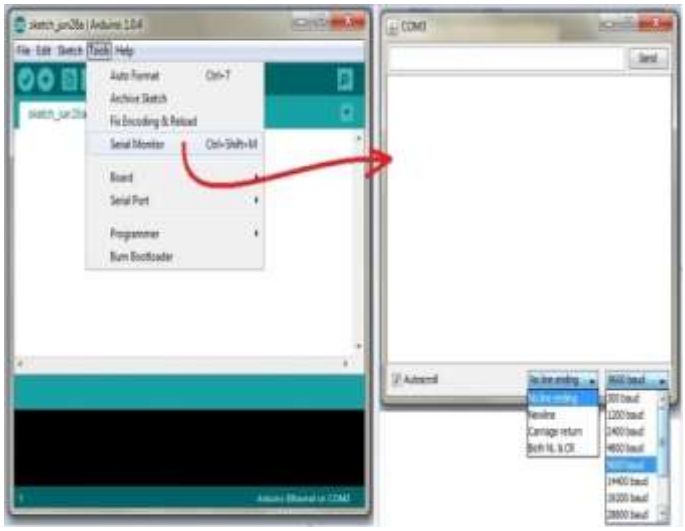
Pengertian komputer secara umum adalah alat yang dipakai untuk mengolah data menurut prosedur yang telah dirumuskan. Komputer merupakan perangkat elektronik yang terdiri dari beberapa komponen yang saling bekerja sama membentuk sebuah sistem kerja yang dapat menjalankan pekerjaan secara otomatis berdasarkan urutan instruksi ataupun program yang diberikan kepadanya, sehingga dapat menghasilkan suatu informasi berdasarkan program dan data.

Adapun perangkat ataupun komponen dari pemaparan pengertian komputer yang dimasudkan terdiri alat masukan (*input*) seperti *keyboard*, *mouse*, *scanner* kemudian perangkat alat pemrosesan yang berpusat pada CPU (*central processing unit*) dan alat keluaran (*output*) seperti layar monitor, printer dan lain-lain agar pengguna dapat melihat hasil dari pemrosesan data pada sebuah komputer.

CPU berfungsi seperti kalkulator, hanya saja CPU jauh lebih kuat daya pemrosesannya.Fungsi utama dari CPU adalah melakukan operasi aritmatika dan logika terhadap data yang diambil dari memori atau dari informasi yang dimasukkan melalui beberapa perangkat keras, CPU dikontrol menggunakan sekumpulan instruksi perangkat lunak komputer. Instruksi-instruksi tersebut kemudian disimpan terlebih dahulu pada memori fisik (RAM), yang mana setiap instruksi akan diberi alamat unik yang disebut alamat memori. Selanjutnya, CPU dapat mengakses data-data pada RAM dengan menentukan alamat data yang dikehendaki.

2.16 Serial Monitor

Untuk mengirim data dari arduino ke PC dan menerima data dari PC kita bisa menggunakan berbagai cara, salah satunya yg paling sederhana adalah komunikasi serial yang terdapat pada setiap *board* Arduino. Perlu diketahui, pemrograman *sketch* arduino menggunakan gaya bahasa C tapi pada pembuatan *library*nya menggunakan C++ yang menerapkan pemrograman Objek (*Class*). Pemrograman kode arduino (*sketch*) untuk komunikasi serial menjadi mudah karena fungsi-fungsi sudah tersedia dalam *class* yang tersedia untuk komunikasi serial. *Instance* dari *class* untuk komunikasi serial (objek) sudah dibuatkan namanya Serial. Untuk arduino yang mempunyai lebih dari 1 port serial misal arduino mega2560 nama objek untuk komunikasi serialnya adalah Serial1, Serial2, Serial3.



Gambar 2.27 Tampilan serial monitor

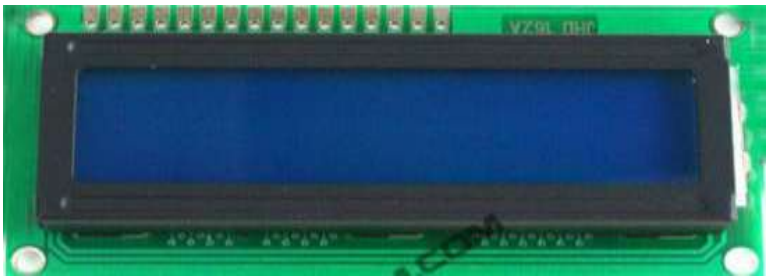
Serial Monitor digunakan untuk mentransfer data dari PC ke Arduino *board* dan menerima data dari arduino *board*. Selain dengan *tool* serial monitor yang terdapat pada IDE arduino juga bisa menggunakan *tool* serial lainya seperti *hyperterminal*, *putty* dan lain-lain untuk mengirim dan menerima data pada komputer.

2.17 LCD

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD sudah digunakan diberbagai bidang misalnya alal–alat elektronik seperti televisi, kalkulator, ataupun layar komputer.

Display LCD sebuah *liquid crystal* atau perangkat elektronik yang dapat digunakan untuk menampilkan angka atau teks. Ada dua jenis utama layar LCD yang dapat menampilkan numerik (digunakan dalam jam tangan dan kalkulator) dan menampilkan teks *alfanumerik* (sering digunakan pada mesin foto kopi dan telepon genggam). Dalam menampilkan numerik ini kristal yang dibentuk menjadi bar, dan dalam menampilkan *alfanumerik* kristal hanya diatur kedalam pola titik. Setiap kristal memiliki sambungan listrik individu sehingga dapat dikontrol secara independen. Ketika kristal *off*' (yakni tidak ada arus yang melalui kristal) cahaya kristal terlihat sama dengan bahan latar belakangnya, sehingga kristal tidak dapat terlihat. Namun ketika arus listrik melewati kristal, itu akan merubah bentuk dan menyerap lebih banyak cahaya. Hal ini membuat kristal terlihat lebih gelap dari penglihatan mata manusia sehingga bentuk titik atau bar dapat dilihat dari perbedaan latar belakang. Sangat penting untuk menyadari perbedaan antara layar LCD dan layar LED. Sebuah

LED *display* (sering digunakan dalam radio jam) terdiri dari sejumlah LED yang benar-benar mengeluarkan cahaya (dan dapat dilihat dalam gelap). Sebuah layar LCD hanya mencerminkan cahaya, sehingga tidak dapat dilihat dalam gelap. LMB162A adalah modul LCD matrix dengan konfigurasi 16 karakter dan 2 baris dengan setiap karakternya dibentuk oleh 8 baris *pixel* dan 5 kolom *pixel* (1 baris terakhir adalah kursor). Memori LCD terdiri dari 9.920 bir CGROM, 64 byte CGRAM dan 80x8 bit DDRAM yang diatur pengalamatannya oleh *Address Counter* dan akses datanya (pembacaan maupun penulisan datanya) dilakukan melalui register data.



Gambar 2.28 LCD 16 x 2 *character*

Klasifikasi LED *Display 16x2 Character*

a. 16 karakter x 2 baris

b. 5x7 titik *Matrix* karakter + kursor

c. HD44780 *Equivalent* LCD *controller/driver Built-In*

d. 4-bit atau 8-bit MPU *Interface*

e. Tipe standar

f. Bekerja hampir dengan semua Mikrokontroler.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Digital Lab Terpadu Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang dilaksanakan mulai dari bulan Juli 2015 sampai Januari 2016.

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini diperlukan beberapa alat dan bahan yang mendukung berjalannya kegiatan penelitian antara lain yaitu :

1. Sensor ECVT
2. Rangkaian *Multiplexer*
3. Alat Pengkondisi Sinyal
4. Arduino Mega 2560
5. Rangkaian *Programmable Gain Amplifier* (PGA)
6. 1 *Unit* CPU
7. Kabel *Port* USB
8. *Software* Matlab2011a
9. *Software Comsol Multiphysic 3*

3.3 Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Menggunakan Mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebagai pengendali utama yang dapat membaca tegangan analog menjadi sinyal digital dan dapat menampilkan akuisisi data ke komputer.
b. Menggunakan 1 *unit* CPU (komputer/Laptop) untuk menampilkan data dari perangkat Arduino mega 2560 dan dapat membuat/mengedit program Arduino.
c. Menggunakan rangkaian *Programmable Gain Amplifier* (PGA).
d. Menggunakan *Software* Matlab 2011a sebagai komunikasi data dalam bentuk grafik.
e. Menggunakan *software* comsol *multiphysic* 3.5.

3.4 Metode Penelitian

Penelitian yang dilakukan dapat diselesaikan melalui beberapa tahapan-tahapan pelaksanaan yaitu :

3.4.1 Studi literatur

Studi literatur yang dimaksud adalah untuk mempelajari dari berbagai sumber referensi (buku, jurnal, dan internet) yang berkaitan dengan pembuatan alat. Literatur yang dipelajari adalah literatur yang berkaitan dengan :

- Prinsip kerja ECVT
- Teori Kapasitansi
- Perancangan sensor ECVT

- Pengkondisi sinyal
- *Programmable Gain Amplifier* (PGA)
- Sistem akuisisi data pada ECVT menggunakan Arduino Mega2560
- Prinsip kerja ADC
- Pemrograman Arduino dan Matlab

3.4.2 Implementasi rangkaian sistem

Implementasi rangkaian sistem dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

- Merancang dan mensimulasikan desain sistem.
- Menentukan rangkaian dari masing-masing blok diagram yang ada.
- Memilih komponen yang sesuai untuk setiap rangkaian.
- Merangkai dan melakukan pengujian terhadap rangkaian yang telah dibuat pada masing-masing blok diagram.
- Menggabungkan rangkaian per-blok yang telah diuji pada sebuah papan percobaan (*project board*), melakukan pengujian ulang setelah dilakukan penggabungan rangkaian.
- Merangkai semua rangkaian yang telah dibuat dan dinyatakan berhasil ke dalam sebuah PCB.

3.4.3 Pengujian Alat dan Sistem

Pengujian alat dan sistem dilakukan untuk mengetahui hasil data dari alat yang dibuat. Pengujian alat dan sistem dilakukan secara bertahap dari pengujian

komponen/alat yang dilakukan di dalam laboratorium. Pengujian di Laboratorium dilakukan untuk menguji coba perangkat yang dapat berfungsi dengan baik atau tidak sebelum dilakukanya pengujian untuk pengambilan data. Pengujian yang di lakukan di laboratorium ini antara lain :

1. Pengujian *Hardware*

   Pada pengujian komponen *hardware* dilakukan untuk mengurangi terjadinya *error* yang disebabkan pemasangan maupun tidak bekerjanya perangkat tersebut. Pengujian ini dirangkai sesuai dengan masukan tegangan analog menggunakan potensiometer atau menggunakan sensor ECVT yang dapat diubah-ubah nilainya sehingga pada sisi *software* dapat ditampilkan data.

2. Pengujian pada *software* Arduino

   Pengujian*software* arduino mega 2560 dilakukan untuk mengontrol *input* ADC dari potensiometer kemudian memprosesnya menjadi data lalu mengirimkan ke komputer melalui serial monitor.

3. Pengujian Tampilan Serial Monitor

   Pengujian ini merupakan bagian dari jendela arduino sebagai tampilan. *Software* jendela tersebut dilakukan untuk mengetahui data yang masuk dan diterima dari perangkat mikrokontroler ke komputer dengan kecepatan transfer data yang baik.

4. Pengujian *Software* Matlab

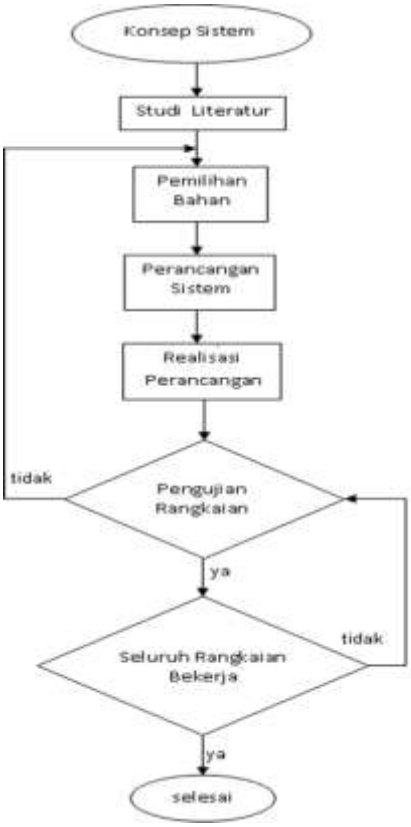
   Pengujian pada *software* matlab dengan menampilkan *data logger* dari arduino dalam bentuk garfik. Maka dari itu, perlu mengubah *syntax* pada program matlab sesuai serial COM arduino.

3.4.4 Analisa dan Kesimpulan

Analisis dilakukan dari perolehan data yang di dapat saat melakukan pengujian, baik pada saat pengujian di laboratorium dengan *hardware* maupun *software* dan pengujian pengambilan data secara keseluruhan. Analisa dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem sehingga didapatkan kesimpulan dari penelitian.

3.4.5 Pembuatan Laporan

Akhir dari penelitian ini adalah pembuatan laporan dari semua kegiatan yang dilakukan.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Gambar 3.1 merupakan alur dan tahapan penelitian yang dilakukan mulai dari awal penelitian hingga selesai.

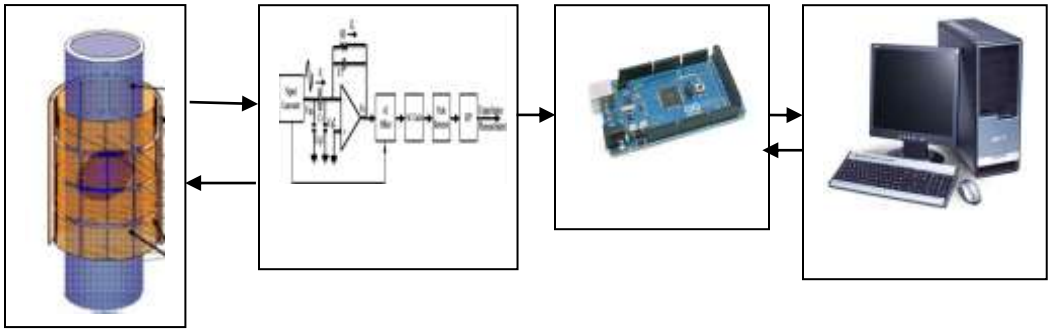
3.5 Perancangan Sistem Akuisisi Data

Pada tahapan ini dilakukan perancangan alat secara keseluruhan dengan membuat sistem pembacaan tegangan analog (ADC) yang dapat diubah-ubah dengan komponen potensiometer 50 K Ohm. Tegangan ADC tersebut diprogram menggunakan Arduino Mega 2560 untuk membuat data yang akan ditampilkan.

3.5.1 Akuisisi Data dengan Arduino Mega2560

Pada perancangan perangkat yang dapat menampilkan akuisisi data menggunakan arduino mega 2560 ini akan diterapkan pada alat sensor ECVT (*Electrical Capacitance Volume Tomography*) sebagai kontrol utama untuk mengolah sinyal input. Perangkat yang dibuat tersebut dapat mengatur beberapa *input* digital yang berasal dari rangkaian *multiplexer* yang mana merupakan termasuk bagian dari alat ECVT guna mengatur mekanisme *Channe*l yang banyak pada alat tersebut. Perangkat menggunakan arduino mega 2560 ini dipilih karena memilik banyak *input/output pin* digital dan analog serta memiliki kapasitas *memory* yang cukup besar dengan kecepatan *clock* sebesar 16 MHz. Hal tersebut sangat dibutuhkan untuk keperluan proyek yang memliki tingkat kerumitan yang tinggi. Pada perancangan sistem akuisisi data sensor ECVT terdapat beberapa komponen utama salah satunya adalah

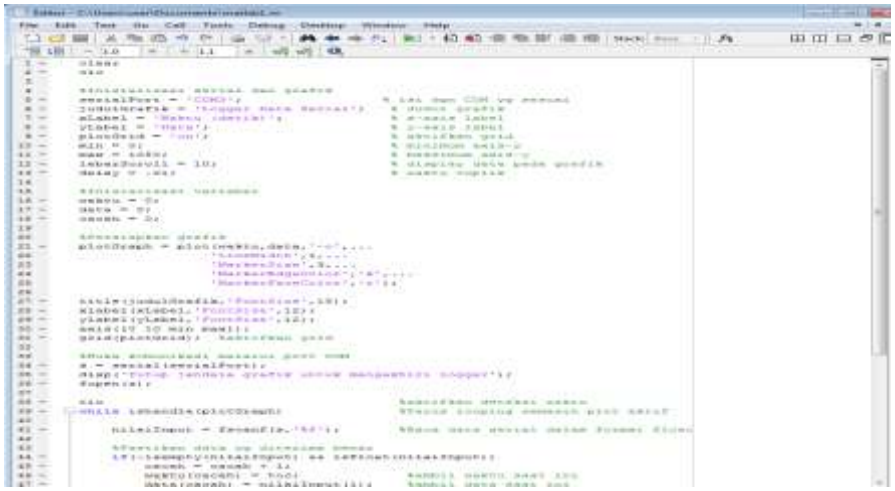
Board Arduino mega2560, komponen Potensiometer 50K Ohm, kabel USB dan 1 *unit* komputer/Laptop.



Gambar 3.2 Desain Perangkat keras Arduino mega2560

Pada Gambar 3.2 diatas terlihat 4 buah blok sistem untuk akuisisi data sensor. Gambar yang paling kiri adalah sensor ECVT sebagai alat pendeteksi nilai kapasitansi lalu disampingnya lagi adalah pengkondisi sinyal sebagai penyaring sinyal DC murni sekaligus penguat sinyal ECVT, kemudian sebelah kiri lagi *board* Arduino mega2560 sebagai *Hardware input* ADC dan komunikasi data, kemudian gambar sebelahnya adalah perangkat komputer sebagai media untuk menampilkan data. Pada program matlab menampilkan grafik data *logger* dari sinyal arduino. Berikut adalah gambar kode pemrograman pada matlab 2011a yang sudah berkomunikasi dengan arduino mega2560.

3.5.2 Pemrograman menggunakan Matlab



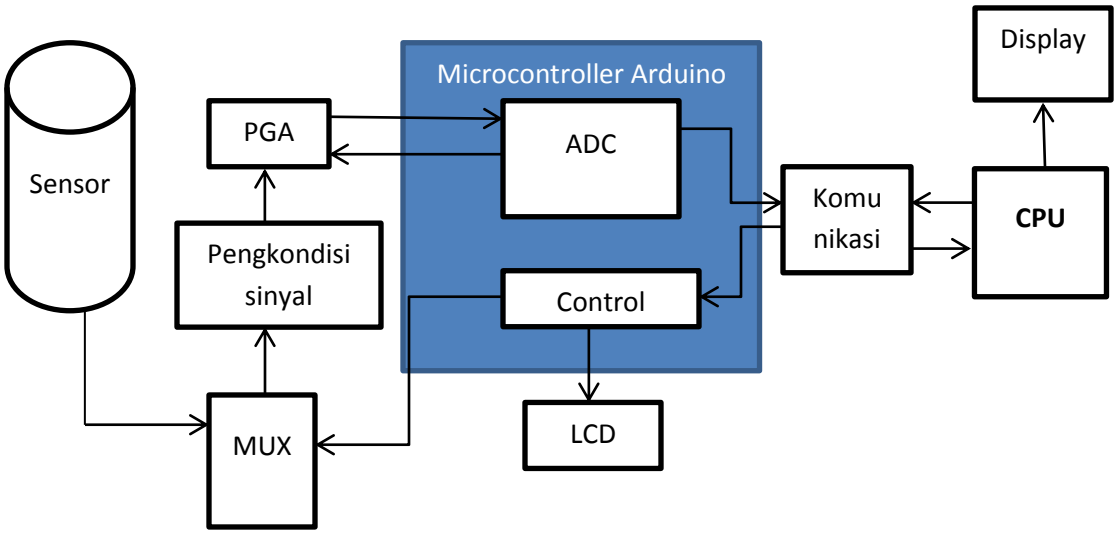
Gambar 3.3 *Source code* matlab

Pada sketsa program matlab Gambar 3.3 *Source code* matlab diatas telah dibuat *syntax* program untuk dapat saling berkomunikasi antara matlab dengan arduino sehingga data dari sensor dapat dibaca dengan cepat. Program tersebut dirancang untuk bisa saling berkomunikasi dan bisa membuat data akuisisi menjadi data grafik agar mudah untuk dipahami dan dianalisa. Untuk dapat saling berkomunkasi antara arduino dan matlab perlu diubah pada *syntax* berikut :

```
%Inisialisasi serial dan grafik
serialPort = 'COM3';                  % isi dgn COM yg sesuai
judulGrafik = 'Logger Data Serial';    % Judul grafik
xLabel = 'Waktu (detik)';              % x-axis label
yLabel = 'Data';                       % y-axis label
plotGrid = 'on';                       % aktifkan grid
```

Pada tulisan serial *port* diubah serial COMnya sesuai serial *port* arduino yakni COM3.Dengan ini matlab dapat membaca data dari arduino beserta *data logger* dari keduanya kemudian data yang diterima di matlab bisa dibuat gambar grafiknya sesuai data ADC dari arduino. Kemudian ada *logger* data serial untuk memberikan keterangan pada tampilan *figure* di matlab. X label menunjukkan nilai waktu yang akan ditampilkan, lalu y label menunjukkan data yang terbaca di arduino.

3.5.3 Cara Kerja Sistem Komunikasi Data / Akuisisi Data



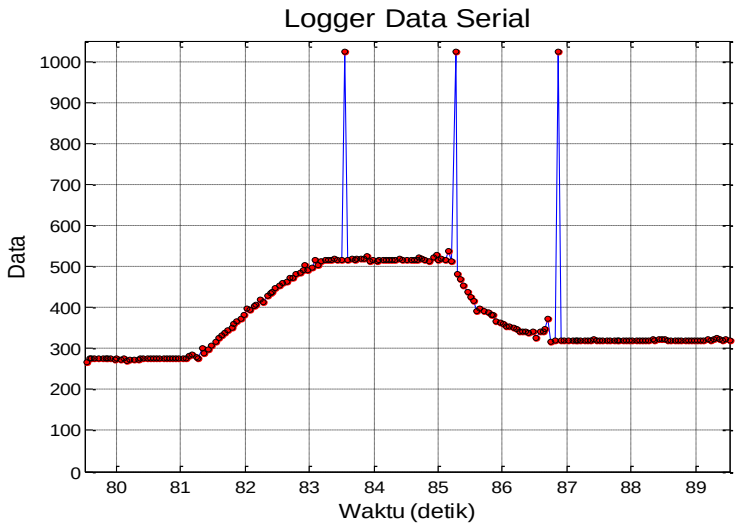
Gambar 3.4 Blok Diagram perancangan sistem Akuisisi data ECVT Arduino

Bahwa pada Gambar 3.4 merupakan Blok diagram dari Komunikasi data serial yang akan ditampilkan ke komputer. Pada saat semua perangkat dihidupkan, sensor ECVT telah siap menerima respon dari luar. Dengan keadaan kosong misalnya, *output* dari sensor ECVT sudah mengeluarkan tegangan *output*. Mengingat banyaknya elektroda dari sensor ECVT, maka pada alat ini menggunakan rangkaian multiplexer dengan

relay maupun IC SMD guna mempermudah dalam memilih *output* yang akan diteruskan ke pengkondisi sinyal. Pengontrolan saklar *relay multiplexer* diatur melalui program *microcontroller* Arduino mega dengan mengubah kecepatan saklar sesuai kebutuhan. Setelah itu, pengkondisi sinyal menerima sinyal Rx kemudian diolah dan difilter menjadi sinyal DC murni. Hasil dari *output* pengkondisi sinyal masih dalam orde milivolt dan nilai ini sangat kecil untuk diteruskan ke ADC, maka diperlukan rangkaian PGA (*Programmable Gain Amplifier*) sebagai penguat sinyal (Gain) yang dapat diprogram atau dikontrol melalui arduino mega. Selanjutnya, *output* dari PGA masuk ke pin ADC arduino mega sebagai ADC, lalu oleh arduino sinyal ADC tersebut diubah menjadi nilai biner atau digital. Setelah semua sinyal diproses, langkah selanjutnya arduino mengirim sinyal data atau menerima sinyal data dari komputer dan menampilkannya ke komputer dalam bentuk data ataupun grafik. Agar arduino dapat berkomunikasi dengan komputer maka diperlukan program Matlab sebagai media penghubung antara arduino (*microcontroller*) dengan komputer sehingga memudahkan pengguna dalam melihat sinyal data dari seluruh perangkat sistem ECVT.

Beberapa program akuisisi data arduino mega 2560 adalah :

1. Program *Multiplexer*
2. Program ADC
3. Program komunikasi Matlab 2011a
4. Program PGA (*Programmable Gain Amplifier*)
5. Program LCD



Gambar 3.5 *Data Logger* dari matlab

Gambar 3.5 diatas menampilkan bentuk grafik dari sinyal analog yang diproses oleh arduino menjadi data digital yang mana ditampilkan dalam bentuk *data logger* melalui program matlab. Pada sisi vertikal terlihat angka dari 100 – 1000 merupakan nilai data pembacaan arduino dan sisi horizontal merupakan waktu yang sedang berjalan saat program di*Run*. Jadi, dapat disimpulkan nilai data dapat berubah-ubah dengan mengikuti perubahan nilai ADC arduino dan menunjukkan grafik hubungan antara data dan waktu selama proses sedang berjalan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan analisa hasil penelitian, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Alat ini telah berhasil melakukan pengukuran sinyal ECVT dari rangkaian pengkondisi sinyal serta dapat melakukan proses ADC yang kemudian disampaikan pada PC melalui jalur komunikasi serial
2. Rangkaian ADC dengan resolusi 10 bit untuk sensor 8 *channel* ini dapat melakukan konversi data analog menjadi digital dengan *range* 3,027 x 10^{-14} F per kenaikan 1 bit dengan tegangan referensi 5 volt
3. PGA (*Programmable Gain Amplifier*) telah berhasil diprogram dengan menggunakan mikrokontroler arduino mega2560 serta dapat berkomunikasi antara PC dengan hardware melalui program matlab 2011a

B. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut mengenai sistem Akuisisi Data untuk keperluan ECVT penulis menyarankan :

1. Untuk dapat memilih dan menyampaikan tegangan dengan frekuensi yang lebih tinggi maka dibututhkan *device switching* yang dapat bekerja secara digital
2. Untuk meningkatkan ketepatan resolusi pada rangkaian ADC dan dapat meningkatkan ketepatan resolusi dengan mengoptimalkan nilai tegangan referensi komponen ADCnya
3. Untuk mengantisipasi nilai kapasitansi dalam orde yang sangat kecil maka dibutuhkan ADC dengan resolusi bit yang lebih tinggi
4. Untuk lebih presisi dalam menghasilkan citra hasil rekonstruksi diperlukan jumlah elektroda yang lebih banyak

DAFTAR PUSTAKA

1) Zaki, Ali. 1999. e-*LIFE STYLE*MemanfaatkanBeragamPerangkatTeknologi Digital. Jakarta :SalembaInfotek.
2) Warsito., Marashdeh, Qussai., Fan, L S., "*Electrical CapacitanceVolume Tomography*," IEEE Sensor Journal, Vol. 7, No. 4, pp. 525 –535, April 2007.
3) Yusuf, Arbai., Widada, Wahyu., Taruno, Warsito P., "*Design ofCapacitance Measurement Circuit for Data Acquisition System* ECVT",ICITEE, 7 – 8 Oktober 2013, p-p: 460 – 464, Yogyakarta, Indonesia.
4) Thias Ayuning (2010), Analisa Pencitraan 4Dimensi (4-D)Sistem *Electrical Capacitance Volume Tomography*. Universitas Lampung. Bandar Lampung. .(Laporan KP)
5) Hidayati, Layla Febry .(2015). "Rancang Bangun Pengukur Dielektrik Kopi dengan prinsip kapasitansi listrik pada kisaran orde Pikofarad". Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
6) Aji, Muhamad Hilmi. 2015. "Alat Pengukur Kapasitansi Berbasis Phase Sensitive Demodulation (PSD)untuk sensor ECVT". Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
7) Amujaddid.blogspot.com/2011/10/sistem-komunikasi-data.html
8) https://fachlevi.wordpress.com

9) J. Feddeler, B. Lucas, ADC *Definitions and Specifications*, Freescale Semiconductor, 2004, pp. 18–19.

10) staff.uny.ac.id

11) http://www.hendriono.com/blog/post/mengenal-arduino-mega2560