

# Osiloskop *Portable* Digital Berbasis AVR ATmega644

Abdurraziq Bachmid, Vecky C. Poekoel, Janny O. Wuwung  
Teknik Elektro, Universitas Sam Ratulangi Manado, Jl. Kampus Bahu-Unsrat Manado, 95115  
a.raziq.1992@gmail.com, vecky.poekoel@unsrat.ac.id, jannywuwung@gmail.com

**Abstract** — *This final project aims to designed and implemented a simple digital oscilloscope capable of measuring the AC / DC voltage in the range of  $-20\text{ V}$  to  $+20\text{ V}$  and a frequency in the range of  $0\text{ Hz}$  to  $20,000\text{ Hz}$ , using AVR ATmega644,  $128 \times 64$ -pixel monochrome LCD, ADC0820 and some other components by prioritizing portability properties. Based on the measurement comparison performed between oscilloscope that has been made with a reliable measurement instrument showed that the average difference in measurement is varies. The smallest average difference in voltage measurements is  $0.0056\text{ V}$  and the largest value is  $0.2344\text{ V}_{pp}$  for frequency measurements the smallest average difference is  $1.833\text{ Hz}$  and the largest is  $9.578\text{ Hz}$ . From the paired *t*-test analysis with a significance level =  $0.01$  (confidence level 99%) indicate that the measurement of oscilloscopes that has been made is not differ significantly from the comparative measurement tool.*

**Keywords** — *ATmega644, AVR, Oscilloscope, Portable*

**Abstrak** — *Tugas akhir ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sebuah osiloskop digital sederhana yang mampu mengukur tegangan AC/DC pada kisaran  $-20\text{ V}$  sampai  $+20\text{ V}$  dan frekuensi pada kisaran  $0\text{ Hz}$  sampai  $20.000\text{ Hz}$ , dengan menggunakan MCU AVR ATmega644, LCD monochrome beresolusi  $128 \times 64\text{ pixel}$ , ADC0820 dan beberapa komponen lainnya dengan mengutamakan sifat portabelitas. Berdasarkan perbandingan pengukuran yang dilakukan antara osiloskop yang dibuat dengan alat ukur pembanding yang *reliable* didapatkan hasil bahwa rata-rata selisih pengukurannya bervariasi. Rata-rata selisih pengukuran tegangan yang terkecil adalah  $0,0056\text{ V}$  dan yang terbesar adalah  $0,2344\text{ V}_{pp}$ , sementara untuk pengukuran frekuensi rata-rata selisih pengukuran yang terkecil adalah  $1,833\text{ Hz}$  dan terbesar  $9,578\text{ Hz}$ . Dari analisis uji-t berpasangan dengan tingkat signifikansi =  $0,01$  (confidence level 99%) menunjukkan bahwa hasil pengukuran dari osiloskop yang dibuat tidak berbeda secara signifikan dengan alat ukur pembanding yang digunakan.*

**Kata kunci** — *ATmega644, AVR, Osiloskop, Portable*

## I. PENDAHULUAN

Banyak fenomena kelistrikan di dunia ini yang dapat kita amati dengan mudah perubahannya bila kita proyeksikan ke dalam bentuk grafik dengan menggunakan alat ukur osiloskop. Namun karena osiloskop masih tergolong sebagai salah satu alat ukur yang mahal maka penggunaannya menjadi terbatas. Selain itu, pengukuran dengan osiloskop masih memiliki beberapa kendala seperti, terbatasnya kemampuan osiloskop dalam merekonstruksi bentuk gelombang sehingga terkadang

bentuk gelombang yang ditampilkan tidak sama dengan bentuk gelombang aslinya. Ditambah lagi dengan bertambah kompleksnya kebutuhan pengukuran, maka keperluan akan analisa, perekaman dan pengamatan hasil pengukuran menjadi sangat diperlukan dimana hal ini tidak dapat dilakukan oleh osiloskop analog biasa. Hal lainnya yang menjadi kendala dalam pengukuran dengan osiloskop adalah berkaitan dengan kemampuannya untuk digunakan dan dibawa ke mana saja (*portability*). Hal ini muncul seiring dengan meningkatnya kebutuhan pengukuran di banyak tempat tanpa harus terhalangi oleh ukuran fisik, sumber daya dan penggunaannya.

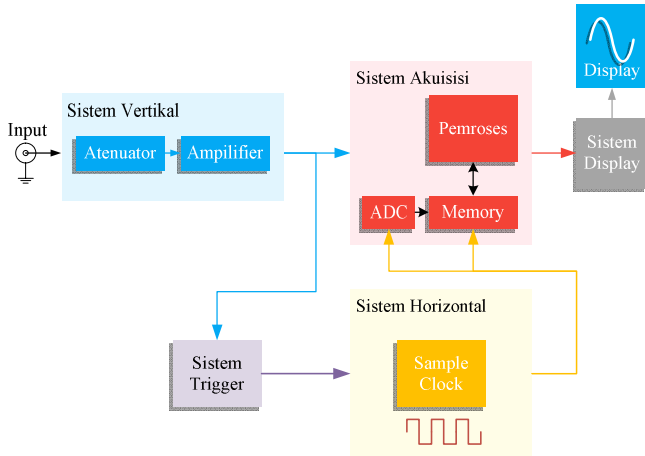
Di satu sisi perkembangan pemrosesan sinyal dengan menggunakan mikrokontroler sedang meluas. Hal ini disebabkan oleh kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh mikrokontroler seperti; ukuran fisik dan konsumsi dayanya yang relatif kecil, mudah dipelajari dan diprogram serta dari segi harga yang relatif murah.

Hal-hal di atas inilah yang melatar belakangi tugas akhir ini, yakni; bagaimana merancang dan mengimplementasikan sebuah osiloskop yang bersifat portable dengan menggunakan mikrokontroler sebagai inti pemrosesannya sehingga dapat diperoleh sebuah osiloskop yang murah, mudah digunakan dan dibawa ke mana saja.

### A. Osiloskop Digital

Osiloskop adalah salah satu alat ukur besaran listrik yang dapat memproyeksikan atau menampilkan bentuk tegangan listrik terhadap perubahan waktu. Secara umum osiloskop dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu; osiloskop analog dan osiloskop digital. Berdasarkan prinsip kerja keduanya sama-sama menerima sinyal *input* yang berupa tegangan listrik kemudian menampilkannya ke sebuah *display*, namun bagaimana proses perubahan sinyal *input* tersebut agar dapat ditampilkan ke dalam *display* keduanya berbeda.

Pada osiloskop analog sinyal *input* yang masuk hanya melawati bagian vertikal dan langsung dikondisikan ke bagian sistem *display*, sementara itu osiloskop digital harus melalui proses perubahan sinyal ke kode-kode biner, penyimpanan dalam memori dan proses rekonstruksi bentuk gelombang ke sistem *display*. Dikarenakan proses yang harus dilalui oleh sinyal *input* pada osiloskop digital sedikit panjang dan harus melalui proses digitalisasi maka, jika ditinjau dari segi *fidelity*, osiloskop analog akan lebih unggul daripada osiloskop digital.



Gambar 1. Diagram Blok Osiloskop Digital

Sistem kerja dari osiloskop digital dapat digambarkan seperti gambar 1, dimana sinyal yang akan diukur (sinyal *input*) pertama kali masuk melalui probe ke bagian sistem vertikal, di bagian ini amplitudo sinyal input akan disesuaikan, sehingga apabila perlu diperbesar maka sinyal akan diperbesar pada bagian *amplifier* sedangkan jika perlu dikecilkan akan dikecilkan pada bagian *atenuator*.

Dari bagian sistem vertikal sinyal yang diukur kemudian dimasukkan ke bagian sistem akuisisi, di bagian ini sinyal yang akan diukur dikonversi atau diubah menjadi bentuk digital melalui ADC (*analog to digital converter*) sehingga sinyal yang keluar dari ADC telah berubah menjadi suatu nilai digital (kode-kode biner) yang disebut titik sampel atau *sample point*.

*Sample point* dari ADC ini kemudian disimpan ke dalam sebuah memori sebagai nilai-nilai yang mewakili titik tertentu dalam proses rekonstruksi bentuk gelombang di *display*. Jika sejumlah *sample point* telah cukup terpenuhi maka bagian pemroses akan merekonstruksi bentuk gelombang dan hasilnya kemudian dikirim ke bagian sistem *display*.

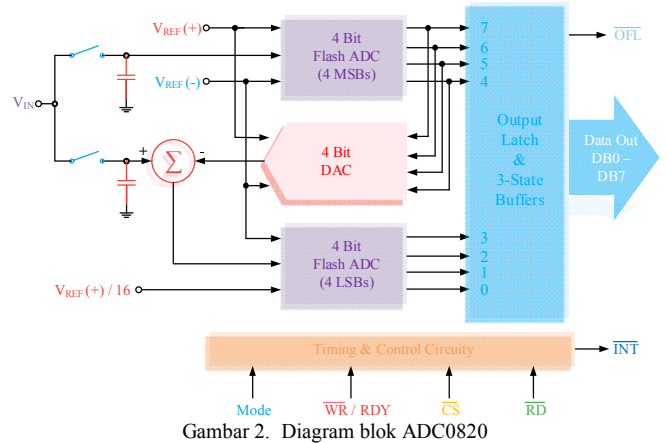
Setelah bentuk gelombang berhasil ditampilkan ke layar (*display*), maka sejumlah *sample point* lama (yang telah ditampilkan) akan dihapus dan diisi dengan *sample point* yang baru dari ADC untuk memperoleh bentuk gelombang yang terbaru. Proses ini akan berlangsung secara terus menerus dari awal osiloskop dihidupkan sampai osiloskop dimatikan.

Semua proses *timing* (pewaktuan) baik itu pada ADC, memori maupun sistem *display* ditentukan dari *sample clock* di sistem horizontal yang berhubungan dengan sistem *trigger*.

**B. ADC0820**

ADC0820 merupakan salah satu ADC CMOS beresolusi 8-bit yang menggunakan teknik konversi setengah-*flash* (*half-flash*). ADC ini mampu melakukan konversi dengan waktu hingga 2,5  $\mu$ s pada mode RD dan 1,5  $\mu$ s pada mode WR-RD dengan konsumsi daya sekitar 75 mW.

ADC0820 menggunakan dua ADC *flash* 4-bit untuk menghasilkan ADC beresolusi 8-bit. ADC *flash* yang pertama menangani *most significant* 4-bit dan ADC *flash* yang kedua menangani *least significant* 4-bit. Masing-masing ADC menggunakan 15 *comparator* (pembanding).



Gambar 2. Diagram blok ADC0820

Sebagaimana yang ditunjukkan gambar 2, untuk mendapatkan pembacaan penuh 8-bit, keluaran dari ADC pertama dihubungkan ke DAC 4-bit untuk memberikan perkiraan besar tegangan yang telah dikonversi ADC pertama. Sinyal *input* ( $V_{IN}$ ) kemudian dikurangi dengan sinyal dari DAC, selisih tegangan ini kemudian di konversi oleh ADC yang kedua untuk mendapatkan *least significant* 4-bit.

ADC0820 memiliki 20 Pin yang terdiri dari Pin untuk power supply, tegangan input analog serta kontrol dan data bus.

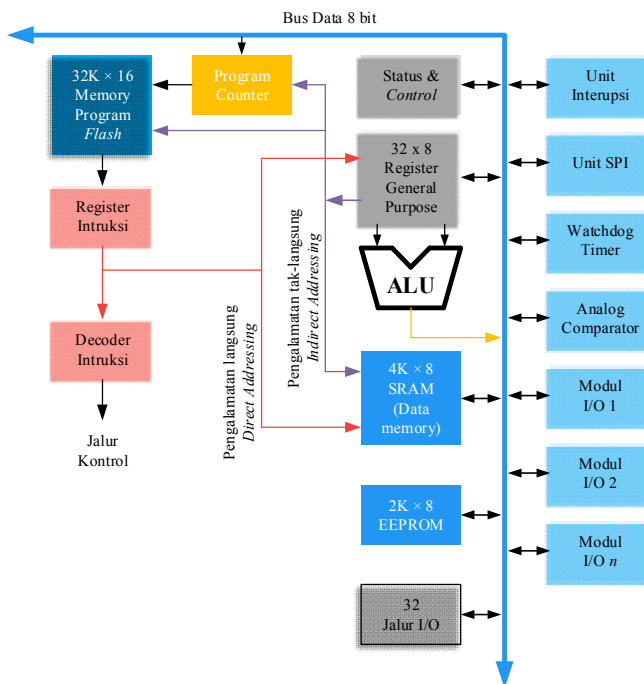
Untuk dapat terhubung dengan *device* lainnya ADC0820 dapat dihubungkan dengan beberapa mode antarmuka dasar, salah satunya adalah mode WR-RD *stand-alone*. Mode ini dapat diaktifkan dengan memberikan logika *low* ke Pin CS dan RD serta logika *high* ke Pin Mode.

**C. AVR Atmega644**

Mikrokontroler (MCU) AVR ATmega644 adalah salah satu Mikrokontroler CMOS 8-bit berdaya rendah yang berbasis arsitektur AVR RISC tingkat lanjut. AVR ATmega644 dilengkapi dengan memori flash ISP 64K byte, EEPROM 2K byte dan SRAM Internal sebesar 4K byte. Selain itu AVR ATmega644 dilengkapi beberapa fitur seperti; 32 jalur I/O *general purpose*, 32 register *general purpose working*, RTC, 2 *timer/counter* 8-bit dan 1 *timer/counter* 16-bit, 6 *channel* PWM, 8 *channel* ADC 10-bit, antarmuka serial SPI, JTAG dan beberapa fitur lainnya.

Arsitektur AVR ATmega644 (gambar 3) menggunakan arsitektur Harvard yang memisahkan memori bus untuk program dan data. Instruksi-instruksi dalam memori program di eksekusi dengan 1 level *pipelining*, dimana ketika satu instruksi sedang dieksekusi, instruksi berikut dalam keadaan *pre-fetched* dari memori program. Konsep ini memungkinkan instruksi-instruksi dieksekusi dalam setiap siklus *clock*.

Inti AVR (AVR Core) menggabungkan banyak *instruction set* dengan 32 *general-propose working registers* (register kerja keperluan umum). Semua register tersebut secara langsung tersambung ke ALU sehingga memungkinkan dua register independen untuk mengaksesnya dalam satu kali eksekusi instruksi dalam satu siklus *clock*.



Gambar 3. Arsitektur AVR ATmega644

ATmega644 memiliki 32 jalur I/O yang terbagi menjadi empat Port yaitu Port A, B, C dan D. Masing-masing Port memiliki delapan Pin dan tiga register yakni; DDRx untuk menentukan konfigurasi arah data (*input* atau *output*), PORTx untuk mengatur kondisi logika sebuah Pin (atau pengaktifan resistor *pull-up* internal jika terkonfigurasi sebagai *input*) dan PINx untuk membaca masukan atau keadaan logika dari suatu Pin.

Beberapa Pin atau Port pada ATmega644 dapat dikonfigurasi dengan beberapa fungsi khusus misalnya, pada Port A yang semua Pinnya dapat dikonfigurasi sebagai *input* ADC, Port B Pin 7, 6 dan 5 yang dapat dikonfigurasi sebagai Antarmuka serial (SPI) dan lain sebagainya.

#### D. Operational Amplifier

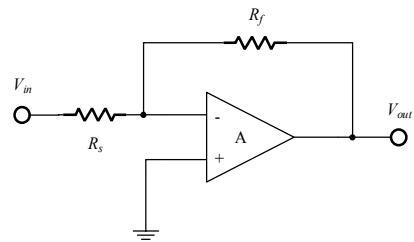
*Operational amplifier* atau biasa disebut op-amp merupakan sebuah rangkaian penguat yang telah terintegrasi ke dalam satu kemasan IC. Suatu op-amp ideal memiliki resistansi *input* dan penguatan *loop* terbukanya yang besar serta resistansi *output* yang relatif kecil dan kebutuhan komponen luar yang sedikit.

Op-amp dapat dirangkai menjadi rangkaian penguat membalik, penguat tak membalik dan penyangga (*buffer*).

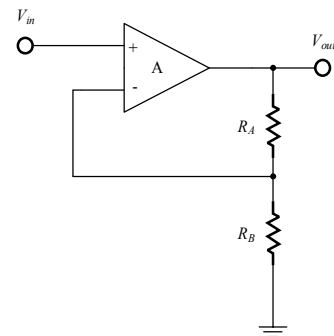
##### 1) Penguat Membalik (*Inverting Amplifier*)

Rangkaian penguat membalik (gambar 4) memiliki penguatan *loop* tertutup ( $A_{cl}$ ) yang bernilai negatif yang ditentukan dari perbandingan resistansi  $R_f$  dan  $R_s$  (lihat persamaan 1).

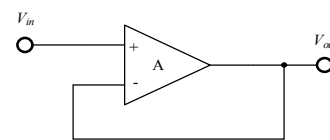
$$A_{cl} = -\frac{R_f}{R_s} \quad (1)$$



Gambar 4. Rangkaian Penguat Membalik



Gambar 5. Rangkaian Penguat Tak-memalik



Gambar 6. Rangkaian Penyangga (*Buffer*)

##### 2) Penguat Tak-memalik (*Non-inverting Amplifier*)

Penguat tak-memalik (gambar 5) memiliki tegangan keluaran yang polaritasnya yang sama dengan tegangan masukan. Penguatan tegangan *loop* tertutup  $A_{cl}$  pada penguat tak-memalik ditentukan oleh persamaan 2

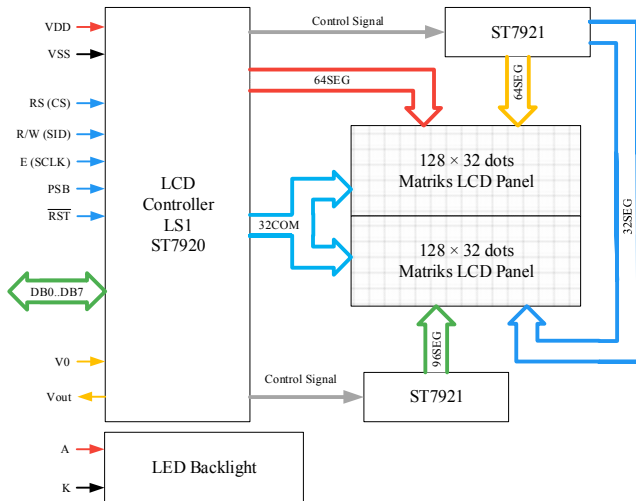
$$A_{cl} = 1 + \frac{R_A}{R_B} \quad (2)$$

##### 3) Penyangga (*Buffer*)

Penyangga atau *buffer* (gambar 6) merupakan salah satu rangkaian op-amp yang digunakan sebagai penguat arus atau untuk menyesuaikan impedansi beban antar rangkaian dengan tidak mengubah level tegangannya (penguatannya sebesar 1). Penyangga atau *buffer* sering disebut juga dengan pengikut tegangan (*voltage follower*).

#### E. LCD QC12864B

LCD QC12864B merupakan salah satu modul LCD *graphic* berwarna tunggal (*monochrome*) yang memiliki resolusi 128 x 64 pixel. Di dalam modul LCD ini telah terdapat IC LCD *controller* LSI ST7920, sehingga dapat langsung disambungkan dengan MCU.



Gambar 7. Blok diagram LCD QC12468B

IC LCD *controller* LSI ST7920 ini mendukung tiga jenis bus antarmuka yakni; 8-bit paralel, 4-bit paralel atau serial yang ditentukan melalui logika pada Pin PSB, untuk antarmuka paralel Pin PSB diberi logika *high* sementara untuk komunikasi serial Pin PSB diberi logika *low*. Gambar 7 menunjukkan blok diagram LCD QC12468B.

#### F. Analisa Statistik Data Hasil Pengukuran

Misalkan sejumlah  $n$  pengukuran dilakukan dengan menggunakan instrumen dan objek pengukuran yang sama maka taksiran nilai pengukuran tersebut adalah dengan menghitung nilai reratanya (persamaan 3)

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

Sebaran dari setiap hasil pengukuran  $x_i$  terhadap nilai rerata tersebut dapat dinyatakan dalam bentuk simpangan baku atau deviasi standar  $s(x_i)$  pada persamaan 4

$$s(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4)$$

Dari nilai simpangan baku di atas ketidakpastian baku pengukuran  $u(x_i)$  dapat ditentukan dari simpangan baku rata-rata eksperimental  $s(\bar{x})$  pada persamaan 5

$$u(x_i) = s(\bar{x}) = \frac{s(x_i)}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Taksiran rentang dimana nilai benar dari besaran ukur tersebut berada ditentukan dari perkalian nilai ketidakpastian baku  $u(x_i)$  dengan suatu nilai faktor cakupan  $k$  pada tingkat kepercayaan (*confident level*) tertentu. Umumnya nilai  $k$  untuk sampel pengukuran  $< 30$  menggunakan distribusi *student-t* sedangkan  $\geq 30$  bisa menggunakan distribusi  $z$ . Taksiran ini dinamakan ketidakpastian bentangan  $U$  dan dihitung dengan persamaan 6

$$U = k \cdot u(x_i) \quad (6)$$

Sehingga dengan demikian hasil pengukuran tersebut dapat dinyatakan dalam persamaan 7.

$$x = \bar{x} + U \quad (7)$$

Untuk menguji apakah hasil pengukuran dari dua alat ukur memiliki perbedaan signifikan atau tidak maka perlu dilakukan analisis uji-t berpasangan (*paired t-test*) dengan cara:

- 1) Menentukan nilai tingkat signifikansi (*significant level*)  $\alpha$  dan nilai derajat kebebasan (*degree of freedom*)  $df = n - 1$  yang akan digunakan.
- 2) Menghitung akumulasi selisih hasil pengukuran alat ukur yang pertama dengan alat ukur yang kedua  $\bar{x}$  dan standar deviasi ( $sd$ ) dari selisih tersebut.
- 3) Menghitung nilai statistik-t ( $t_{stat}$  atau  $t_{hitung}$ ) dengan persamaan 8.

$$t_{stat} = \frac{\bar{d}}{sd/\sqrt{n}} \quad (8)$$

- 4) Mencari nilai  $t_{tabel}$  berdasarkan nilai  $\alpha$  dan  $df$ .
- 5) Menarik kesimpulan: Jika  $|t_{hitung}| \geq t_{tabel}$  maka, terdapat perbedaan hasil pengukuran yang signifikan antara kedua alat ukur tersebut sebaliknya, jika  $|t_{hitung}| < t_{tabel}$  maka, tidak terdapat perbedaan hasil pengukuran yang signifikan antara kedua alat ukur tersebut.

## II. METODE PENELITIAN

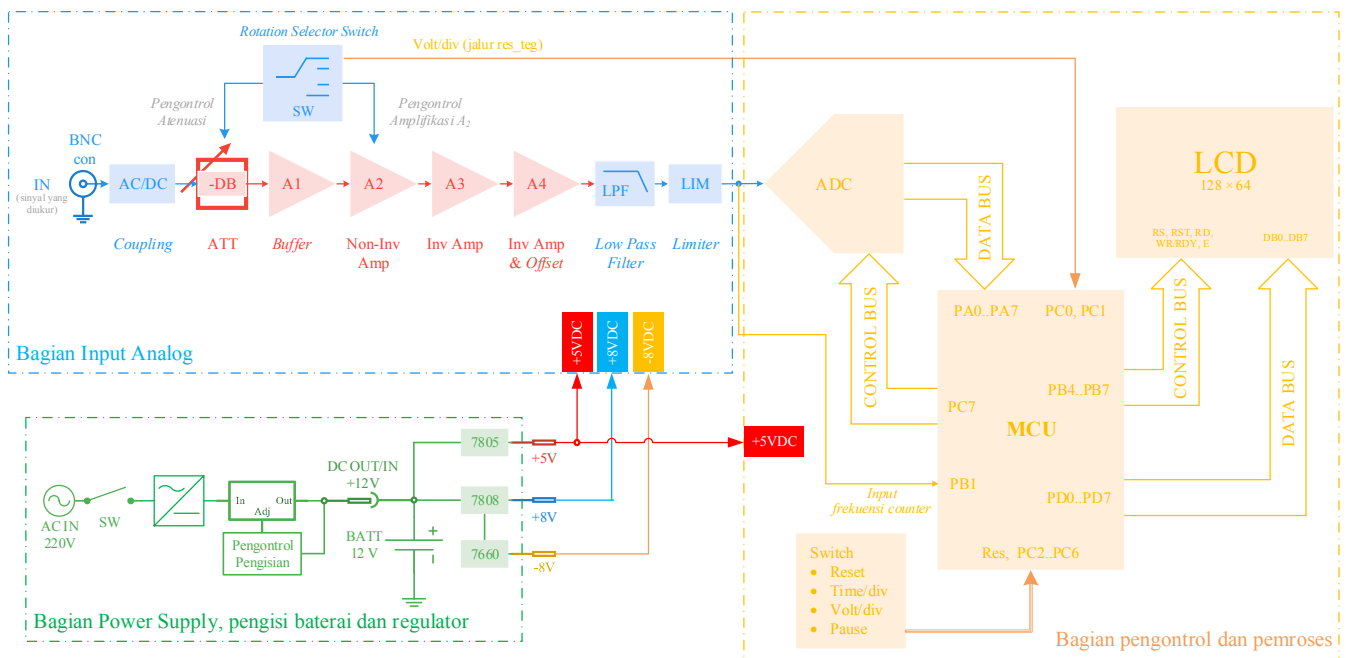
### A. Tempat dan Waktu

Proses perancangan dan implementasi serta pengujian rangkaian osiloskop ini dilakukan di tiga tempat yaitu; rumah penulis, Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi UNSRAT dan Laboratorium Teknik Konservasi Tenaga Listrik UNSRAT dengan waktu pelaksanaan mulai dari Juli 2015 sampai November 2016.

### B. Prosedur Perancangan dan Implementasi

Secara garis besar prosedur yang digunakan dalam proses perancangan dan implementasi dalam tugas akhir ini terbagi menjadi empat tahap proses, yaitu;

- 1) *Pra-rancangan*: Proses awal penentuan dan evaluasi spesifikasi dan parameter dari osiloskop yang akan dibuat.
- 2) *Pembuatan perangkat keras*: Proses ini dimulai dari perancangan rangkaian dalam bentuk skematis sesuai dengan teori dan perhitungan yang ada, perancangan *layout* dan pembuatan PCB, pemasangan komponen pada PCB serta perakitan PCB ke dalam kotak (*box*).
- 3) *Pemrograman*: Proses ini terdiri dari proses penulisan program (*coding*), pelacakan kesalahan pemrograman (*debugging*) dan pengisian kode program ke dalam MCU (*programmer*).
- 4) *Pengujian dan evaluasi*: Terdiri dari proses pengujian, pengambilan data, evaluasi serta pemecahan masalah (*troubleshooting*).



Gambar 8. Blok Diagram Rancangan Rangkaian

TABEL 1

PARAMETER DAN SPESIFIKASI OSILOSKOP YANG DIBUAT

Parameter	Nilai
Jangkauan tegangan <i>input</i>	min: +/- 1 V maks: +/- 20 V
Jenis kopting	AC / DC
Jangkauan frekuensi	min: 0 (DC) maks: 20.000 Hz
Resolusi ADC	8 bit
Resolusi LCD	Hor: 128 px Ver: 64 px ( <i>monochrome</i> )
Power Supply	AC: 220 V <sub>rms</sub> DC: + 12 V
<i>Bandwidth</i>	100.000 Hz
<i>Rise Time</i>	3,5 μs
Kecepatan Sampling	200.000 sampel/s [Hz]
<i>Waveform Capture Rate</i>	min: 1 frame/s
Respon frekuensi	LPF ( $f_c = 100$ kHz)
Impedansi <i>input</i>	± 1 MΩ

### C. Parameter dan Spesifikasi

Mengacu pada batasan masalah dan dasar teori mengenai parameter-parameter osiloskop, ditentukanlah 12 parameter seperti yang dicantumkan pada tabel I yang akan digunakan sebagai acuan dalam proses rancangan dan implementasi.

### D. Perancangan Rangkaian

Secara garis besar rancangan rangkaian dalam osiloskop ini dibagi menjadi tiga bagian besar sesuai dengan fungsi dan cara kerjanya masing-masing. Ketiga bagian tersebut adalah:

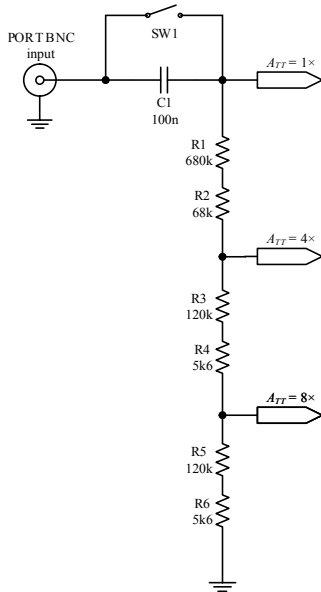
- 1) Bagian *input* analog
- 2) Bagian pengontrol dan pemroses
- 3) Bagian *power supply*, pengisi baterai dan regulator

Susunan ketiga bagian rangkaian di atas digambarkan dalam bentuk diagram blok pada gambar 8 dan secara ringkas cara kerja dapat dijabarkan sebagai berikut:

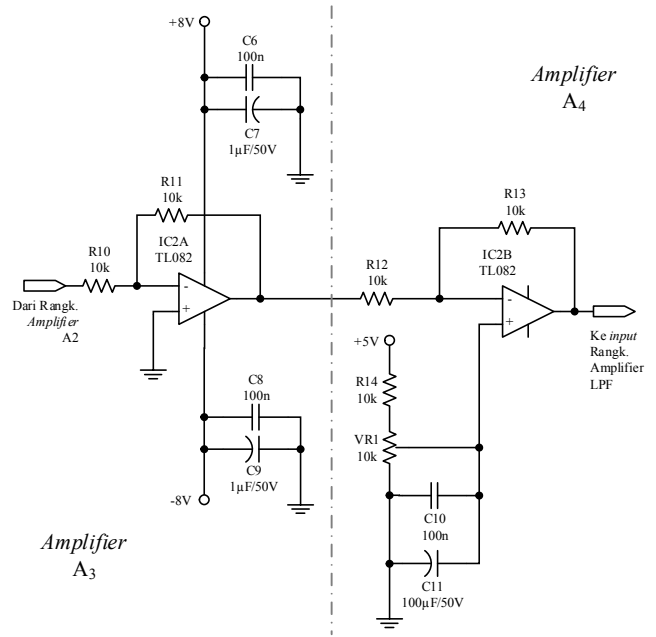
- 1) Sinyal *input* adalah sinyal yang akan diukur, sinyal *input* ini awalnya masuk dari *probe* ke Port BNC. Dari sini sinyal *input* selanjutnya masuk ke bagian *input* analog yang terdiri dari attenuator, *amplifier* dan beberapa bagian pendukung lainnya yang dirancang untuk mengondisikan amplitudo sinyal *input* sebelum masuk di bagian pengontrol dan pemroses.
- 2) Setelah dikondisikan, sinyal *input* tadi dimasukkan ke bagian pengontrol dan pemroses. Di bagian ini sinyal *input* tersebut akan dikonversi atau diubah ke dalam bentuk digital kemudian hasilnya disimpan ke dalam memori MCU untuk selanjutnya diproses dan direkonstruksi sedemikian rupa sehingga dapat ditampilkan dalam bentuk grafis ke LCD.
- 3) Bagian *power supply* dirancang agar dapat menggunakan dua sumber tegangan yaitu; AC 220 V<sub>rms</sub> dari jala-jala listrik PLN dan DC +12 V dari baterai. Pada saat dihubungkan dengan sumber tegangan AC, *power supply* tersebut semata-mata tidak hanya akan menyuplai daya ke rangkaian osiloskop tetapi juga akan melakukan *charging* (pengisian) baterai. Baik sumber tegangan AC maupun DC sama-sama akan diregulasi menjadi tiga sub tegangan terpisah yaitu; +5 V, +8 V dan -8 V (melalui *negative converter*).

#### 1) Bagian Input Analog

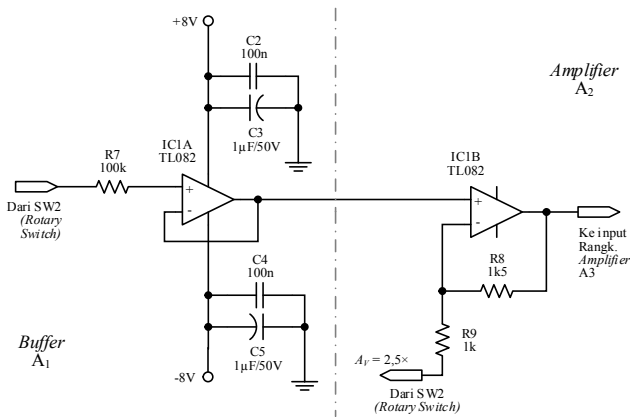
Bagian *input* analog dirancang untuk mengatur amplitudo sinyal *input* agar sesuai dan tidak melebihi kemampuan *input* ADC. Dengan demikian terdapat lima fungsi yang harus dipenuhi oleh bagian ini yaitu: atenuasi, amplifikasi, kopting *input*, *limiter* dan *filter*.



Gambar 9. Rangkaian *input coupling* dan Atenuator



Gambar 11. Rangkaian *Amplifier A3* dan *A4*



Gambar 10. Rangkaian *Buffer A1* dan *Amplifier A2*

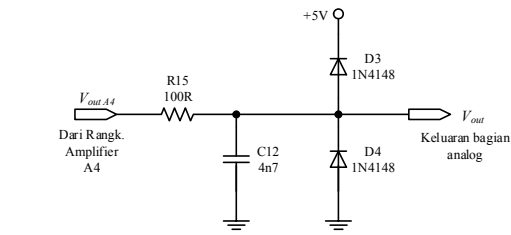
a) *Input Coupling* dan *Atenuator*

Bagian *input coupling* tersusun dari sebuah kapasitor  $C_1$  dan saklar  $SW_1$ . Saat saklar  $SW_1$  dibuka hanya komponen sinyal *input* AC yang akan diloloskan, sebaliknya saat  $SW_1$  ditutup, baik itu komponen sinyal *input* AC atau DC akan diloloskan.

Dari *input coupling*, sinyal *input* kemudian masuk ke bagian atenuator di sini sinyal *input* akan dilemahkan/diturunkan amplitudonya sebesar  $1\times$ ,  $4\times$  dan  $8\times$ . Rangkaian *input coupling* dan atenuator secara skematis digambarkan pada gambar 9.

b) *Buffer A1* dan *Amplifier A2*

Setelah dari atenuator, sinyal *input* dimasukkan ke *buffer A1* agar tidak mengalami pembebanan pada masukan *Amplifier A2*. Setelah dari *buffer A1* sinyal *input* dimasukkan ke *amplifier A2* yang merupakan penguat tak-membalik dimana penguatannya dapat diatur sebesar  $1\times$  atau  $2,5\times$  sesuai dengan kebutuhan. Secara skematis rangkaian *buffer A1* dan *amplifier A2* digambarkan pada gambar 10.



Gambar 12. Rangkaian *LPF* dan *Limiter*

Rangkaian *buffer A1* dan *amplifier A2* menggunakan IC op-amp TL082C (*dual op-amp JFET*) yang memiliki karakteristik; arus bias masukan  $< 20\text{ nA}$ , arus *offset* masukan  $< 10\text{ nA}$ , *bandwidth* 4 MHz dan resistansi *input*  $10^{12}\ \Omega$ .

c) *Amplifier A3* dan *A4*

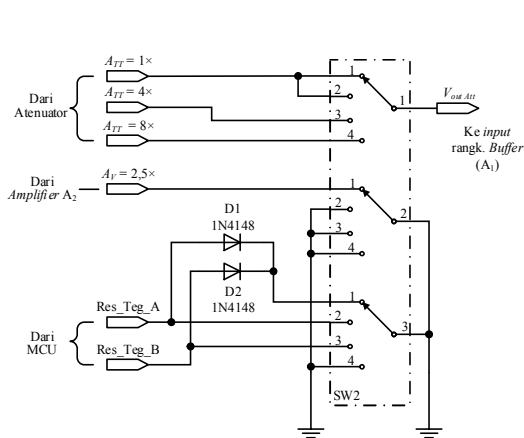
*Amplifier A3* dan *A4* dirancang untuk menggeser titik nol sinyal *input* ke bagian positif dengan menambahkan tegangan *offset* sehingga meskipun tegangan yang diukur bernilai negatif masih dapat terbaca oleh ADC.

Dalam rancangan riil (gambar 11), *amplifier A3* berfungsi membalik polaritas tegangan *input* sementara *amplifier A4* berfungsi untuk melakukan *offset*.

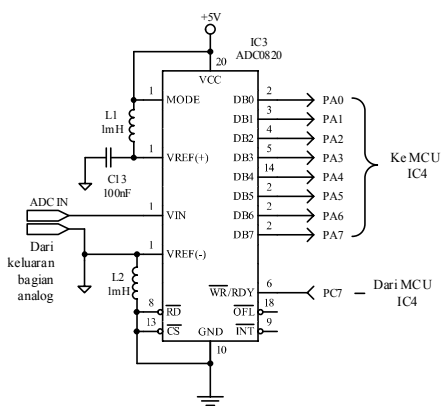
Op-amp yang digunakan pada kedua rangkaian ini sama dengan yang digunakan pada *buffer A1* dan *amplifier A2*.

d) *Low Pass Filter (LPF)* dan *Limiter*

Rangkaian *LPF* (*low pass filter*) dalam rancangan ini berfungsi membatasi frekuensi sinyal *input* pada frekuensi *cut-off* 330 kHz agar tidak terjadi *aliasing* pada proses *sampling* ADC. Sementara bagian *limiter* digunakan untuk membatasi amplitudo sinyal *input* pada kisaran 0 sampai +5 V agar tidak merusak *input* ADC. Rangkaian *LPF* dan *limiter* ditunjukkan pada gambar 12.



Gambar 13. Rangkaian Selektor



Gambar 14. Rangkaian ADC

e) Rangkaian Selektor

Rangkaian selektor (gambar 13) dirancang untuk memilih kombinasi nilai amplifikasi dan atenuasi yang dikehendaki. Komponen utama dalam bagian ini adalah selektor *rotation switch* yang mempunyai tiga jalur/*line* dengan empat posisi.

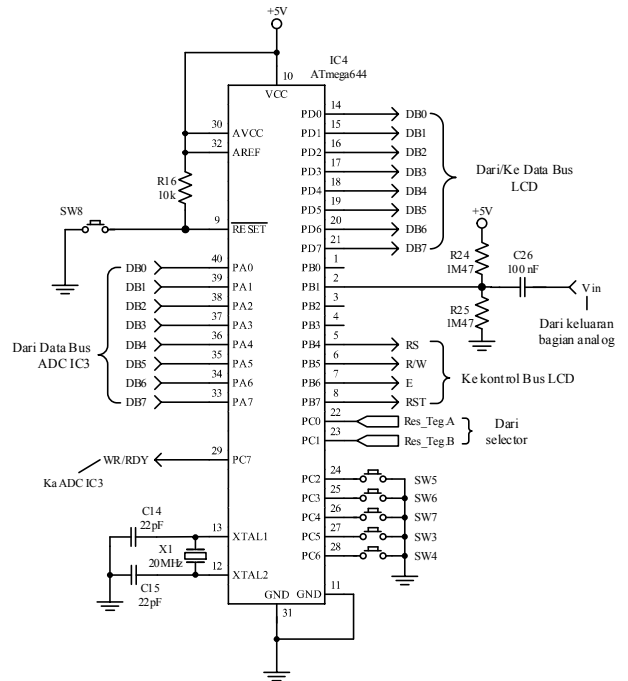
Bagian jalur *switch* yang pertama digunakan untuk pengaturan atenuasi, bagian jalur kedua digunakan untuk pengaturan amplifikasi sementara jalur yang ketiga digunakan untuk meng-*input* informasi nilai Volt/*div* ke MCU.

2) Bagian Pengontrol dan Pemroses

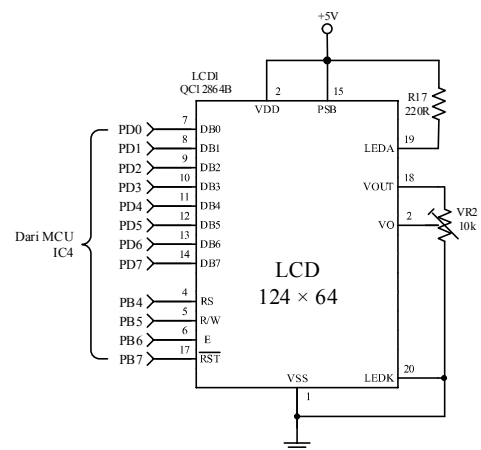
a) ADC (Analog to Digital Converter)

ADC yang digunakan dalam rancangan ini adalah ADC tipe ADC0820 (8-bit ADC) yang diset pada mode WR-RD *stand-alone operation*. Proses *sampling* dan konversi ADC ditentukan dari kondisi logika pada Pin WR/RDY ADC yang berasal dari keluaran Pin PC7 MCU (IC4) ATmega644.

Seperti yang diperlihatkan gambar 14, tegangan referensi atas  $V_{REF(+)}$  ADC ini dirancang berasal dari  $V_{CC} +5\text{ V}$  yang dilewatkan melalui induktor  $L_1$  dan di-*bypass* dengan kapasitor  $C_{13}$ , sedangkan tegangan referensi bawah  $V_{REF(-)}$  diambil dari *ground* yang dilewatkan pada induktor  $L_2$ . Penggunaan induktor  $L_1$ ,  $L_2$  dan kapasitor  $C_{13}$  bertujuan untuk menghilangkan *noise/derau* dari *power supply*.



Gambar 15. Susunan konfigurasi Port/Pin MCU ATmega644



Gambar 16. Susunan Sambungan LCD

b) Unit Mikrokontroler (MCU)

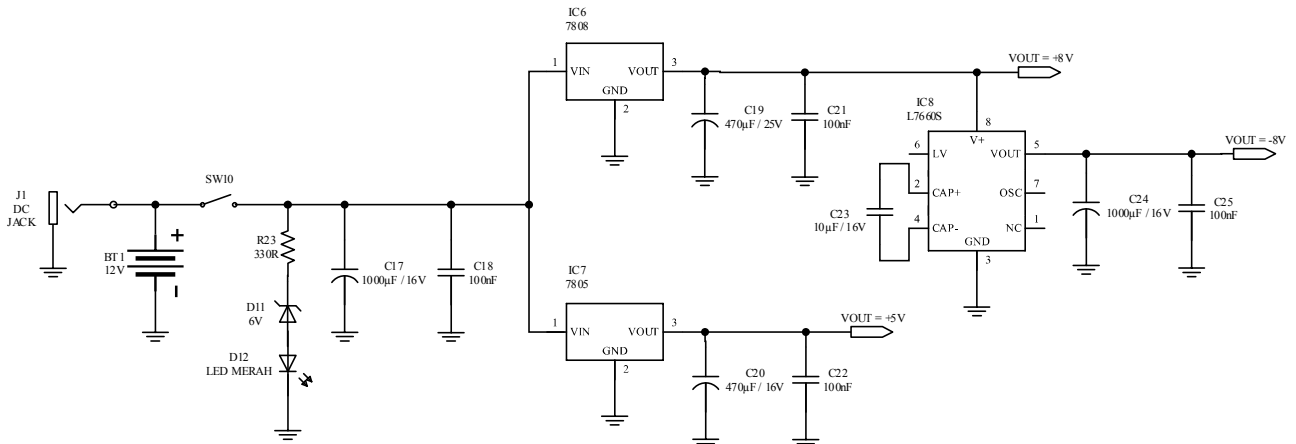
Unit mikrokontroler (MCU) merupakan bagian penting yang berkaitan dengan proses pengontrolan I/O, penyimpanan hasil konversi ADC ke dalam memori, pengolahan data konversi ADC, hingga proses rekonstruksi bentuk gelombang.

Dalam rancangan ini MCU yang digunakan adalah AVR ATmega644 yang di-*clock* pada kecepatan 20 MHz.

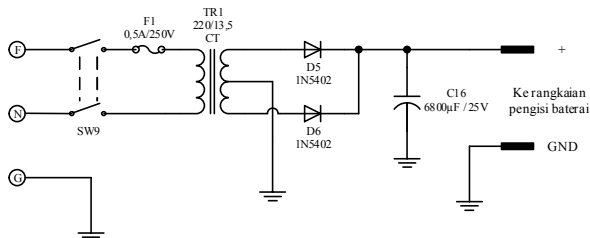
Susunan konfigurasi dan sambungan Port/Pin antara ATmega644 dengan beberapa *device* (seperti ADC, LCD, *switch*) digambarkan secara skematis pada gambar 15.

c) LCD

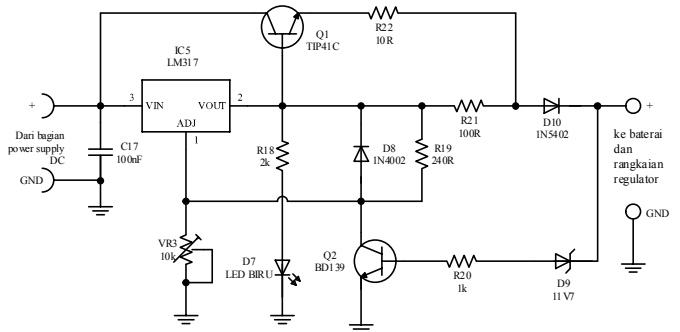
LCD yang digunakan dalam rancangan ini adalah LCD tipe QC12864B dimana antarmuka dengan MCU dikonfigurasi pada mode paralel. Secara skematis sambungan LCD digambarkan pada gambar 16.



Gambar 17. Rangkaian Regulator dan Negative Converter



Gambar 18. Rangkaian Power Supply DC



Gambar 19. Rangkaian Pengontrol Pengisian Baterai

3) Bagian Power Supply untuk Pengisian Baterai dan Regulator

a) Power Supply DC

Rangkaian power supply DC ini dirancang untuk melakukan konversi tegangan AC 220 V<sub>rms</sub> ke tegangan DC +18 V. Secara skematis rancangan rangkaian power supply DC digambarkan pada gambar 18.

b) Pengontrol Pengisian Baterai

Rangkaian ini dirancang untuk melakukan pengontrolan tegangan pengisian ke baterai. Seperti yang diperlihatkan gambar 19, bagian penting dalam rangkaian ini adalah regulator LM317 yang berfungsi mengatur tegangan ke baterai sesuai dengan kondisi tegangannya.

c) Regulator dan Negative Converter

Rangkaian regulator ini dirancang untuk meregulasi tegangan dan mendistribusikan daya listrik ke masing-masing rangkaian atau device sesuai dengan tegangan yang dibutuhkan.

Terdapat dua regulator yang digunakan dalam rangkaian ini yakni; 7805 untuk tegangan +5 V dan 7808 untuk tegangan +8 V sedangkan untuk negative converter yang digunakan yaitu IC CMOS voltage converters ICL7660S untuk mengonversi tegangan +8 V dari regulator 7808 menjadi -8 V.

Secara skematis rangkaian regulator dan negative converter digambarkan pada gambar 17.

E. Implementasi Rangkaian

Secara ringkas proses implementasi rancangan rangkaian dapat diuraikan sebagai berikut, dimana proses yang dilakukan terdiri dari; perancangan PCB, pembuatan PCB serta pemasangan dan perakitan rangkaian ke dalam box.

1) Perancangan papan rangkaian tercetak (PCB)

Secara umum proses ini berkaitan dengan penggambaran layout PCB pada aplikasi EAGLE yang terdiri dari; penyiapan pustaka (library) komponen, penggambaran skematis dan penggambaran layout papan rangkaian tercetak.

2) Pembuatan papan rangkaian tercetak (PCB)

Dari layout PCB yang telah berhasil digambar pada proses sebelumnya kemudian diimplementasikan ke PCB dengan beberapa tahap, yakni; penyiapan papan PCB, pemindahan gambar layout ke papan PCB, pelarutan (etching) PCB dengan menggunakan larutan FeCl3, Pengeboran PCB dan pembuatan layout bagian atas PCB.

3) Pemasangan dan Perakitan

PCB yang telah jadi kemudian dipasang komponen dan selanjutnya dirakit ke dalam box. Gambar 20 menunjukkan osiloskop yang telah berhasil dibuat.





Gambar 20. Osiloskop yang Berhasil Dibuat

### F. Pemrograman MCU

Pemrograman MCU ini dilakukan dalam bahasa C dengan menggunakan aplikasi Atmel Studio versi 7.0.634 dan AVRDUDE. Secara singkat konsep dasar program yang dibuat dijabarkan sebagai berikut;

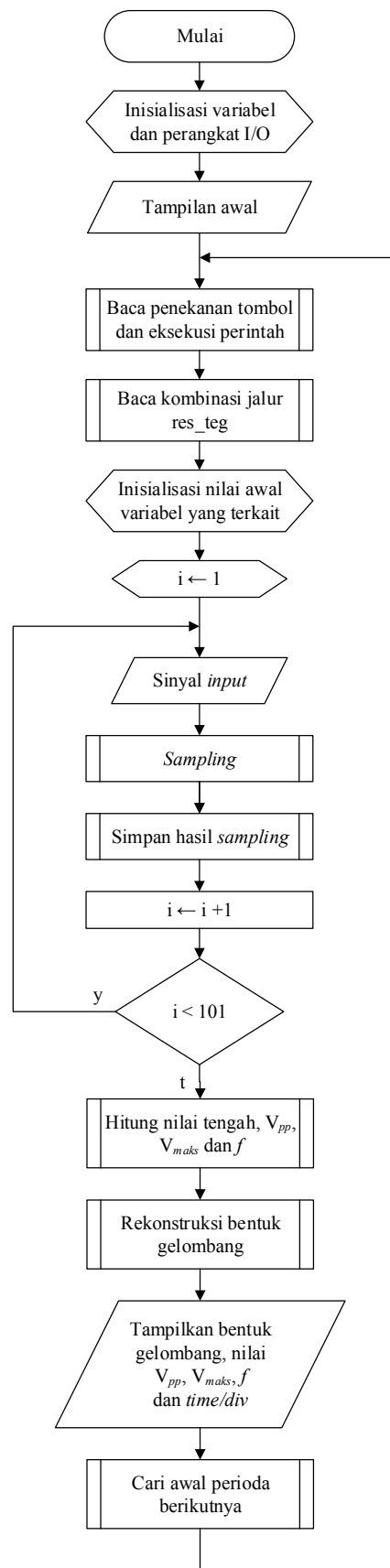
Saat MCU dihidupkan (atau kembali dari keadaan *reset*) MCU akan melakukan inisialisasi beberapa variabel dan perangkat I/O lainnya.

MCU memerintahkan LCD untuk menampilkan tampilan awal yang berisi judul tugas akhir, nama pembuat, dosen pembimbing dsb.

MCU kemudian melakukan proses berulang yang terdiri dari instruksi;

- 1) Membaca penekan tombol fungsi dan posisi selektor *V/div*, kemudian mengeksekusi instruksi berdasarkan fungsi tombol yang ditekan serta posisi selektor *V/div*.
- 2) Menginisialisasi beberapa variabel yang terkait dengan proses pencuplikan (*sampling*) sinyal *input* dan perhitungan.
- 3) Memerintahkan ADC untuk melakukan pencuplikan sinyal *input* dan mengonversinya.
- 4) Membaca hasil konversi ADC lalu menyimpannya.
- 5) Menguji apakah jumlah sampel telah mencapai 100. Jika ya, MCU akan mengeksekusi instruksi selanjutnya (instruksi ke-6) dan jika belum MCU akan kembali ke instruksi ke-3.
- 6) Melakukan perhitungan nilai tengah, tegangan puncak-ke-puncak ( $V_{pp}$ ), tegangan maksimum ( $V_{maks}$ ) dan frekuensi ( $f$ ).
- 7) Merekonstruksi bentuk gelombang.
- 8) Memerintahkan LCD menampilkan hasil rekonstruksi gelombang serta hasil perhitungan  $V_{pp}$ ,  $V_{maks}$ , frekuensi ( $f$ ) dan nilai *time/div*.
- 9) Mencari awal dari gelombang berikutnya.
- 10) Kembali ke proses 1.

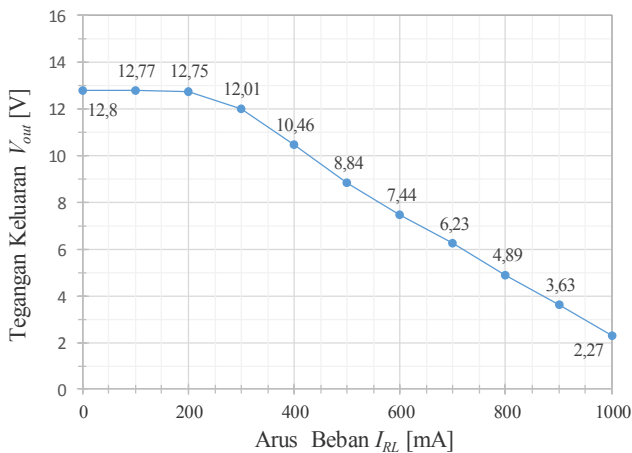
Secara ringkas rancangan kode program yang akan dibuat dapat digambarkan dalam diagram alur gambar 21.



Gambar 21. Diagram Alur Program MCU Secara Garis Besar



Gambar 22. Tampilan Awal Osiloskop



Gambar 23. Grafik hubungan antara arus beban ( $I_{RL}$ ) dan tegangan keluaran *power supply* ( $V_{out}$ )

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Tampilan Awal Osiloskop

Untuk menguji apakah tampilan awal layar LCD saat dihidupkan atau di-reset telah sesuai dengan apa yang diprogram maka, dilakukan pengamatan secara visual. Hasil pengamatan tersebut dicantumkan pada gambar 22 dimana, tampilannya terdiri dari empat segmen, yaitu; judul tugas akhir, nama pembuat, nama dosen pembimbing dan jurusan, fakultas, universitas, tempat serta tahun.

#### B. Bagian *Power Supply* untuk Pengisian Baterai

Untuk mengamati apakah bagian ini mampu menyalurkan arus untuk melakukan pengisian baterai atau menyuplai daya listrik ke rangkaian regulator sesuai rancangan maka dilakukan pengukuran pada *power supply* di enam titik pengukuran.

Secara statistik hasil pengukuran tegangan *power supply* dicantumkan pada tabel II. Hasil pengukuran tersebut dihitung dengan menggunakan tingkat signifikansi 0,025 dua arah ( $\alpha = 0,05$ ) dengan derajat kebebasan  $n - 1$ .

Bagian *power supply* untuk pengisian baterai dari hasil pengujian mampu mengubah tegangan dari jala-jala listrik PLN sebesar  $230 \pm 0,7727 V_{AC}$  menjadi  $+ 12,8 V_{DC}$  konstan.

TABEL II  
HASIL PENGUKURAN BAGIAN *POWER SUPPLY* UNTUK PENGISIAN BATERAI

Parameter	TP1-2	TP3	TP4	TP5	TP6
Sampel	10	10	10	10	10
Rerata	230,5 V	13,982 V	14,3 V	19,487 V	2,8 V
Std. deviasi	1,080 V	0,096 V	0,045 V	0,069 V	0,00 V
Ketidakpastian	0,772 V	0,068 V	0,032 V	0,049 V	0,00 V

TP1-2 = tegangan masukan dari jala-jala listrik PLN, TP3 = tegangan sekunder 1, TP4 = tegangan sekunder 2, TP5 = tegangan keluaran penyearah, TP6 = tegangan keluaran *power supply*. TP1-2, TP3 dan TP4 hasil pengukurannya dalam nilai *rms*.

TABEL III  
HASIL PENGUKURAN BAGIAN REGULATOR TANPA BEBAN

Parameter	TP7	DC-Am3	TP10	TP8	TP9
Sampel	10	10	10	10	10
Rerata	12,877 V	0,023 A	5,045 V	7,875 V	-7,833 V
Std. deviasi	0,006 V	0,000 A	0,005 V	0,005 V	0,004 V
Ketidakpastian	0,004 V	0,0000 A	0,003 V	0,003 V	0,003 V

TP7 = tegangan masukan regulator, DC-Am3 = arus masukan regulator, TP8 = tegangan keluaran regulator +8 V (7808), TP9 = tegangan keluaran *negative converter* -8 V (L7660S), TP10 = tegangan keluaran regulator + 5V (7805).

TABEL IV  
HASIL PENGUKURAN BAGIAN REGULATOR BERBEBAN

Parameter	TP7	DC-Am3	TP10	TP8	TP9
Sampel	10	10	10	10	10
Rerata	12,856 V	0,082 A	5,028 V	7,874 V	-7,509 V
Std. deviasi	0,005 V	0,0004 A	0,010 V	0,007 V	0,005 V
Ketidakpastian	0,003 V	0,0003 A	0,007 V	0,005 V	0,004 V

TP7 = tegangan masukan regulator, DC-Am3 = arus masukan regulator, TP8 = tegangan keluaran regulator +8 V (7808), TP9 = tegangan keluaran *negative converter* -8 V (L7660S), TP10 = tegangan keluaran regulator + 5V (7805).

Sebagaimana yang dapat digambarkan pada gambar 23 bahwa seiring dengan bertambahnya arus beban maka tegangan keluaran dari *power supply* mengalami penurunan. Dapat pula diamati bahwa setidaknya-tidaknya arus beban harus kurang dari 300 mA agar *power supply* ini dapat menyuplai tegangan yang sama dengan nominal tegangan baterai (+12 V).

#### C. Regulator

Hasil pengukuran bagian regulator pada tabel III dan IV menunjukkan bahwa kedua regulator (7805 dan 7808) mampu meregulasi tegangan yang tidak jauh berbeda dari nominalnya. Selain itu dapat dilihat bahwa pembebanan dari *device* yang digunakan tidak terlalu menyebabkan penurunan tegangan yang berarti. Adapun bagian *negative converter* L7660S (-8V) dari hasil pengukuran mampu mengubah tegangan berpolaritas positif menjadi negatif namun saat dihubungkan ke *device* terjadi penurunan sekitar 0,324 V.

#### D. Atenuator dan Amplifier

Sebagaimana yang ditunjukkan tabel V dan VI bagian atenuator dan *amplifier* dari hasil pengukuran tampak mampu memberikan pelemahan dan penguatan terhadap sinyal *input* yang relatif sama dengan rancangan meskipun terdapat perbedaan yang relatif kecil.

TABEL V  
HASIL PENGUKURAN ATENUASI BAGIAN ATENUATOR

	$A_{it} = 1\times$	$A_{it} = 4\times$	$A_{it} = 8\times$
$A_{it}$	1	4,147	8,118

TABEL VI  
HASIL PENGUKURAN AMPLIFIKASI BAGIAN AMPLIFIER

	A1	A2 = 1×	A2 = 2,5×	A3	A4
$A_v$	1	1,001	2,451	-1,0019	-1,0094

TABEL VII  
HASIL UJI-T BERPASANGAN PADA PENGUKURAN TEGANGAN DC

Parameter	Terhadap DMM	Terhadap Osiloskop Pembanding	
		B	
$sampel$	32	32	
$rerata\ selisih$	0,0056	-0,0455	
$deviasi\ selisih$	0,0320	-0,0547	
$t_{stat}$	0,00578	-1,2648	
$t_{tabel}$	2,74404	2,74404	

TABEL VIII  
HASIL UJI-T BERPASANGAN PADA PENGUKURAN TEGANGAN AC

Parameter	Terhadap DMM	Terhadap Osiloskop Pembanding	
		A	
$sampel$	14	14	
$rerata\ selisih$	-0,027591	0,169857	
$deviasi\ selisih$	0,047239	0,465153	
$t_{stat}$	-2,185365	1,366319	
$t_{tabel}$	3,012276	3,012276	

TABEL IX  
HASIL UJI-T BERPASANGAN PADA PENGUKURAN FREKUENSI (DENGAN MENGGUNAKAN DMM PEMBANDING)

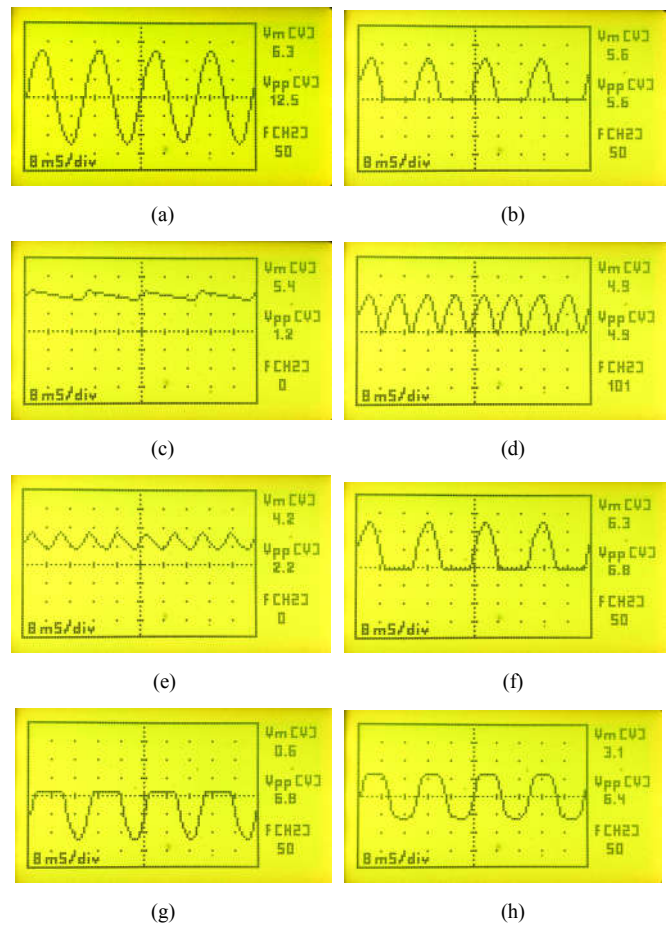
Parameter	Sinus	Persegi	Segitiga
$sampel$	48	48	48
$rerata\ selisih$	-3,04167	-2,66667	-1,83333
$deviasi\ selisih$	4,635471	3,397955	3,441507
$t_{stat}$	-0,00503	-0,00441	-0,00303
$t_{tabel}$	2,684556	2,684556	2,684556

TABEL X  
HASIL UJI-T BERPASANGAN PADA PENGUKURAN FREKUENSI (DENGAN MENGGUNAKAN OSILOSKOP PEMBANDING)

Parameter	Sinus	Persegi	Segitiga
$sampel$	48	48	48
$rerata\ selisih$	7,953542	3,934792	9,577708
$deviasi\ selisih$	30,29088	17,5228	26,16137
$t_{stat}$	1,819153	1,555746	2,536424
$t_{tabel}$	2,684556	2,684556	2,684556

E. Perbandingan Hasil Pengukuran dari Osiloskop yang Dibuat Dengan Beberapa Alat Ukur Lainnya

Untuk mengetahui seberapa tepat hasil pengukuran dari osiloskop yang dibuat maka dilakukan pengukuran untuk membandingkan hasil pengukurannya dengan beberapa alat ukur pembanding yang dianggap *reliable* seperti; DMM – Heles UX880TR (DMM pembanding A), DMM – Krisbow KW06-272 (DMM pembanding B), DSO – GW Instek GDS-800 series (Osiloskop pembanding A) dan Osiloskop analog – Hameg HM205-3 (Osiloskop pembanding B).



Gambar 24. Hasil Pengukuran Dengan Menggunakan Osiloskop yang dibuat Pada Beberapa Rangkaian Elektronika Riil; (a) Sekunder trafo, (b) penyearah setengah gelombang, (c) penyearah setengah gelombang dengan filter, (d) penyearah gelombang penuh, (e) penyearah gelombang penuh dengan filter, (f) clipper negatif, (g) clipper positif dan (h) limiter

Hasil perbandingan pengukuran baik itu pengukuran tegangan DC, tegangan AC dan frekuensi secara ringkas dirangkum berturut-turut ke dalam tabel VII sampai X, tampak secara umum hasil pengukuran dari osiloskop yang dibuat relatif tidak jauh berbeda hasilnya dengan alat ukur pembanding yang digunakan. Hal ini dibuktikan dengan analisis uji-t berpasangan dengan tingkat signifikansi 0,005 dua arah ( $\alpha = 0,01$ ) dimana nilai  $t_{stat}$  lebih kecil dari nilai  $t_{tabel}$  untuk semua pengukuran perbandingan.

F. Implementasi Osiloskop yang Dibuat Pada Pengukuran Riil

Untuk mengamati kemampuan osiloskop yang dibuat dalam berbagai pengukuran maka dilakukan percobaan pengukuran pada beberapa rangkaian percobaan sederhana seperti rangkaian penyearah setengah gelombang, penyearah gelombang penuh, pemotong (*clipper*) dan pembatas (*limiter*). Sebagian hasil pengukuran pada beberapa rangkaian riil dengan menggunakan osiloskop yang dibuat dicantumkan ke dalam gambar 24.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### A. Kesimpulan

- 1) Secara garis besar rancangan rangkaian osiloskop dalam tugas akhir ini terdiri dari tiga bagian yaitu: bagian *input* analog, bagian pengontrolan dan pemroses dan bagian *power supply*. Ketiga bagian tersebut berdasarkan hasil pengujian cukup memenuhi ekspektasi rancangan awal rangkaian.
- 2) Berdasarkan perbandingan pengukuran yang dilakukan antara osiloskop yang dibuat dengan alat ukur pembanding yang *reliable* didapatkan hasil sebagai berikut:
  - a) Pada pengukuran tegangan DC rata-rata selisih hasil pengukuran antara osiloskop yang dibuat dengan alat ukur pembanding adalah 0,0056 V terhadap DMM dan -0,0455 V terhadap osiloskop pembanding.
  - b) Pada pengukuran tegangan AC rata-rata selisih hasil pengukuran antara osiloskop yang dibuat dengan alat ukur pembanding adalah -0,0276 V terhadap DMM serta 0,1669  $V_{maks}$  dan 0,2344  $V_{pp}$  terhadap osiloskop pembanding.
  - c) Pada pengukuran frekuensi selisih hasil pengukuran antara osiloskop yang dibuat dengan alat ukur pembanding untuk masing-masing gelombang sinus, persegi dan segitiga adalah sebesar 3,042 Hz, 2,667 Hz dan 1,833 Hz terhadap DMM serta 7,954 Hz, 3,935 Hz dan 9,578 Hz terhadap osiloskop pembanding.

Dari ketiga hasil pengukuran di atas ketika dilakukan uji-t berpasangan dengan tingkat signifikansi 0,005 dua arah ( $\alpha = 0,01$ ) tampak secara umum hasil pengukuran dari osiloskop yang dibuat relatif tidak jauh berbeda dengan alat ukur pembanding yang digunakan.

- 3) Setelah dilakukan percobaan pengukuran pada rangkaian elektronika riil yang sederhana tampak bahwa osiloskop yang dibuat mampu mengukur dan menampilkan bentuk gelombang yang tidak terlalu berbeda secara signifikan dengan perhitungan/teori.

##### B. Saran

- 1) Permasalahan utama pada osiloskop ini adalah terlalu lambat memproses dan menampilkan bentuk gelombang, sehingga ke depannya perlu dilakukan pengembangan yang lebih lanjut menyangkut kecepatan *sampling* ADC, pemrosesan MCU serta optimasi kode program.
- 2) Untuk meningkatkan ketelitian hasil pengukuran, sebaiknya menggunakan ADC yang mempunyai resolusi yang lebih besar seperti ADC LTC2208 (*Linear Technology*) yang mempunyai resolusi 16-bit dengan kecepatan sampling hingga 130 Msps.
- 3) Resolusi LCD yang kecil menyebabkan bentuk gelombang yang ditampilkan tidak terlalu memuaskan sehingga disarankan untuk pengembangan selanjutnya resolusi LCD ditingkatkan bahkan jika perlu dapat menggunakan LCD berwarna.

#### V. KUTIPAN

- [1] A. E. Putra dan D. Nugraha. (2015, Februari 17). *Tutorial Pemrograman Mikrokontroler AVR dengan AVR studio dan WinAVR GCC (ATMega16/32/8535) Versi 2.0* [Online]. Tersedia di: <http://klikdisini.com/embedded>
- [2] A. F. Nelwan, *Teknik Tenaga Listrik Edisi Kedua*, Manado: Fakultas Teknik, UNSRAT, 2009.
- [3] A. P. Malvino, *Aproksimasi Rangkaian Semikonduktor: Pengantar Transistor dan Rangkaian Terpadu*, Jakarta: Erlangga, 1986.
- [4] A. P. Malvino, *Prinsip-prinsip Elektronika, Edisi Ketiga*, Jilid 1, Jakarta: Penerbit Erlangga, 1985.
- [5] Agilent Technologies, Inc. (2015, Maret 1). *Evaluating Oscilloscope Fundamentals, Application Note* [Online]. Tersedia di: <http://www.agilent.com>
- [6] Atmel Corporation. (2015, Juni 26). *ATmega164A/164PA/324A/324PA/644A/644PA/1284/1284P, 8-bit Atmel Microcontroller with 16/32/64/128K Bytes, Atmel-8272G-AVR-01/2015* [Online]. Tersedia di: [http://www.atmel.com/product/microcontrollers/avr/default.aspx?tab=documents&Asset\\_Type=020%20Application%20Note](http://www.atmel.com/product/microcontrollers/avr/default.aspx?tab=documents&Asset_Type=020%20Application%20Note)
- [7] I. Hickman, *Oscilloscopes, How to use them, how they work, 5<sup>th</sup> ed.*, Oxford: Elsevier, 2001.
- [8] Joint Committee for Guides in Metrology, *JCGM 100:2008 Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement*, Joint Committee for Guides in Metrology, 2008.
- [9] Komite Akreditasi Nasional, DP.01.23 - *Pedoman Evaluasi dan Pelaporan Ketidaktepatan Pengukuran*, Jakarta: Komite Akreditasi Nasional, 2003.
- [10] Q. J. Stone, "An ARM-Based Sequential Sampling Oscilloscope," *Massachusetts Institute of Technology*, Tesis, Massachusetts, 2014.
- [11] R. Shier, *Statistics: 1.1 Paired t-tests*, Mathematics Learning Support Centre, 2004.
- [12] Rohde & Schwarz USA, Inc., *Oscilloscope Fundamentals Version 1.1*, Columbia, USA: Rohde & Schwarz USA, Inc.
- [13] S. Walter, "Digital Oscilloscope Module With PC Interface", Tesis Department of Microengineering, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, 2008.
- [14] S. Waluyanti, D. Santoso, S. dan U. Rochayati, *Alat Ukur dan Teknik Pengukuran Jilid 2*, Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, Departemen Pendidikan Nasional, 2008.
- [15] T. L. Floyd, *Electronics Devices 7<sup>th</sup> Edition*, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.
- [16] Tektronix, Inc, *Oscilloscope Fundamentals*, Tektronix, Inc, 2009.
- [17] Tim Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, *Pemrosesan PCB, Yogyakarta*: Departemen Pendidikan Nasional, 2003.
- [18] V. Serasidis. (2015, Februari 17). *Low speed AVR oscilloscope* [Online]. Tersedia di: [http://www.serasidis.gr/circuits/AVR\\_oscilloscope/avr\\_oscilloscope.htm](http://www.serasidis.gr/circuits/AVR_oscilloscope/avr_oscilloscope.htm)
- [19] Y. R. Soendoro, "Osiloskop Penyimpanan Digital Menggunakan Komputer", Skripsi, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang, 2003.



Penulis bernama lengkap Abdurraziq Bachmid, anak tunggal dari pasangan suami istri Alm. Hasan Ali Bachmid (ayah) dan Saidah Bakir (ibu), lahir di Kota Manado pada tanggal 18 April 1992. Sebelum menempuh jenjang pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi, penulis telah menempuh pendidikan secara berturut-turut di TK YAPIM (1997-1998), SD Negeri 12 Manado (1998-2004), SMP Negeri 1 Manado (2004-2007), SMK Negeri 2 Manado (2007-2010). Pada tahun 2010, penulis memulai pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado di Jurusan Teknik Elektro, dengan mengambil konsentrasi minat Elektronika dan Instrumentasi. Dalam menempuh pendidikan penulis aktif dalam beberapa kegiatan di dalam dan luar lingkungan kampus terutama dalam kegiatan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi UNSRAT Manado. Pada 2014 penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT. Angkasa Pura I Manado. Penulis selesai melaksanakan pendidikan di Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado pada tanggal 24 Maret 2017.