

DESAIN PENDETEKSI BIOLISTRIK GERAKAN MATA SACCADIC HORIZONTAL

Mansur Saputra^{#1}, Yunidar^{#2}, Alfisyahrin^{#3}

[#]Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala
Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Darussalam, Banda Aceh, Indonesia

¹saputramansur20@gmail.com

²alfisyahrin@unsyiah.ac.id

³yunidar@unsyiah.ac.id

Abstrak— Penelitian ini bertujuan merancang antarmuka rangkaian untuk mendeteksi potensial listrik gerakan mata yang disebut saccadic horizontal. Teknik yang digunakan untuk mengamati potensial ini disebut Elektrookulografi, yaitu suatu teknik pendeteksian potensial listrik pada mata dengan menggunakan sensor-sensor elektroda, rangkaian penguat dan filter analog. Sinyal dari elektroda akan diekstrak dari noise 50 Hz jaringan listrik dan diperkuat 50 kali. Selanjutnya sinyal akan difilter dari frekuensi 0.1 Hz komponen DC. Setelah difilter sinyal akan diperkuat sebesar 20 kali untuk keperluan ADC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketika mata bergerak ke kanan 40° sistem mampu mendeteksi sebesar 0.56 V, sebaliknya ketika mata bergerak ke kiri 40° sistem mendeteksi sebesar -0.56V. Pola sinyal yang didapat mampu merepresentasikan gerakan mata saccadic horizontal, dimana ketika mata bergerak ke kanan maka sinyal akan menuju ke atas, sebaliknya ketika bergerak ke kiri maka sinyal akan menuju ke bawah, sinyal juga mampu ditampilkan dalam bentuk alfanumerik pada modul LCD. Dari pengukuran, didapat nilai standar deviasi rata-rata sebesar 0.08, nilai ini menunjukkan bahwa sistem mempunyai presisi pengukuran yang baik.

Kata Kunci— Elektrookulografi, Saccadic, Noise, Low Pass Filter, High Pass Filter

I. PENDAHULUAN

Emil du Bois - Reymond (1848) mengamati bahwa pada bagian kornea mata terdapat potensial listrik positif yang berhubungan dengan bagian retina (corneoretinal potensial). Potensial listrik ini tidak berhubungan dengan adanya rangsangan cahaya, melainkan listrik permanen yang diproduksi oleh sel-sel saraf dan otot mata. Corneoretinal potensial berperilaku layaknya dipol listrik tunggal yang bergerak ke arah berlawanan dari retina ke kornea [1]. Dalam prakteknya sinyal ini dapat diamati saat adanya gerakan pada bola mata, gerakan bola mata yang dimaksud adalah gerakan mata *saccadic* yaitu jenis gerakan mata cepat dan simultan yang dilakukan sehari-hari saat seseorang melihat dan mengikuti suatu objek seperti dalam aktifitas membaca [2].

Sinyal gerakan mata *saccadic* ini dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti untuk sinyal pengontrol (*saccadic*

controller), dan mengamati kemampuan membaca [3]. Pengamatan *sinyal saccadic* ini dapat dilakukan dengan serangkaian prosedur dan teknik-teknik tertentu, salah prosedur yang digunakan adalah subjek diminta untuk menggerakkan mata mengikuti arah nyala LED (*light Emitting Diode*) untuk memproduksi sinyal listrik, selanjutnya sebuah teknik yang disebut *Electrooculography* digunakan untuk mendeteksi aktifitas listrik yang timbul, teknik ini dilakukan dengan meletakkan beberapa keping elektroda perekam disekitar bagian kulit sekitar mata. Sinyal yang terdeteksi oleh elektroda kemudian akan diproses menggunakan rangkaian pemroses sinyal dan ditampilkan pada sebuah modul penampil.

Dalam Penelitian ini penulis mencoba untuk mengimplementasikan Teknik *Electrooculography* dengan merancang sebuah antarmuka rangkaian untuk mendeteksi aktifitas listrik pada gerakan mata *saccadic*. Rangkaian ini terdiri dari beberapa blok, yaitu blok pendeteksi sinyal berupa elektroda permukaan kulit, penguat instrumentasi sebagai penguat sinyal input analog, blok filter untuk mengurangi kehadiran *noise* seperti pengaruh *drift* dan *noise* 50Hz jaringan listrik (Indonesia) yang dapat merusak kemurnian sinyal gerakan mata, serta blok display yang terdiri dari osiloskop dan LCD alfanumerik 16x2.

II. DASAR TEORI

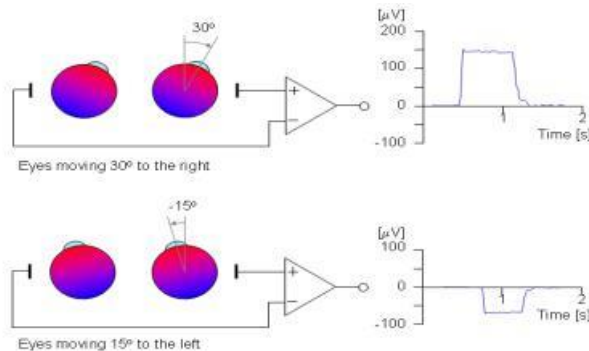
A. Elektroda Biopotensial

Dalam pengukuran potensial listrik tubuh diperlukan suatu peralatan yang mampu menjadi antarmuka antara bagian tubuh dengan peralatan elektronik, alat ini biasa disebut dengan elektroda biopotensial. Elektroda biopotensial harus mampu mengubah arus-arus listrik tubuh berupa ion-ion menjadi arus listrik elektro agar dapat ditangkap oleh peralatan ukur elektronik [4].

B. Teknik Elektrookulografi

Emil du Bois - Reymond (1848) mengamati bahwa pada bagian kornea mata potensial listrik yang berhubungan dengan bagian retina (*corneoretinal potensial*). Listrik ini tidak berhubungan dengan

adanya rangsangan cahaya, melainkan listrik yang diproduksi tubuh melalui sel-sel saraf mata. Potensial listrik ini berperilaku layaknya dipol listrik tunggal yang bergerak ke arah berlawanan dari retina ke kornea mata, dimana saat mata bergerak kekanan maka sinyal bernilai positif sebaliknya ketika bergerak ke kiri bernilai negatif (Gambar 1).



Gambar 1 Karakteristik Sinyal Saccadic Horizontal

Amplitudo yang dihasilkan umumnya di kisaran 0,4-1mV, Sinyal ini dapat pula diamati saat seseorang melakukan aktifitas membaca (Gambar 2) dimana saat membaca mata akan bergerak tahap demi tahap mengikuti setiap kata yang diberikan, step-step kecil kenaikan sinyal menunjukkan bahwa mata bergerak kata demi kata dari kiri ke kanan, sinyal yang menurun cepat menunjukkan perpindahan mata ke awal baris baru. Untuk mengukur sinyal ini dapat dilakukan dengan menempatkan tiga keping elektroda di sisi kiri dan kanan mata serta dibagian dahi. [5].

C. Penguat Instrumentasi

Penguat Instrumentasi merupakan jenis penguat diferensial yang masukannya diumpan oleh dua buah rangkaian op-amp pengikut tegangan. Karakteristik dari penguat instrumentasi adalah penguatan loop terbuka yang sangat tinggi, *Common-Mode-Rejection-Ratio* (CMRR) yang sangat tinggi dan impedansi masukan yang sangat tinggi. Dengan

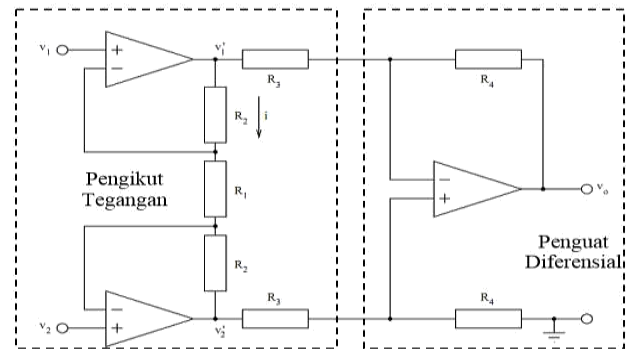
karakteristik tersebut penguat ini sangat baik digunakan dalam pengukuran-pengukuran yang membutuhkan akurasi tinggi seperti pada pengukuran sinyal-sinyal fisiologis pada tubuh.

Penguat instrumentasi terdiri dari dua masukan V_+ dan V_- melalui dua komponen pengikut tegangan menuju ke sebuah differential amplifier. Masukan terbagi lagi menjadi dua bagian yaitu *common-mode-voltage* VCM dan Tegangan Differential VD. VCM didefinisikan sebagai rata-rata jumlah tegangan V_{in+} dan V_{in-} , sedangkan VD adalah selisih dari V_{in+} dan V_{in-} . Penguatan rangkaian dapat dihitung dengan persamaan [7] berikut:

$$A_v = 1 + \frac{R_F}{R_G} \quad (1)$$



Gambar 2 Pola sinyal Saccadic pada aktivitas membaca



Gambar 3 Skematik Penguat Instrumentasi

Berdasarkan Gambar 3, Tinjauan arus dan tegangan rangkaian ditunjukkan oleh persamaan 2 hingga 8.

$$i = \frac{v_1' - v_1}{R_2} = \frac{v_1 - v_2}{R_1} = \frac{v_2 - v_2'}{R_2} \quad (2)$$

$$v_1' = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_1 - \frac{R_2}{R_1} v_2 \quad (3)$$

$$v_2' = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) v_2 - \frac{R_2}{R_1} v_1 \quad (4)$$

$$v_0 = (v_2 - v_1) \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \quad (5)$$

Penguatan deferensial rangkaian didapat dari persamaan 6:

$$A_d = \frac{v_0}{v_2 - v_1} = 1 + \frac{2R_2}{R_1} \quad (6)$$

Penguatan *common mode* rangkaian didapat dari persamaan 7:

$$A_{cm} = \frac{v_0}{v_{cm}} = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \frac{R_1 + R_2}{R_1} - \frac{R_2}{R_1} \quad (7)$$

Dari persamaan 6 dan 7 didapat rasio penolak noise common mode sebagaimana persamaan 8.

$$CMRR = 20 \log \left(\frac{A_d}{A_{cm}} \right) \quad (8)$$

D. High Pass Filter

High Pass Filter (HPF) merupakan jenis filter yang akan meredam semua frekuensi dibawah frekuensi cut off (fc) dan

melewatkan semua frekuensi diatas f_c . Nilai frekuensi cut off juga diambil pada 70% tegangan keluaran maksimum. Dengan karakteristik ini, HPF sering digunakan untuk meredam frekuensi-frekuensi rendah DC yang dapat mengakibatkan *drift* pada sinyal.

E. Mikrokontroler ATmega16

Mikrokontroler adalah sebuah *chip* (IC) dengan kepadatan yang sangat tinggi, dimana semua bagian yang diperlukan untuk suatu kontrol sudah dikemas dalam satu keping, biasanya terdiri dari CPU (Central Processing Unit), RAM (Random Access Memory, EEPROM / EPROM / PROM/ROM, I/O, Serial & Parallel, Timer, Interrupt Controller. [8].

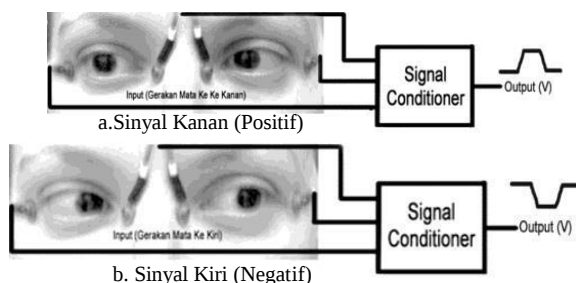
F. LCD Alfanumerik 16x2

Liquid Crystal Display (LCD) Alfanumerik 16x2 merupakan suatu *device* elektronika digital yang berfungsi sebagai layar penampil dengan kemampuan menampilkan karakter-karakter berupa huruf, angka, dan simbol yang diintruksikan melalui sistem mikroprosesor ataupun mikrokontroler. LCD Alfanumerik 16x2 dapat menampung sebanyak 32 karakter dalam dua baris.

LCD Alfanumerik 16x2 terdiri dari tiga unit memori yang terdiri dari *Display Data Random Access Memory* (DDRAM), *Character Generator Read Only Memory* (CGROM), dan *Character Generator Random Access Memory* (CGRAM). DDRAM merupakan unit memori yang berfungsi sebagai penampil setiap karakter yang diintruksikan kepadanya karakter dapat ditampilkan secara pada alamat yang tersedia di memori, CGROM merupakan unit memori yang berfungsi sebagai penghasil karakter tetap yang dapat dipilih dengan mengaksesnya pada CGROM, selain dapat mengakses karakter yang telah ditetapkan [9].

III. METODELOGI

Sinyal gerakan mata sejatinya merupakan biolistrik yang terdapat pada bagian kornea-retina mata. Sebagaimana biolistrik pada umumnya, sinyal gerakan mata juga dideteksi dengan teknik yang sama sebagaimana pada pendeteksian biolistrik umumnya, terdiri dari proses penginderaan (*sensing*), prapenguatan (*pre-amplifier*), pemfilteran (*filtering*), dan penguatan sinyal (*driver amplifier*), perbedaan biasanya terletak pada peletakan sensor elektroda yang disesuaikan dengan titik organ pengamatan sinyal.



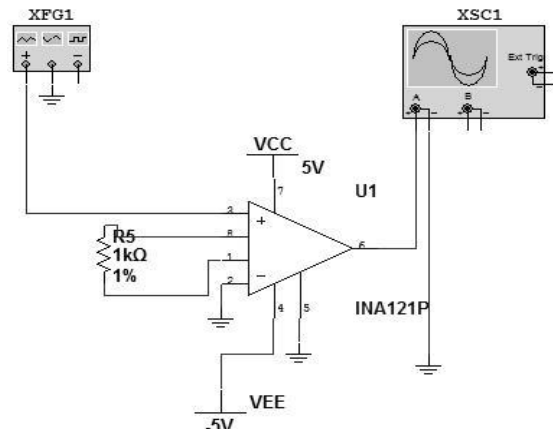
Gambar 4. Teknik Pendeteksian Sinyal

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Rangkaian

1) *Desain Penguat Instrumentasi* : Rangkaian Penguat Instrumentasi yang digunakan dalam penelitian ini telah dikemas dalam bentuk IC tunggal INA121P. Penguatan diferensial (A_d) rangkaian diatur sebesar 50 kali untuk mencapai CMRR sebesar 90dB, lihat persamaan dibawah. Hasil pengujian dapat pula dilihat pada Tabel 1.

$$A_d = 1 + \left(\frac{R_F}{R_G} \right) = 1 + \left(\frac{50 \text{ k}\Omega}{1 \text{ k}\Omega} \right) = 1 + \left(\frac{50000}{1000} \right) = 51$$

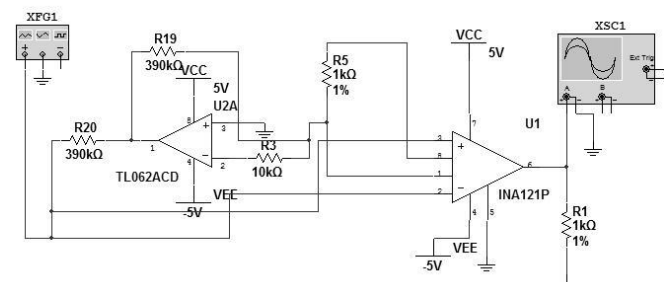


Gambar 5 Pengujian Penguatan Diferensial

Berdasarkan Tabel I, terlihat bahwa penguatan rangkaian secara pengukuran didapat sebesar 48 kali, dari rencana awal secara perhitungan 51 kali.

TABEL I
HASIL PENGUJIAN PENGUAT DIFERENSIAL HITUNG DAN UKUR

F_{in}	Hitung				Ukur		
	R_g	R_f	A_v	V_{in}^+	V_{in}^-	V_{out}	A_v
50 Hz	1 K	50 K	51	2 V_{pp}	2 V_{pp}	9.8 V_{pp}	48



Gambar 6. Pengujian CMRR

Pengujian CMRR rangkaian dilakukan dengan menambahkan rangkaian RLD, rangkaian pengujian dapat dilihat pada Gambar 6. Pengujian dilakukan dengan

memisalkan tegangan input *noise common mode* sebesar 2Vpp 50Hz melalui generator sinyal, Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2. Pengujian CMRR rangkaian dilakukan dengan menambahkan rangkaian RLD, rangkaian pengujian dapat dilihat pada Gambar 6. Pengujian dilakukan dengan memisalkan tegangan input *noise common mode* sebesar 2Vpp 50Hz melalui generator sinyal, Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2.

TABEL II
HASIL PENGUJIAN CMRR

F_{in}	V_{in}	A_{cm}	A_d	CMRR
50 Hz	2.00 V _{pp}	0.0015	48	90 dB

Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa rangkaian penguat instrumentasi dengan RLD mampu memberikan CMRR sebesar 90dB. Secara sederhana rasio ini menunjukkan bahwa jika suatu noise yang masuk ke sistem bernilai 2Vpp maka yang turut diperkuat hanya 0.0015 kali dari nilai noise itu sendiri atau sekitar 3mVpp. CMRR didapat melalui dua persamaan dibawah ini.

$$A_{CM} = \frac{V_o}{V_{CM}} = \frac{3mV}{2V} = 0.0015$$

Dari persamaan tersebut, didapat CMRR:

$$CMRR = 20 \log \left(\frac{A_d}{A_{cm}} \right) = \frac{48}{0.0015} = 90dB$$

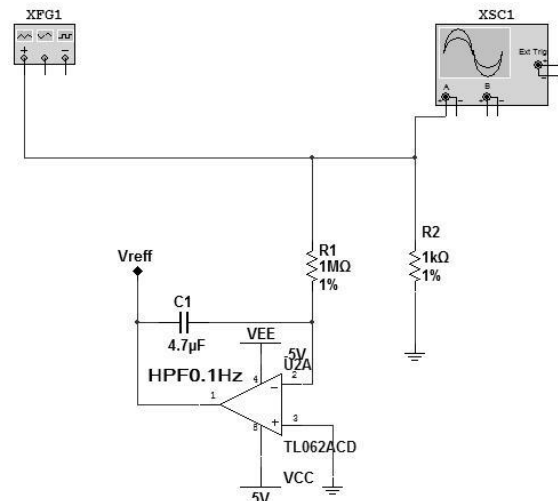
2) *Desain Filter*: Rangkaian HPF berfungsi untuk menolak frekuensi DC 0.1Hz. Rangkaian HPF0.1Hz ditunjukkan pada Gambar 7. *Cut off frequency* rangkaian didapat dari persamaan 9.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{6.28 \times 330.000\Omega \times 0.0047F} = 0.1Hz \quad (9)$$

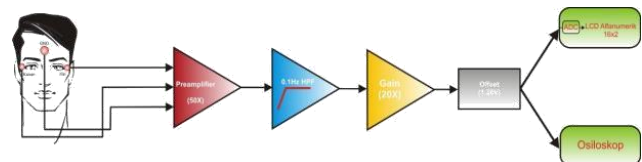
Pengujian *cut off frequency* dilakukan dengan memberikan input frekuensi mulai dari 0.01Hz hingga 0.1Hz. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rangkaian mampu melemahkan frekuensi 0.1Hz sebesar -3dB. Hasil pengujian ditunjukkan oleh Kurva Respon Frekuensi pada Gambar 8.

3) *Desain Penguat Akhir*: Berdasarkan teoritis, amplitudo sinyal gerakan mata adalah sekitar 1mV. Penguatan dan pemfilteran pada tahap sebelumnya telah dilakukan sebesar 50 kali, sehingga amplitudo sinyal sementara yang didapat adalah sebesar 50mV, untuk itu diperlukan penguatan akhir sebesar 20 kali untuk mencapai amplitudo sinyal keluaran sebesar 1V, sehingga dapat digunakan untuk keperluan ADC. Penguatan akhir ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$A_v = \left(\frac{R_B}{R_A} \right) = 1 + \left(\frac{20k\Omega}{1k\Omega} \right) = 20$$



Gambar 7 Pengujian HPF0.1Hz



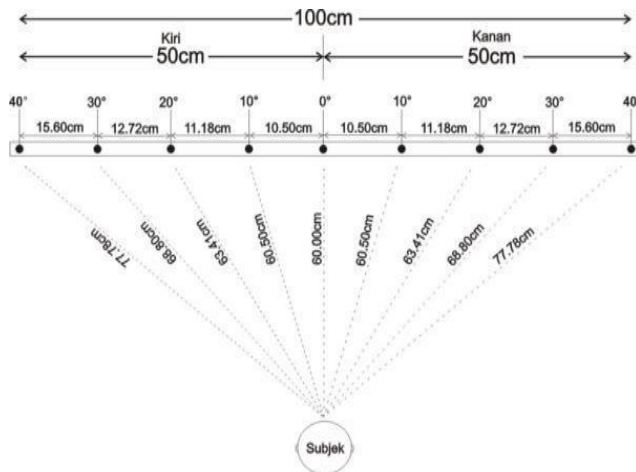
Gambar 8 Prinsip Kerja Sistem

B. Cara Kerja Sistem

Secara umum, cara kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 9, tiga keping elektroda ditempelkan di sisi kiri dan kanan mata, serta pada dahi, sinyal gerakan mata yang dihasilkan (1mV) akan ditangkap oleh elektroda dan disalurkan ke preamplifier untuk diperkuat sebesar 50 kali dan diekstrak dari noise 50Hz, sinyal hasil ekstraksi akan difilter dari komponen DC 0.1Hz, selanjutnya sinyal akan diperkuat kembali sebesar 20 kali sehingga menghasilkan keluaran sebesar 1V. Produk akhir sistem adalah berupa informasi analog dan digital sinyal gerakan mata yang masing-masing ditampilkan pada osiloskop dan LCD alfanumerik.



Gambar 9 Persiapan Antarmuka Kulit-Elektroda

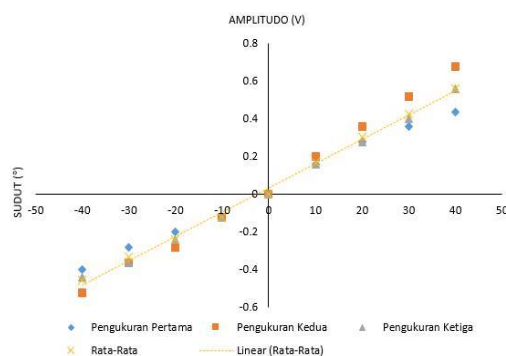


Gambar 10 Papan Pemandu Sudut

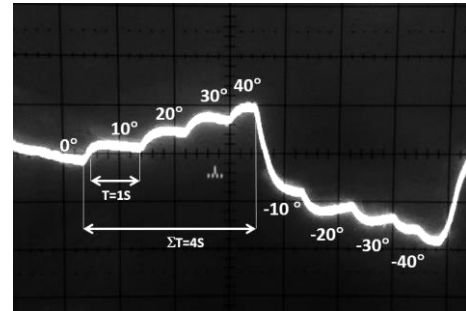
C. Pengujian Sistem

1) *Persiapan Kulit (Skins Preparation)*: Sebelum elektroda ditempelkan pada kulit, terlebih dahulu dilakukan pembersihan permukaan kulit menggunakan cairan alkohol dan penambahan jel induktif pada elektroda. Persiapan ini bertujuan untuk mengurangi impedansi kontak antara kulit dan elektroda. Setelah persiapan dilakukan, maka elektroda ditempel pada posisinya masing-masing sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11.

2) *Pengambilan Data*: Pengambilan data dilakukan dengan mengarahkan subjek ke sebuah papan pemandu sudut, selanjutnya subjek diminta untuk memproduksi gerakan mata sesuai dengan target pada papan pemandu. Prosedur pengukuran sinyal ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 11 Hubungan Sudut dan Amplitudo Sinyal Gerakan Mata Saccadic Horizontal

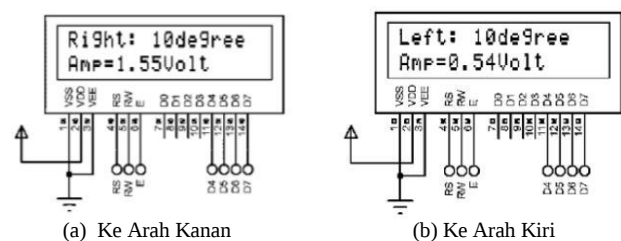


Gambar 12 Pola Sinyal Gerakan Mata Saccadic Horizontal

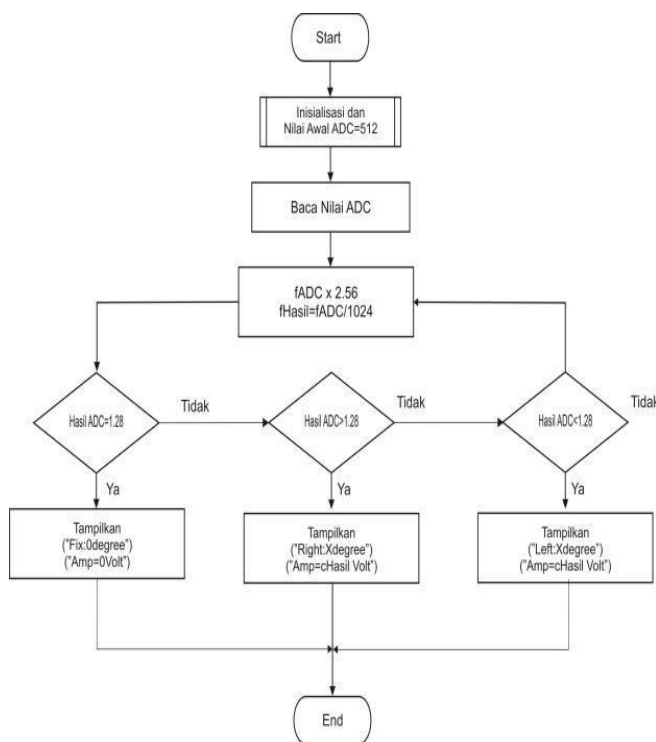
Dari pengambilan data yang dilakukan menunjukkan bahwa rangkaian mampu mendeteksi potensial listrik *sinyal saccadic* sebesar 0.56V ketika mata bergerak ke arah kanan 40° dan ketika mata bergerak ke arah kiri 40° sinyal yang terdeteksi adalah -0.56V. Hubungan sudut dan amplitudo sinyal gerakan mata *saccadic* horizontal yang ditunjukkan pada Gambar10.

Berdasarkan Gambar10. Terlihat sinyal gerakan mata saccadic horizontal yang didapat cukup linear. Hasil pengukuran juga menunjukkan nilai amplitudo sinyal saccadic horizontal mempunyai sifat yang variatif, hal ini dapat dilihat dari data pengukuran pertama hingga ketiga. Penyebab nilai yang variatif ini disebabkan oleh sifat sinyal biopotensial yang berubah-ubah dengan cepat.

Adapun pola sinyal gerakan mata saccadic horizontal yang dihasilkan dari pengukuran yang ditunjukkan pada Gambar.11 diatas terlihat pola sinyal yang di dapat dari pengukuran mampu mempresentasikan arah gerakan mata yang terjadi, step step kecil yang menyerupai pola anak tangga dan hal ini menunjukkan perubahan gerakan mata dengan besar sudut dan selang waktu tertentu.



Gambar 13 Informasi Sinyal Gerakan Mata Kekan dalam Bentuk Alfanumerik pada LCD16x2



Gambar 14 Diagram Alir Syntax Program

C. Digitalisasi Sinyal

Digitalisasi sinyal bertujuan untuk membuat suatu antarmuka yang lebih sederhana agar memudahkan pengguna memahami informasi sinyal gerakan mata.

Digitalisasi dimulai dengan melakukan penambahan offset terhadap sinyal saccadic yang didapat sebelumnya, pemberian offset dilakukan dengan rangkaian penggeser tegangan atau *clammer*, offset diatur sebesar 1.28V atau setengah dari nilai tegangan referensi ADC yang bernilai 2.56V. Penambahan offset bertujuan untuk menggeser level sinyal agar seluruhnya bernilai positif sehingga dapat terbaca oleh ADC mikrokontroler Atmega16.

Selanjutnya dirancang suatu algoritma yang diimplementasikan kedalam bentuk *syntax* program menggunakan bahasa pemrograman C pada software IDE Codevision AVR V2.05.3. Diagram Alir Syntax ditunjukkan pada Gambar 16. Syntax yang telah diuji akan diprogram kedalam IC mikrokontroler ATmega16 dan akan digunakan untuk menampilkan informasi sinyal pada LCD.

Dari konfigurasi yang dilakukan, rangkaian mampu menampilkan informasi pada LCD berupa besar nilai sudut dan amplitudo tegangan gerakan mata sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 15, berdasarkan gambar dapat dilihat bahwa pada saat arah gerakan mata ke kanan 10° maka akan tampil “Right=10degree, Amp=1.55Volt”, sedangkan pada saat arah mata ke kiri 10° maka akan tampil “Left=10degree, Amp=0.54Volt”

V. KESIMPULAN

1. Karakteristik sinyal saccadic horizontal adalah, sinyal akan menuju positif ketika mata bergerak ke kanan, dan akan menuju negatif ketika bergerak ke kiri.
2. Sistem mampu mendeteksi *sinyal saccadic* sebesar 0.68 V ketika mata bergerak ke arah 40° dan sebesar -0.68 V ketika mata bergerak 40° ke arah kiri.
3. Selesih kenaikan setiap 10° gerakan mata kekanan adalah 120mV, sebaliknya penurunan setiap 10° gerakan mata ke kiri adalah -120mV. Sudut gerakan maksimum yang diuji adalah 40° untuk kedua arah gerakan mata.
4. Dari pengujian yang dilakukan, sinyal gerakan mata mampu terbaca oleh osiloskop setelah keluaran blok preamplifier dengan CMRR sebesar 90dB.
5. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa standar deviasi rata-rata adalah 0.08, hal ini menunjukkan bahwa sistem mempunyai presisi pengukuran yang baik.

REFERENSI

- [1] Jaakko Malmivuo, R. P., 1995. *Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields*. New York: Oxford University Press.
- [2] John Enderle, S. B. J. B., 2005. *Introduction To Biomedical Engineering (Second Edition)*. California: Elsevier Academic Press.
- [3] Alex Dev, H. C. C. R. V., 2012. *Eye Controlled Wheel Chair Using EOG*. Coimbatore Institute of Information Technology.
- [4] Arivin, Z., 2005. Biopotensial Elektroda di Bidang Medis. *Majalah Kedokteran Nusantara*, Juni.
- [5] Mc Gill University, 2013. *The McGill Physiology Virtual Lab*. [Online] Available at: <http://www.medicine.mcgill.ca> [Accessed 4 9 2013].
- [6] Hughes, F. W., 1990. *Panduan Op-Amp*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- [7] Atmel Corporation, 2010. *8-bit AVR Microcontroller with 16K Bytes In-System Programmable Flash*: Atmel Corporation.