

Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis Biopotensial Mata (Studi Kasus : Mengontrol Aplikasi Berbasis Android)

Rahmat Maulana Yasin, Abdullah Nur Aziz*, Hartono

Fisika, FMIPA, Universitas Jenderal Soedirman

Corresponding Author: abd.nur.aziz@gmail.com

Abstrak > Perbedaan muatan antara dalam dan luar sel mengakibatkan perbedaan potensial pada sel yang disebut dengan biopotensial. Biopotensial yang dapat diukur salah satunya adalah biopotensial mata. Pada penelitian ini, biopotensial mata diterapkan pada sistem kontrol aplikasi *smartphone* berbasis Android. Sistem kontrol tersebut dapat membantu penyandang tunadaksa dalam mengoperasikan *smartphone*. Sistem dirancang dengan komponen perangkat keras yang terdiri dari elektroda Ag/AgCl, penguat instrumentasi, *Driven Right Leg* (DRL), *high pass filter*, *low pass filter*, penguat *non-inverting* dan penguat penjumlah yang selanjutnya diproses menggunakan Arduino Uno dan dikirim ke *smartphone* dengan koneksi *Bluetooth*. Aplikasi android dibuat menggunakan App Inventor 2 berupa aplikasi Surah Yaasiin. Selanjutnya diukur batas nilai pergerakan mata ke kanan dan ke kiri pada lima orang subjek dengan menginstruksikan menggerakkan mata ke kiri, lurus dan kanan. Nilai yang diperoleh untuk pergerakan mata ke kanan sebesar 1,87V dan ke kiri sebesar 2,23V yang selanjutnya dimasukkan dalam program arduino. Sistem selanjutnya diuji pada lima orang subjek dengan menghubungkan aplikasi ke *Bluetooth* rangkaian dan diamati respon pada aplikasi untuk menentukan nilai akurasi dan error dari sistem. Pengujian dilakukan dengan pengulangan tiap gerakan ke kanan dan ke kiri sebanyak 20 kali tiap subjek. Diperoleh akurasi rata-rata pergerakan mata ke kanan sebesar 84% dan ke kiri sebesar 86%, sedangkan nilai rata-rata error untuk pergerakan mata ke kanan sebesar 16% dan ke kiri sebesar 14%.

Kata kunci: Biopotensial, elektroda, mata, sistem kontrol, *smartphone*.

Abstract > The difference charge between the inside and outside of cells creates potential differences on the cells are called biopotentials. Biopotential that can be measured one of them is biopotential of the eye. In this research, biopotential of eye applied to the control system of smartphone app based on Android. The control system can help the disabled in operating the smartphone. The system is designed with hardware components consisting of Ag/AgCl electrodes, instrumentation amplifier, Driven Right Leg (DRL), high pass filter, low pass filter, non-inverting amplifier and summing amplifier which are further processed using Arduino Uno and sent to the smartphone by the Bluetooth connection. The Android app created using App Inventor 2 is a Surah Yaasiin app. Further measured the value of the movement of the eye to the right and left on the five subject by instructing moving the eye to the left, straight and right. Values obtained for right eye movement of 1.87V and to the left of 2.23V are then included in the Arduino program. The system was further tested on five subjects by connecting the application to the Bluetooth of Circuit and observed the response on the application to determine the accuracy and error value of the system. The test is done by repeating each movement to the right and left as much as 20 times each subject. The accuracy of the average eye movement to the right is 84% and to the left 86%, while the average error for the right eye movement is 16% and the left is 14%.

Keywords: Biopotential, control system, electrode, eye, smartphone.

PENDAHULUAN

Tubuh manusia terdiri dari berbagai macam sistem salah satunya adalah sistem kelistrikan. Contoh sistem kelistrikan terjadi pada potensial listrik yang mengalir pada sel-sel saraf dan serat otot. Potensial listrik ini berasal dari aliran ion bermuatan masuk dan keluar sel sehingga terjadi

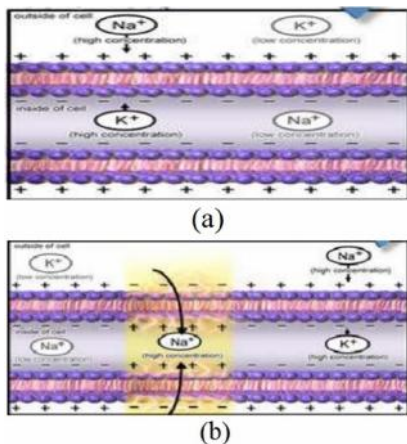
perbedaan potensial antara luar dan dalam sel atau disebut dengan biopotensial (Cleveland Medical Device Inc, 2006). Biopotensial yang dapat diukur salah satunya biopotensial mata atau EOG (Elektrookulogram).

Pada penelitian ini, biopotensial mata akan digunakan sebagai alat bantu penyandang tunadaksa untuk dapat mengontrol aplikasi pada *smartphone* berbasis android. Diharapkan dengan adanya sistem kontrol ini dapat membantu penyandang tunadaksa untuk dapat mengontrol aplikasi pada *smartphone* android.

TINJAUAN PUSTAKA

Biopotensial Mata

Biopotensial pada tubuh manusia terdiri dari dua jenis yaitu *resting potential* dan *action potential*. *Resting potential* terjadi ketika akson sedang beristirahat, Natrium berada di luar sel dan Kalium berada di dalam sel. Terjadi perbedaan konsentrasi antara kalium dan natrium, konsentrasi kalium lebih tinggi dari natrium di dalam sel sementara konsentrasi natrium lebih tinggi dari kalium di luar sel. Perbedaan konsentrasi tersebut mengakibatkan terjadinya pemompaan natrium ke dalam dan kalium ke luar sel sehingga anion memberikan muatan negatif untuk menjaga keseimbangan. Sedangkan *action potential* terjadi ketika akson aktif, natrium berada di dalam sel dan kalium berada di luar sel. *Action potential* merupakan kebalikan dari *resting potential* (Namdev & Siddiqui, 2015).



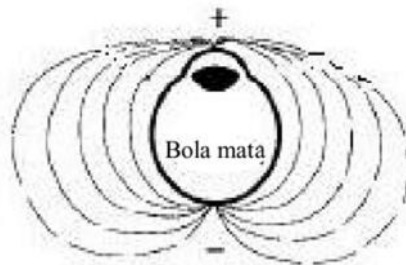
Gambar 1. (a) *resting potential* (b) *action potential*.

Beda potensial yang terjadi pada saat resting potential dapat direpresentasikan dengan persamaan Goldman :

$$V = -\frac{kT}{q_p} \ln \left(\frac{p_K [K^+]_i + p_{Na} [Na^+]_i + p_{Cl} [Cl^-]_o}{p_K [K^+]_o + p_{Na} [Na^+]_o + p_{Cl} [Cl^-]_i} \right) \quad (1)$$

Potensial yang terjadi bergantung pada temperatur (*T*), muatan proton (*q_p*), permeabilitas unsur (*P*), dan konsentrasi dari tiap ion (Hadiyoso & Rizal, 2015).

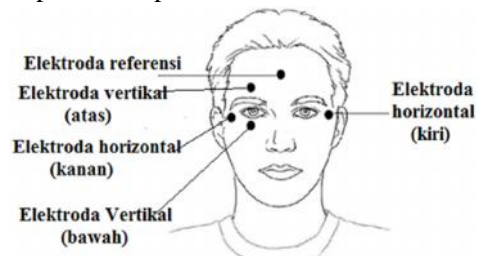
Pada elektrookulogram (EOG) sinyal biopotensial yang diterima merupakan *resting potential* dari mata yaitu antara kornea dan retina atau disebut dengan *corneal retinal potential (CRP)*. Mata memiliki dua kutub dengan kornea menjadi kutub positif sedangkan retina menjadi kutub negatif (Namdev & Siddiqui, 2015). Hal ini digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Posisi kutub dan medan listrik mata

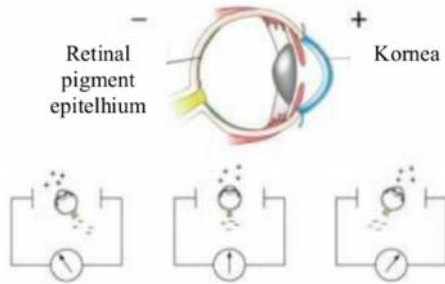
Elektrookulografi

Elektrookulografi merupakan salah satu teknik medis yang mana elektroda ditempatkan di dahi dekat mata untuk merekam gerakan mata. Gerakan mata dapat direkam dengan menempatkan elektroda di sebelah kiri dan kanan mata untuk mendeteksi gerakan horizontal atau di atas dan di bawah mata untuk mendeteksi gerakan vertikal (Namdev & Siddiqui, 2015). Gerakan vertikal dari mata yang terbaik diukur pada bagian atas mata sedangkan untuk gerakan horizontal terbaik diukur pada tulang disisi mata (Hadiyoso & Rizal, 2015). Penempatan elektroda dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Penempatan Elektroda

Mata digambarkan sebagai dipol tetap dengan kutub positif di kornea dan kutub negatif di retina. Ketika mata bergerak menuju salah satu elektroda, maka sisi positif dari retina menuju elektroda tersebut dan sisi negatif mata pada elektroda lainnya. Sinyal biopotensial mata berada pada kisaran frekuensi 0,1 Hz sampai 30 Hz (Constable *et al.*, 2017)



Gambar 4. Posisi kutub pada mata

Elektroda

Elektroda yang banyak digunakan sebagai alat penyadap sinyal biopotensial adalah elektroda Ag/AgCl (*Silver/Silver Chloride*). Elektroda ini banyak digunakan karena pemakaian yang mudah dan handal. Selain itu, elektroda ini dapat digunakan pada suhu lebih dari 100°C (Suryanto, 2007).

Elektroda Ag/AgCl ini kecil, mudah dibawa dan dapat digunakan pada berbagai penggunaan dan biasanya tidak mengkontaminasi media secara signifikan. Reaksi keseimbangan elektroda ini dapat ditulis sebagai berikut :

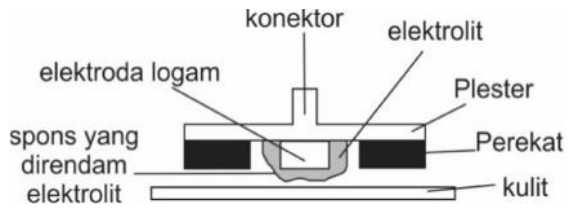


Dari persamaan reaksi, dapat diketahui bahwa potensial elektroda bergantung pada aktivitas ion Cl^- . Bentuk elektroda yang digunakan untuk EOG adalah seperti pada Gambar 5



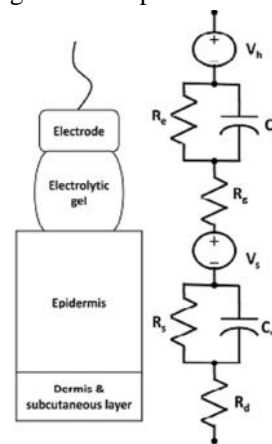
Gambar 5. Elektroda Ag/AgCl untuk menyadap sinyal biopotensial

Konstruksi dari elektroda pada Gambar 5 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Konstruksi elektroda Ag/AgCl

Model listrik dari antarmuka elektroda hingga kulit dapat digambarkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Model listrik biopotensial pada permukaan kulit

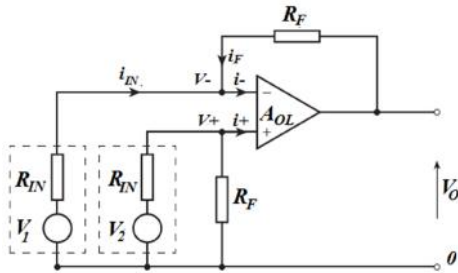
Gambar 7 menggambarkan suatu model listrik dari antarmuka elektroda-kulit yang basah. Dalam model ini, V_h , R_e dan C_e adalah *half cell potential* dari elektroda, resistensi dan kapasitansi. R_g adalah resistansi efektif dari gel, V_s adalah potensial karena semi-permeabilitas dari stratum korneum, lapisan atas epidermis; R_s dan C_s adalah resistensi dan kapasitansi dari lapisan epidermis dan R_d adalah resistensi dari lapisan kulit yang lebih dalam (Fleury, Sugar, & Chau, 2015).

Penguat Diferensial

Penguat diferensial merupakan suatu penguat dengan tegangan keluaran atau V_{out} yang merupakan hasil selisih antara kedua buah tegangan masukan pada terminal *inverting* dan *non-inverting*nya (Bentley, 2005). Rumus umum

yang berlaku untuk penguat diferensial adalah sebagai berikut :

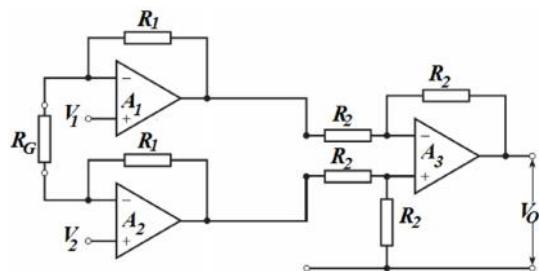
$$V_{out} = \frac{R_F}{R_{IN}}(V_2 - V_1) \tag{2}$$



Gambar 8. Rangkaian Penguat Diferensial

Penguat Instrumentasi

Penguat instrumentasi adalah pengembangan dari penguat diferensial (selisih tegangan) yang mengakomodasi masukan selisih tegangan. Penguat instrumentasi dibangun oleh tiga buah op-amp. Op-amp 1 dan 2 (A_1 dan A_2) dikonfigurasi sebagai penguat *non-inverting*, sedangkan op-amp ketiga (A_3) dikonfigurasi sebagai penguat selisih tegangan. Penguat instrumentasi didesain dan harus memenuhi tegangan *offset* minimum, penguatan stabil, ketaklinieran rendah, *input* impedansi sangat tinggi, *output* impedansi sangat rendah, serta rasio penolakan modus bersama (*common mode rejection ratio*, CMRR) sangat tinggi (Bentley, 2005).



Gambar 9. Rangkaian Penguat Instrumentasi

Tegangan keluaran yang dihasilkan dari rangkaian Gambar 9 ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$V_{out} = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right)(V_2 - V_1) \tag{3}$$

Sedangkan penguatannya dirumuskan sebagai :

$$A = \left(1 + \frac{2R_1}{R_g}\right) \tag{4}$$

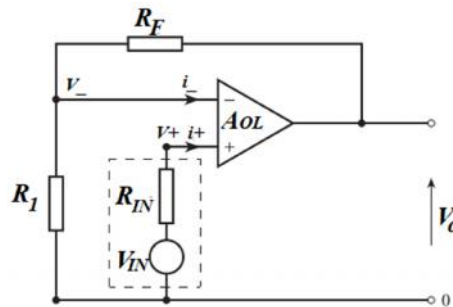
Penguat Tak Membalik

Penguat tak membalik merupakan rangkaian untuk menguatkan tegangan dengan keluaran memiliki fasa yang sama dengan masukannya (Bentley, 2005). Tegangan keluaran dari rangkaian ini sebagai berikut :

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R_1} + 1\right)V_{in} \tag{5}$$

Sedangkan penguatannya dapat dituliskan sebagai berikut :

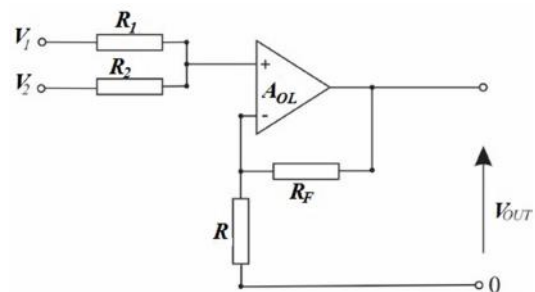
$$A_v = \left(\frac{R_f}{R_1}\right) + 1 \tag{6}$$



Gambar 10. Rangkaian Penguat tak membalik

Penguat Penjumlah

Rangkaian adder atau penjumlah sinyal menggunakan konfigurasi Op-Amp sebagai penguat dengan *input* lebih dari satu untuk menghasilkan nilai keluaran yang linier dengan hasil penjumlahan sinyal *input* dan faktor penguatannya. Dasarnya, rangkaian ini tersusun dari penguat membalik atau tak membalik yang diberi input lebih dari satu (Bentley, 2005).



Gambar 11. Penguat penjumlah tak membalik

Rangkaian penjumlah tak membalik memiliki penguatan yang tidak melibatkan resistansi input yang digunakan. Sehingga sebaiknya nilai resistansi inputnya bernilai sama agar hasil penjumlahan stabil dan akurat. Penguatan dari rangkaian ini sama seperti persamaan (6) sedangkan keluarannya sebagai berikut :

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R} + 1\right) \cdot \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_2\right) \quad (7)$$

Ketika nilai $R_1=R_2=R$ maka

$$V_{out} = \left(\frac{R_f}{R} + 1\right) \cdot \left(\frac{V_1 + V_2}{2}\right) \quad (8)$$

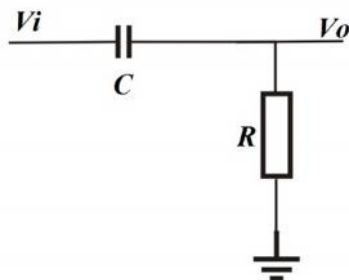
Filter

Frekuensi biopotensial mata berada pada rentang 0,1Hz sampai dengan 30Hz (Constable *et al.*, 2017). Sehingga frekuensi di luar rentang tersebut perlu diredam karena dapat mengakibatkan *noise*. Tapis lolos tinggi diperlukan untuk meredam frekuensi yang rendah dan meloloskan frekuensi yang tinggi yaitu di atas 0,1 Hz. Sedangkan tapis lolos rendah diperlukan untuk meredam frekuensi yang tinggi dan meloloskan frekuensi yang rendah yaitu di bawah 30 Hz. Frekuensi *cut-off* dari filter adalah :

$$f_c = \frac{1}{2f RC} \quad (9)$$

Tapis Lolos Tinggi (High Pass Filter)

Tapis lolos tinggi merupakan suatu rangkaian yang akan melewati isyarat yang berada diatas frekuensi *cut-off* dan akan menahan isyarat yang berada dibawah frekuensi *cut-off*. Sinyal *input* dilewatkan pada rangkaian seri Kapasitor (*C*) dan Resistor (*R*). Rangkaian HPF ditunjukkan pada Gambar 12.

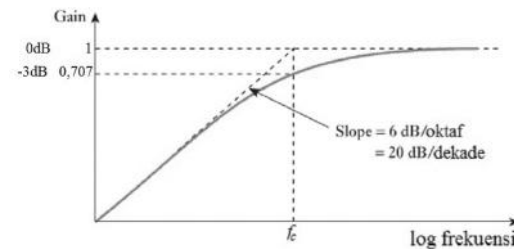


Gambar 12. Tapis Lolos Tinggi

Dari terjadi bagi tegangan antara *C* dan *R*. *Gain* dari rangkaian tapis lolos tinggi ini adalah

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{Z_R}{Z_R + Z_C} = \frac{R}{R - j \frac{1}{\omega C}} = \frac{1}{1 - j \frac{1}{\omega RC}} \quad (10)$$

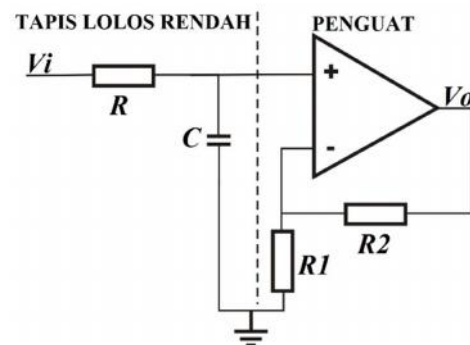
Pada saat frekuensi tinggi, maka sangat besar sehingga $j \frac{1}{\omega RC}$ sangat kecil dari 1, sehingga *gain* dari rangkaian akan mendekati 1. Sedangkan pada saat frekuensi rendah maka gain akan mengecil (Storey, 2009). Grafik respon *gain* dari frekuensi pada tapis lolos tinggi dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 13. Respon *gain* tapis lolos tinggi

Tapis Lolos Rendah (Low Pass Filter)

Tapis lolos rendah yang digunakan adalah tapis aktif yang keluarannya akan tetap ketika diberi beban sehingga tidak mengurangi tegangan sebelumnya. Tapis lolos rendah yang akan digunakan adalah tapis lolos rendah butterworth. Filter *Butterworth* tersusun dari tapis lolos rendah pasif dan penguat operasional.



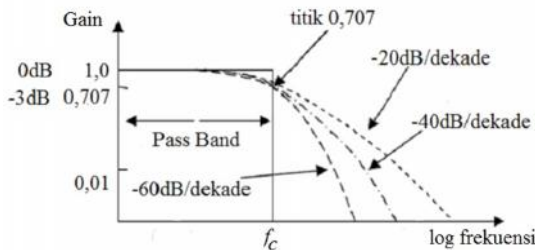
Gambar 14. Low Pass Filter Butterworth

Pada rangkaian tapis lolos rendah pasif terjadi bagi tegangan antara R dan C dan yang memasuki penguat adalah tegangan dari kapasitor. $Gain$ dari tegangan pada rangkaian *low pass filter* adalah

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{Z_C}{Z_R + Z_C} = \frac{-j\frac{1}{\omega C}}{R - j\frac{1}{\omega C}} = \frac{1}{1 + j\omega RC} \quad (11)$$

Pada saat frekuensi rendah, maka sangatlah kecil sehingga $j\omega RC$ sangat kecil dari 1, sehingga $gain$ dari rangkaian akan mendekati 1. Sedangkan pada saat frekuensi tinggi maka gain akan mengecil (Storey, 2009).

Hasil tanggapan frekuensi filter butterworth ini datar pada daerah *passband* dan redaman yang meningkat secara monotonik pada *stopband*. Oleh karena itu, *low pass filter Butterworth* sering digunakan sebagai *anti aliasing filter* dalam aplikasi konverter data dimana tingkat sinyal yang tepat diperlukan di seluruh sinyal *passband*.



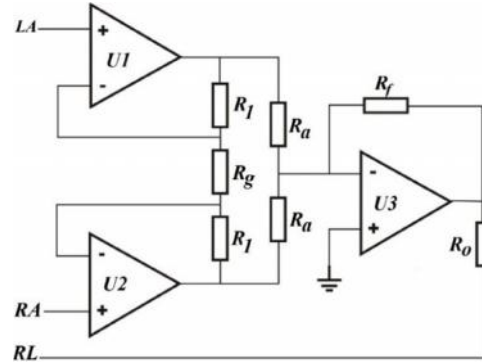
Gambar 15. Respon frekuensi LPF Butterworth

Gambar 15 menunjukkan respon ideal (garis solid) dan praktikal (garis putus-putus) frekuensi dari filter butterworth. Karakteristik dari sebuah Filter butterworth tidak didesain untuk menyimpan sudut fasa konstan pada frekuensi *cut-off*. pada frekuensi *cut-off* mengalami pelemahan sebesar -3dB dan frekuensi diatas frekuensi *cut-off* mengalami pelemahan menjadi -20dB/dekade/orde (Hidayat, 2012).

Driven Right Leg (DRL)

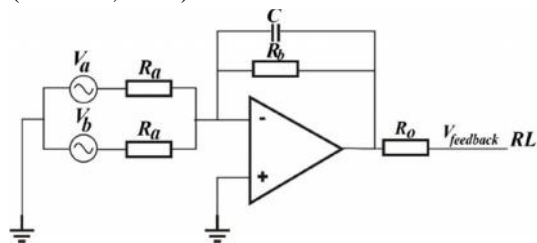
Rangkaian *Driven Right Leg* (DRL) merupakan rangkaian yang digunakan pada instrumen EKG untuk mengurangi *noise* yang berasal dari tubuh dan juga untuk sistem pengamanan pasien. Dinamai dengan *Driven Right Leg* karena elektroda yang

terhubung pada rangkaian ini adalah elektroda pada kaki kanan yang merupakan elektroda referensi pada EKG. Rangkaian ini juga dapat digunakan pada pengukuran EOG untuk memperoleh fungsi yang sama.



Gambar 16. Rangkaian *Driven Right Leg*

Elektroda kaki kanan terhubung pada keluaran Op-Amp. Tegangan *common-mode* pada tubuh dirasakan oleh rata-rata kedua resistor R_a , terbalik, diperkuat dan diumpankan kembali ke kaki kanan. Umpan negatif ini menjadikan tegangan *common-mode* bernilai rendah. Arus pada tubuh tidak mengalir ke ground melainkan ke keluaran Op-Amp. Hal tersebut berguna untuk mereduksi interferensi selama terhubung ke penguat biopotensial dan efektif meng-ground-kan pasien (Webster, 2009).

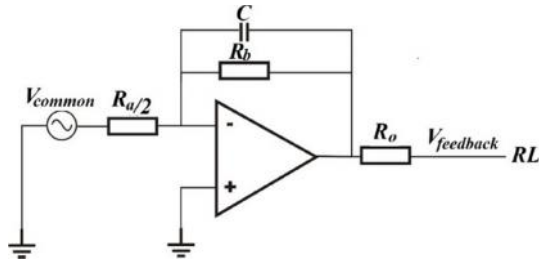


Gambar 17. Rangkaian *Driven Right Leg* dengan kapasitor

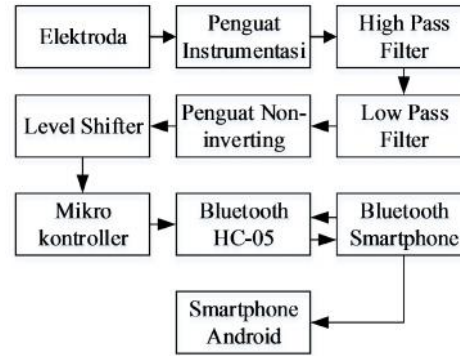
Pada gambar dapat memperkecil penguatan *common mode* pada rangkaian penguat biopotensial. Sinyal *common mode* dideteksi dan dikuatkan dengan faktor *feedback* dan diumpan balik negatif ke tubuh. Dengan faktor *feedback* yang besar, maka sinyal *common-mode* akan mengecil. Fungsi dari kapasitor C pada rangkaian adalah untuk mengurangi *noise* akibat frekuensi tinggi (Gunawan, 2011). Dengan prinsip thevenin maka, rangkaian Gambar 17 dapat diubah menjadi rangkaian Gambar 18 dengan

$V_{thevenin}=(V_a+V_b)/2$, $R_{thevenin}=R_a/2$ dan $R_f=Z_C/R_b$. Sehingga

$$\frac{V_{feedback}}{V_{commonmode}} = -\frac{2R_f}{R_a} \quad (12)$$



Gambar 18. Rangkaian ekuivalen driven right leg dengan Kapasitor

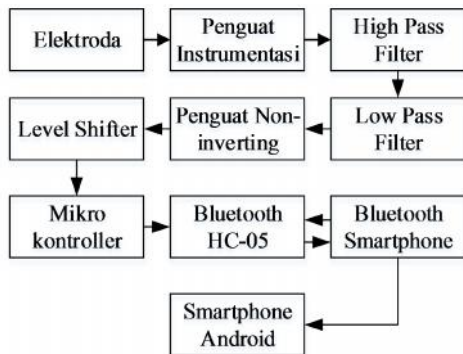


Gambar 19. Diagram blok Sistem

METODE

Perancangan dan Perangkaian Sistem

Pada tahap ini sistem dirancang dan dirangkai sesuai dengan diagram blok yang ditunjukkan



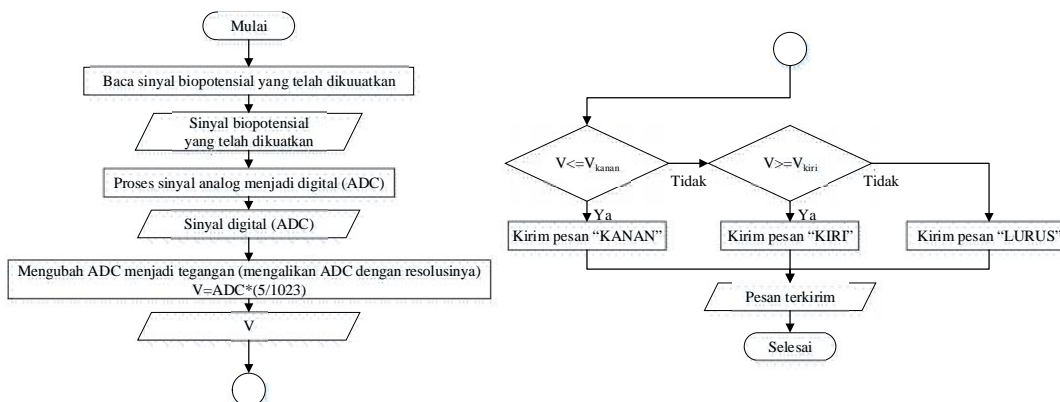
pada Gambar 19.

Pengambilan Data Tegangan

Tegangan yang diukur merupakan biopotensial mata yang telah melewati rangkaian pengkondisi sinyal. Data diambil pada mata lima orang subjek dengan menginstruksikan pergerakan matanya ke arah kanan dan kiri serta lurus secara berulang-ulang. Selanjutnya data dianalisis sehingga diperoleh nilai batas tegangan pergerakan mata ke kanan dan ke kiri yang selanjutnya dimasukkan ke dalam program pada arduino.

Pembuatan Program Mikrokontroller

Program dibuat dengan menggunakan software Arduino IDE. Adapun diagram alir pemrograman tersebut ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Diagram Alir Program Mikrokontroller

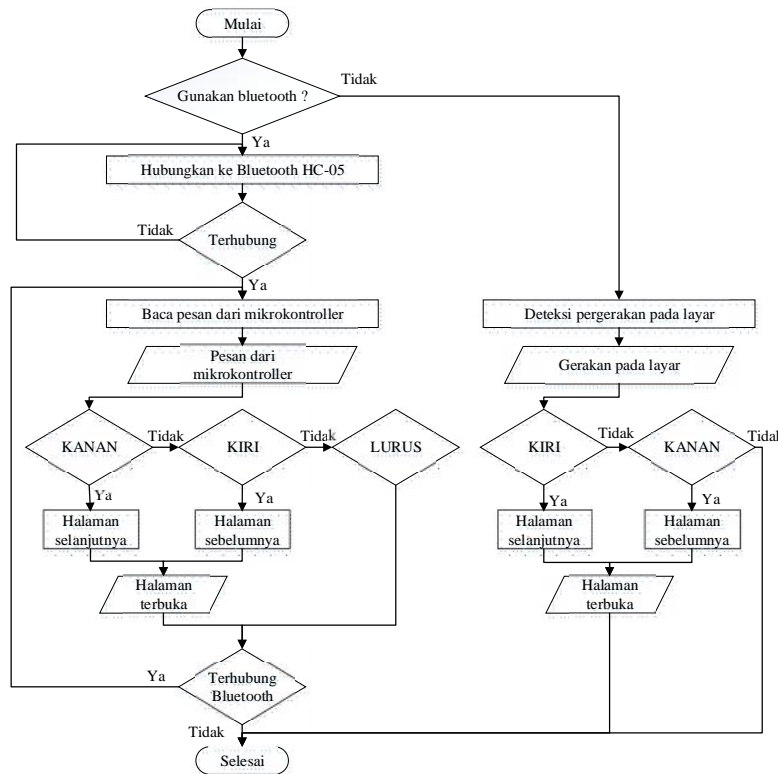
Pembuatan Aplikasi Android

Aplikasi android yang dibuat adalah aplikasi buku surah Yaasiin. Aplikasi dibuat dengan

menggunakan App inventor 2. Pembuatan aplikasi dapat dilakukan secara online di <http://appinventor.mit.edu/>. Koneksi aplikasi

di-setting sebagai *Bluetooth client* dan dapat menerima pesan dari perangkat *Bluetooth* lainnya. Pesan yang diterima digunakan sebagai perintah untuk membuka halaman selanjutnya dan halaman sebelumnya. Selain itu, aplikasi ini dapat digunakan tanpa terhubung ke sistem

kontrol yaitu dengan cara menyapukan jari pada layar ke arah kiri untuk membuka halaman selanjutnya dan ke arah kanan untuk membuka halaman sebelumnya seperti membuka halaman buku. Adapun diagram alir pemrogramannya ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Diagram Alir Aplikasi Android

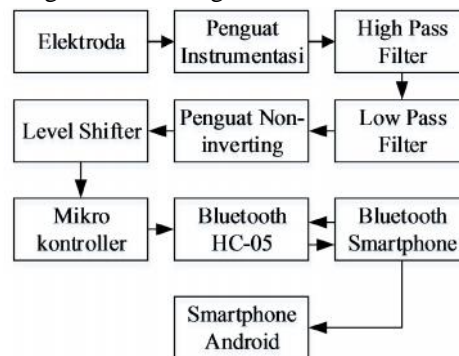
Pengujian Sistem

Tahap ini sistem telah selesai dirangkai dan siap untuk diuji. Pengujian dilakukan pada mata lima orang subjek dengan rangkaian yang sudah terhubung dengan android. Mata digerakkan ke kanan dan ke kiri dengan pengulangan 20 kali tiap gerakan tiap subjek. Respon yang terjadi pada aplikasi android dicatat.

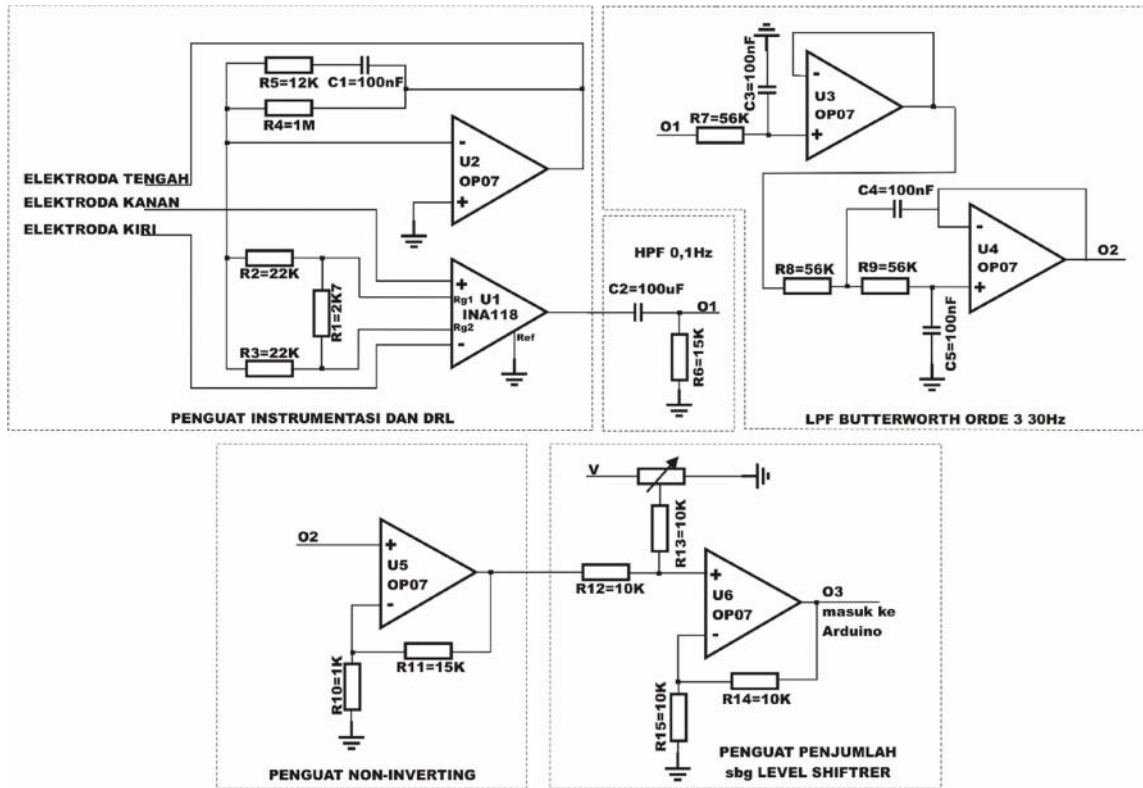
HASIL DAN PEMBAHASAN
Perancangan dan Perangkaian Sistem

Tahap ini dibagi menjadi beberapa bagian yaitu perancangan sistem, pembuatan skema rangkaian, pemilihan komponen, pembuatan

layout PCB, *etching* PCB, pengeboran dan pemasangan komponen. Sistem dirancang sesuai dengan diagram blok pada



Gambar 19 dan selanjutnya pembuatan skema rangkaian untuk *input* hingga *level shifter* sebagai rangkaian pengkondisi sinyal seperti pada Gambar 22.



Gambar 22. Skema rangkaian pengkondisi sinyal

Rangkaian pengkondisi sinyal dirancang dengan penguatan penguat instrumentasi sebesar 20 kali dan elektroda referensi terhubung dengan rangkaian *DRL*. Filter HPF yang digunakan adalah filter pasif dengan frekuensi *cut-off* 0,1 Hz dan LPF dengan filter aktif tipe Butturwoth dengan topologi *sallen-key* Orde 3 dengan frekuensi *cut-off* 30Hz. Penguat *non-inverting* dirancang dengan penguatan 15 kali dan penguat penjumlah dengan penguatan 1 kali dengan tegangan tambahan sebesar 1V.

Rangkaian yang telah dirancang selanjutnya dibuat pada PCB. Pembuatan rangkaian pada PCB terdiri dari beberapa tahap diantaranya pembuatan layout PCB menggunakan *software sprint layout 6.0*. Selanjutnya *layout* diaplikasikan pada PCB dengan teknik gosok menggunakan *lotion* dan selanjutnya di-*etching* dengan menggunakan larutan $FeCl_3$. PCB yang telah di-*etching* selanjutnya dibor dan komponen dipasang. Hasil rangkaian yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Rangkaian Pengkondisi sinyal



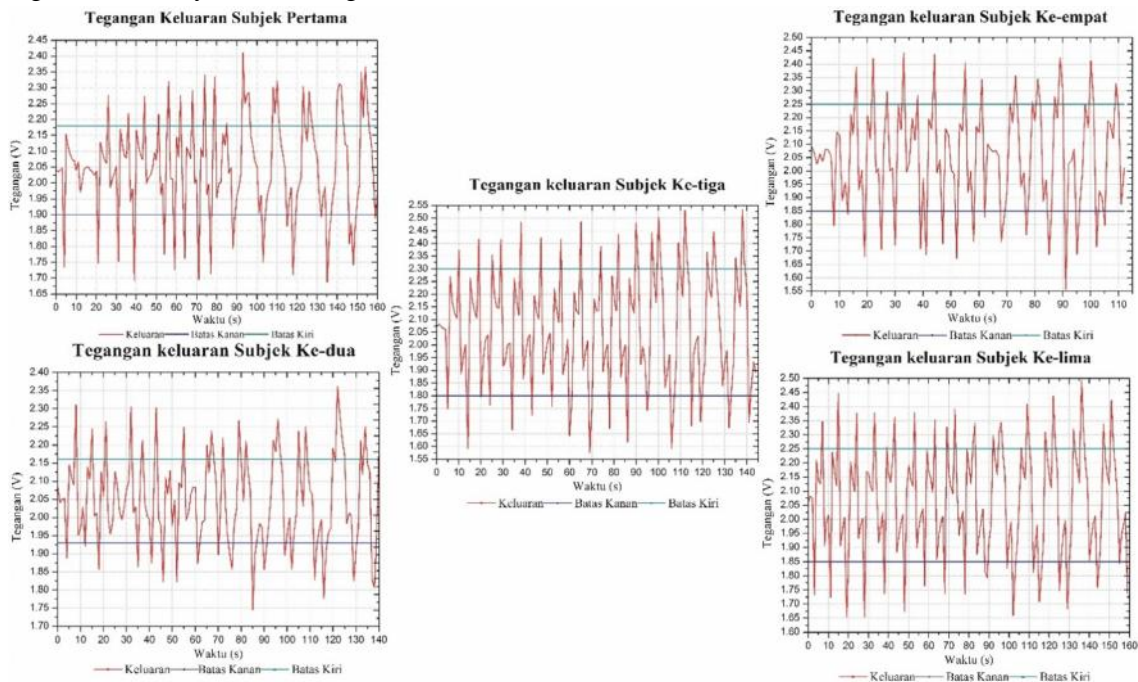
Gambar 24. Sistem Kontrol

Keluaran dari rangkaian pengkondisi sinyal selanjutnya akan diolah dengan menggunakan mikrokontroller arduino uno yang terhubung dengan pin pembacaan sinyal analog dan *ground*. Selanjutnya hasil pengolahan oleh mikrokontroller akan dikirim dengan menggunakan *Bluetooth* HC-05 yang memiliki tegangan kerja untuk pin RX sebesar 3,3V sehingga dibutuhkan rangkaian pembagi tegangan dari PIN TX arduino ke PIN RX Bluetooth. Dikarena PIN TX arduino memiliki tegangan sebesar 5V, maka dibutuhkan resistor sebesar 1K dan 2K untuk membagi tegangannya. Sistem Kontrol lengkap dapat dilihat pada Gambar 24.

Pengambilan Data Tegangan

Data yang diambil adalah tegangan yang berasal dari biopotensial mata telah melewati rangkaian pengkondisi sinyal. Biopotensial mata diukur dengan menggunakan NI USB-6009 dan direkam dengan menggunakan software *Data Logging and Monitoring*. Subjek penelitian yang digunakan sebanyak lima orang.

Tegangan keluaran yang telah melewati rangkaian pengkondisi sinyal dapat dilihat pada Gambar 25. Pada grafik, untuk puncak merupakan pergerakan mata kearah kiri dan lembah merupakan pergerakan mata ke kanan. Pengambilan data dilakukan dengan dua keadaan dimana saat pergerakan ke kanan dan ke kiri ditahan selama satu detik dan lima detik. Pada grafik, lima puncak dan lima lembah terakhir merupakan pergerakan mata yang ditahan selama lima detik. Dari rekaman data pengukuran melalui *software Data Logging and Monitoring* ditentukan waktu yang terbaik dalam pergerakan mata, dilihat dari nilai pergerakan mata apabila bergerak ke kiri maka nilai setelahnya tidak menunjukkan seperti bergerak ke arah kanan atau sebaliknya. Waktu pergerakan terbaik yang diperoleh adalah 0,98 detik. Sehingga pada grafik ditentukan batas pergerakan mata yang disesuaikan ketika ditahan selama satu detik. Batas pergerakan mata ditentukan secara visual dengan memperhatikan respon dari setiap pergerakan.



Gambar 25. Tegangan keluaran tiap subjek

Dari grafik pada Gambar 25 diperoleh batas-batas pergerakan mata untuk tiap subjek yang dapat dilihat pada

Tabel 1

Tabel 1. Batas pergerakan mata tiap subjek dalam satuan Volt

Subjek ke-	Batas Kanan	Batas Kiri
1	1,90	2,18
2	1,93	2,16
3	1,80	2,30
4	1,85	2,25
5	1,85	2,25
Rata-rata	1,87	2,23

Batas pergerakan mata rata-rata yang diperoleh dari setiap subjek untuk pergerakan mata ke kanan adalah 1,87V dan pergerakan ke kiri adalah 2,23V. Nilai batas yang diperoleh ini selanjutnya digunakan pada pemrograman mikrokontroler arduino uno.

Pembuatan Program Mikrokontroler

Program yang dibuat dalam penelitian ini adalah program untuk mengirim pesan arah pergerakan mata melalui Bluetooth. Program dibuat menggunakan software arduino IDE dengan bahasa pemrograman C. Program ini menggunakan fungsi *if* untuk menentukan arah pergerakan mata dengan batas nilai yang telah diperoleh pada tahap sebelumnya.

```
int Analogpin=A0; //pin yang digunakan
//untuk membaca sinyal analog
int adc=0; //variabel untuk pembacaan adc
float V=0; //variabel untuk mengubah nilai adc
//jadi tegangan
void setup() {
  Serial.begin(9600); //baudrate untuk bluetooth
}
```

Gambar 26. Inisiasi dan *void setup* program arduino

Bagian inisiasi program ini adalah pembacaan *input* analog yang berasal dari pin *A0* pada arduino uno dan variabel *adc* dengan nilai awal 0 yang keduanya merupakan bilangan *integer* (bulat) serta variabel *V* dengan nilai awal 0 yang merupakan bilangan *float* (desimal). Selanjutnya pada *void setup* merupakan bagian yang akan dieksekusi sekali saja pada awal program berjalan, terdapat pengaturan *baudrate* untuk komunikasi serial. Pada program ini digunakan *baudrate* 9.600bps. Nilai ini merupakan nilai

standar pada komunikasi serial karena tidak terlalu lambat dan tidak terlalu cepat karena apabila terlalu cepat dapat mengakibatkan *noise*. Nilai *baudrate* ini harus sama dengan piranti yang akan dikomunikasikan seperti pada *Bluetooth* atau serial monitor dan serial plotter pada arduino IDE.

```
void setup() {
  Serial.begin(9600); //baudrate untuk bluetooth
}

void loop() {
  adc = analogRead(Analogpin); //pembacaan adc
  V = adc*(5.00/1023.00); //adc dikali resolusi
//untuk menjadi tegangan
  if (V>=2.23) { //tegangan batas untuk kiri
    Serial.print("KIRI");
  }
  else if (V<=1.87) { //tegangan batas untuk kanan
    Serial.print ("KANAN");
  }
  else {
    Serial.print("LURUS");
  }
  delay (1000);
}
```

Gambar 27. *Void loop* program arduino

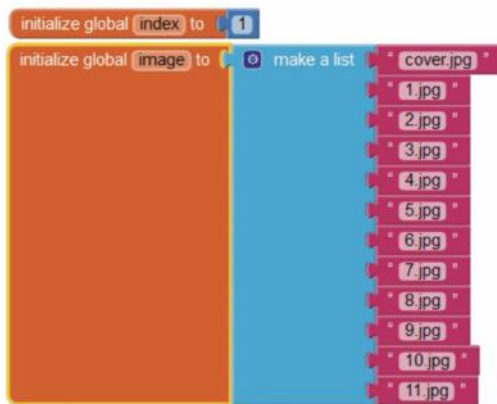
Bagian *void loop* merupakan bagian yang akan diulang terus menerus selama arduino menyala. Terdapat perintah pembacaan input analog yang disimpan pada variabel *adc*. Selanjutnya, nilai *adc* yang diperoleh diubah menjadi nilai tegangan dengan cara mengalikan nilai *adc* dengan resolusi adc 10 bit pada arduino dengan tegangan referensi 5V. Setelah diperoleh nilai tegangan, selanjutnya nilai tegangan tersebut dibandingkan dengan nilai batas arah pergerakan mata ke kanan atau ke kiri menggunakan fungsi logika *if*. Jika nilai pembacaan lebih dari 2,23V maka arduino akan mengirimkan pesan "KIRI" dan jika nilai pembacaan kurang dari 1,87V maka arduino akan mengirim pesan "KANAN" selain itu apabila nilai pembacaan bukan keduanya maka arduino akan mengirim pesan "LURUS". Perulangan dilakukan dengan jeda atau *delay* selama 1000ms atau 1s.

Pembuatan Aplikasi Android

Aplikasi android yang dibuat adalah aplikasi buku surah Yaasiin. Aplikasi dibuat dengan menggunakan *App inventor 2*. Pembuatan aplikasi dilakukan secara *online* di <http://appinventor.mit.edu/>. Fungsi-fungsi pada *App inventor 2* berupa blok-blok perintah

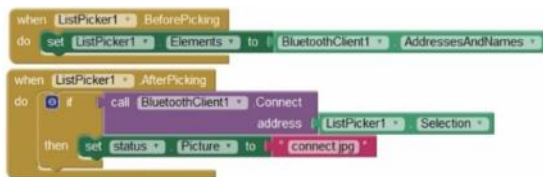
seperti *puzzle* sehingga memudahkan pengguna untuk membuat program karena apabila tidak sesuai atau bukan pasangannya tidak akan dapat terhubung.

Aplikasi surah Yaasiin pada penelitian ini dapat dikontrol dengan menggunakan sistem kontrol yang telah dibuat atau secara manual dengan menyapu layar ke kanan atau kiri tanpa koneksi *Bluetooth*. Sehingga aplikasi ini dapat digunakan oleh penyandang tunadaksa atau orang normal. Pada program ini terdapat beberapa bagian diantaranya blok inisiasi, blok untuk menghubungkan dengan *Bluetooth*, blok penerimaan pesan dan blok penggunaan aplikasi secara manual.



Gambar 28. Blok program inisiasi

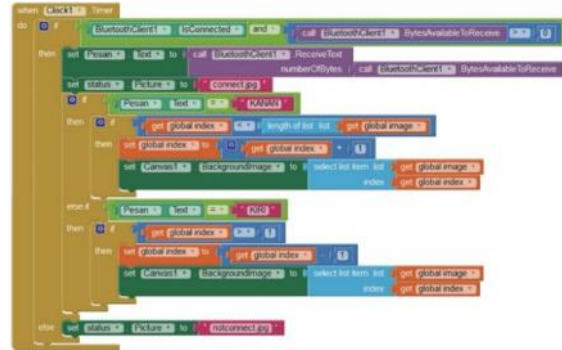
Blok pertama adalah blok inisiasi yang ditunjukkan pada Gambar 28. Pada blok ini diinisiasikan *global index* dan *global image*. Pada *global index* diinisiasikan dengan nilai satu dan selanjutnya *global index* dapat berubah bergantung dari keadaan pada blok selanjutnya. Pada *global image* diinisiasikan urutan atau daftar gambar dari halaman-halaman surah Yaasiin, terdapat *cover* dan isi dengan jumlah sebelas halaman.



Gambar 29. Blok program koneksi *Bluetooth*

Blok ke-dua merupakan blok program untuk koneksi *Bluetooth* yang ditunjukkan pada

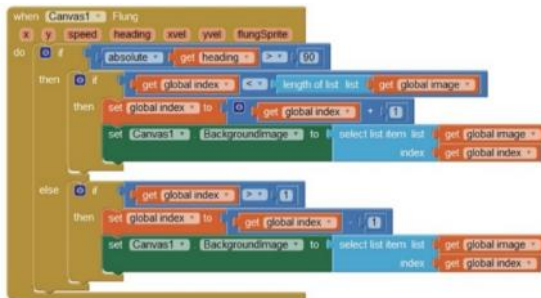
Gambar 29. Pada blok ini terdapat *ListPicker1* yaitu tombol yang selanjutnya akan menampilkan daftar piranti *Bluetooth* yang aktif disekitar *smartphone*. Pada *Before Picking* akan menampilkan *Bluetooth* yang aktif dan pada *after picking* yaitu setelah memilih piranti *Bluetooth*-nya maka *Bluetooth client* akan dihubungkan dengan piranti yang dipilih dan apabila terhubung maka gambar status koneksi akan berubah menjadi terhubung.



Gambar 30. Blok program penerimaan pesan *Bluetooth*

Blok ke-tiga adalah blok penerimaan pesan *Bluetooth* yang ditunjukkan pada Gambar 30. Pada blok ini menggunakan *clock timer*, *timer* ini berfungsi seperti *delay* yaitu untuk memberi jeda penerimaan pesan melalui *Bluetooth*, pada program ini digunakan *delay* satu detik karena pada program arduino menggunakan *delay* satu detik juga. Nilai *delay* program aplikasi android dengan program pengiriman pesan pada arduino harus sama agar pesan yang dikirim akan langsung diterima oleh aplikasi android. Jika *Bluetooth* terhubung dan jumlah bit yang diterima lebih besar dari 0 maka pesan yang diterima akan disimpan pada label “Pesan” dan status koneksi akan terhubung, jika tidak menerima pesan apapun maka status koneksi akan terputus. Pesan yang diterima selanjutnya akan dibandingkan dengan menggunakan fungsi logika *if*. Jika pesan yang diterima adalah “KANAN” maka akan dieksekusi fungsi logika *if* selanjutnya yaitu untuk mengubah gambar. Jika nilai *global index* kurang dari posisi gambar pada *global image* maka nilai *global index* akan ditambahkan satu dan *background* gambar pada *canvas1* akan diubah menjadi posisi *global image* sesuai nilai *global index* pada saat ini. Jika

pesan yang diterima adalah “KIRI”, maka jika *global index* lebih besar dari satu maka nilai *global index* akan dikurangi satu dan *background canvas1* akan diubah menjadi posisi *global image* sesuai nilai *global index* pada saat ini.



Gambar 31. Blok program penggunaan aplikasi secara manual

Blok ke-empat adalah blok yang berfungsi untuk menjalankan aplikasi tanpa koneksi *Bluetooth* atau tidak menggunakan biopotensial mata. Blok program ditunjukkan pada Gambar 31. Blok ini digunakan untuk pengguna aplikasi yang merupakan orang normal atau tidak memiliki sistem kontrol. Blok ini memungkinkan pengguna hanya dengan menyapukan jarinya pada layar ke arah kiri atau kanan untuk mengganti halaman. Ketika *canvas1* disapu dengan jari dan jika besar sudut absolut yang terbentuk dari titik pertama jari menyentuh layar dan titik akhir membentuk sudut lebih dari 90° atau disapukan ke arah kiri, maka jika nilai *global index* kurang dari posisi gambar pada *global image* maka nilai *global index* akan ditambahkan satu dan *background* gambar pada *canvas1* akan diubah menjadi posisi *global image* sesuai nilai *global index* pada saat ini. Selain itu, jika nilai *global index* kurang dari posisi gambar pada *global image* maka nilai *global index* akan ditambahkan satu dan *background* gambar pada *canvas1* akan diubah menjadi posisi *global image* sesuai nilai *global index* pada saat ini.

Pengujian Sistem

Setelah sistem kontrol dirangkai dan batas pergerakan mata ke kiri dan kanan telah dimasukkan kedalam mikrokontroller,

selanjutnya sistem diuji dengan menghubungkan smartphone android dengan aplikasi surah Yaasiin yang telah di-*install* terlebih dahulu. Sistem diuji pada lima subjek dengan menginstruksikan subjek menggerakkan mata ke kiri dan ke kanan. Respon sistem dilihat pada aplikasi Surah Yaasiin yang telah di-*install* pada smartphone android. Ketika mata bergerak ke kanan maka aplikasi surah Yaasiin akan membuka halaman selanjutnya dan apabila mata bergerak ke kiri maka aplikasi surah Yaasiin akan membuka halaman sebelumnya. Pergerakan mata ke kanan dan ke kiri dilakukan sebanyak 20 kali untuk memperoleh nilai akurasi dan nilai error. Akurasi merupakan ketepatan sistem dalam menampilkan respon sesuai dengan instruksi, sedangkan error merupakan kesalahan dimana respon tidak sesuai dengan instruksi. Nilai akurasi dan error dari setiap subjek dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Akurasi dan error sistem kontrol

Subjek	Kanan		Kiri	
	Akurasi	Error	Akurasi	Error
1	100%	0%	75%	25%
2	80%	20%	90%	10%
3	75%	25%	90%	10%
4	75%	25%	95%	5%
5	90%	10%	80%	20%
Rata-rata	84%	16%	86%	14%

Dari hasil pengujian yang diperoleh nilai rata-rata akurasi untuk pergerakan mata ke kanan sebesar 84% dan ke kiri sebesar 86%, sedangkan nilai rata-rata error untuk pergerakan mata ke kanan sebesar 16% dan ke kiri sebesar 14%. Error dapat terjadi karena waktu pergerakan mata dapat berbeda-beda sehingga tegangan yang dihasilkan tidak sesuai dengan nilai batas yang ditetapkan. Waktu pergerakan mata yang ditahan terlalu lama dapat mengakibatkan respon seperti bergerak kearah sebaliknya atau dalam aplikasi ditandai dengan aplikasi membuka halaman selanjutnya tetapi ketika lurus akan kembali ke halaman sebelumnya sehingga halaman yang ditampilkan tetap seperti halaman sebelum melakukan gerakan mata atau justru menampilkan halaman sebelumnya. Apabila

waktu pergerakan yang terlalu singkat maka tegangan yang dihasilkan tidak sampai pada batas pergerakan mata sehingga pada aplikasi tidak menunjukkan respon apa-apa.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Sistem kontrol berbasis biopotensial mata untuk mengontrol aplikasi surah Yaasiin berbasis Android telah berhasil dirancang dan dibangun. Komponen yang digunakan adalah elektroda Ag/AgCl, pengkondisi sinyal berupa penguat instrumentasi, *Driven Right Leg* (DRL), *High Pass Filter*, *Low Pass Filter*, penguat *non-inverting* dan penguat penjumlah yang selanjutnya diproses menggunakan Arduino Uno dan dikirim ke *smartphone* Android dengan koneksi *Bluetooth*. Dari pengujian sistem diperoleh akurasi rata-rata ke kanan sebesar 84%, ke kiri sebesar 86% dan error rata-rata ke kanan sebesar 16%, ke kiri sebesar 14%.

Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah :

1. Memperhatikan kondisi kesehatan mata subjek penelitian.
2. Memvariasikan subjek untuk berbagai usia dengan rentang usia yang berjauhan.
3. Memperhatikan sudut pergerakan mata.
4. Menambah *channel* untuk pergerakan mata ke atas dan ke bawah.
5. Menggunakan program dengan logika seperti rangkaian flip-flop untuk meningkatkan nilai akurasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bentley, J. P. (2005). *Principles Of Measurement Systems*. England: Pearson Education.
- Cleveland Medical Device Inc. (2006). *Biopotential Basics Student*. Retrieved Desember 7, 2016, from Great Lakes Neurotechnologies: https://glneurotech.com/docrepo/teaching-labs/BioPotential_Basics_Student.pdf
- Constable, P. A., Bach, M., Frishman, L. J., Jefferey, B. G., & Robson, A. G. (2017, Januari 1). ISCEV Standard for clinical electro-oculography (2017 update). *ISCEV STANDARDS*, 1-9. doi:10.1007/s10633-017-9573-2
- Fleury, A., Sugar, m., & Chau, T. (2015, Februari 25). E-textiles in Clinical Rehabilitation: A Scoping Review. (W. Scanlon, A. Alomainy, & N. Timmons, Eds.) *Electronics*, 4, 173-203.
- Gunawan, H. (2011). Alat Untuk Memperagakan Irama Denyut Jantung Sebagai Bunyi dan Pengukur Kecepatan Denyut Jantung Melalui Elektroda pada Telapak Tangan. *Electrical Engineering Journal*, 2, 45-65.
- Hadiyoso, S., & Rizal, A. (2015). *Instrumentasi Biomedis Berbasis PC*. Yogyakarta: Gava Media.
- Hidayat, W. S. (2012). Kinerja Butterworth Low-Pass Filter pada Teknik Modulasi Digital ASK Terhadap Paket Data yang dipengaruhi oleh Derau. *InComTech*, 3(2), 169-183.
- Namdev, K., & Siddiqui, M. M. (2015, Februari). Different Types Of Electrical Signals Produced By Human Body. *International Journal of Advance Research In Science And Engineering*, 4(2), 232-239.
- Storey, N. (2009). *Electronics : A Systems Approach* (4th ed.). England: Pearson Education Limited.
- Suryanto. (2007, Nopember 20). Kalibrasi Elektroda Referensi. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Nasional Rekayasa Perangkat Nuklir*, 35-44.
- Webster, J. G. (2009). *Medical Instrumentation : Application And Design* (4th ed.). USA: John Wiley & Sons, Inc.