

Pengolahan Sinyal EOG Satu Kanal dengan Karakterisasi Vektor dan Deteksi Puncak

Pujo Laksono, Aciek Ida W., Emir M. Husni

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung

e-mail: pujo@ic-proc.paume.itb.ac.id

Abstract

The more channels required in EOG signal recognition will also require more electrodes attached to the subject. With the end goal to develop an entertainment application, this research focuses in single-channel EOG which is simpler and less complicated, but is still functional. In this research, a characterization on each single-channel EOG signal which is viewed necessary as a part of a control scheme for a multimedia player is being pursued. The signals belong to the four main eye movements (up-down-left-right) and two eyeblinks, each belongs to a specific eye. Signal recognition was done by dividing operational voltage regions from the EOG signal receiver hardware into five separate regions, in which where each region will identify when a peak or valley of a signal happens. Therefore, each signal can be defined through a sequence of certain hill and peak which is relatively consistent for each signal. A signal recognition algorithm can afterwards be developed for each of these signals, and then implemented in a software which can eventually serve as one of the possible Human-Machine Interfaces (HMI) using EOG signals.

Keywords: EOG Signal, Brain-Computer Interface, pattern recognition, peak detection, thresholding

1. PENDAHULUAN

Electrooculogram (EOG) adalah sinyal yang dihasilkan oleh kegiatan electrooculography, yakni pemasangan elektroda di sekitar kedua mata untuk mendeteksi pergerakan retina secara relatif terhadap kornea mata. EOG ini bekerja dengan cara menangkap perbedaan potensial yang terjadi pada otot-otot mata ketika mata akan berkedip atau bergerak di dalam rongga mata, kemudian meneruskannya kepada penerima sinyal EOG.

Sebagai salah satu metoda pengenalan sinyal tubuh secara elektrik, EOG sudah mulai difungsikan sebagai salah satu cara manusia untuk berkomunikasi dengan komputer atau perangkat-perangkat rumit lainnya secara elektrik [1] [2] [3] [4], namun metoda pengumpulan data serta pemrosesan sinyal dari EOG itu sendiri masih banyak diteliti untuk mewujudkan suatu metoda yang praktis namun juga memberikan fungsi yang optimal dalam implementasinya.

Beberapa penelitian telah dikembangkan mengenai pengumpulan serta pengolahan data dari EOG ini, di antaranya menggunakan satu kanal [5] dan dua kanal [6] [7] [8], maupun tiga kanal [9]. Perbedaan

dari jumlah kanal ini terletak pada sinyal yang dapat diterima dan diproses, serta metoda pemrosesannya itu sendiri. Lebih banyak kanal yang digunakan sebanding dengan meningkatnya jumlah kriteria yang digunakan dalam menentukan suatu gerakan mata, sehingga lebih memudahkan untuk membedakan antara satu sinyal gerakan mata dengan gerakan yang lain, namun dengan demikian membutuhkan elektroda yang lebih banyak. Sebagai rule of thumb, untuk mendapatkan sinyal EOG dengan satu kanal dibutuhkan dua elektroda yang dipasang di sekitar mata (dan satu elektroda tambahan selalu diletakkan di tangan sebagai penghubung ground tubuh dengan ground kotak modular EEG unit), dan untuk mendapatkan sinyal EOG dua kanal dibutuhkan tiga elektroda yang dipasang di sekitar mata. Dengan demikian untuk mendapatkan sinyal EOG sebanyak (n) kanal, maka dibutuhkan ($n+1$) elektroda yang terpasang di sekitar mata.

Dari referensi yang dijadikan bahan dasar penelitian yang melibatkan EOG ini, EOG dengan dua kanal memiliki kriteria pembeda yang lebih spesifik, dalam hal ini berupa dua buah sinyal yang berbeda

untuk setiap gerakan mata tertentu. Dengan adanya dua buah sinyal yang berbeda tersebut, maka kriteria pembeda yang dimiliki oleh tiap gerakan mata menjadi dua buah, yang dapat difungsikan seperti fungsi logika AND untuk setiap gerakan mata [6].

Di lain pihak, EOG dengan satu kanal hanya memiliki satu jenis sinyal untuk setiap gerakan mata, karena itu diperlukan teknik pengolahan data serta pengenalan pola yang optimal untuk mendapatkan sinyal dengan perbedaan signifikan untuk masing-masing gerakan mata [5]. Namun meskipun demikian, dengan dua buah elektroda yang terpasang, EOG satu kanal ini lebih nyaman untuk digunakan oleh subyek yang akan dipasang elektroda EOG. Akan tetapi, sinyal EOG yang diperoleh masih membutuhkan sebuah Classifier Algorithm yang bertujuan untuk membedakan masing-masing keunikan sinyal yang dihasilkan oleh masing-masing gerakan mata. [5] [9] [2] [10] Salah satu algoritma pengenalan pola yang dapat diimplementasikan akan dikembangkan melalui penelitian ini.

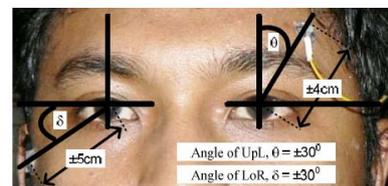
Pada penelitian ini dibahas tentang metoda pemrosesan data secara optimal pada EOG satu kanal, serta pengenalan pola dengan menggunakan algoritma kriteria dan spesifikasi sinyal. Subyek yang dijadikan sebagai referensi dalam penelitian ini tidak memiliki kelainan-kelainan mata yang menyebabkan titik pusat mata bergeser dari titik tengah ketika mata berada dalam keadaan relaksasi dan menatap lurus ke depan. Batasan subjek sampel yang digunakan dalam penelitian ini memiliki bentuk wajah oval dan bulat, serta rentang usia antara 24-27 tahun. Subjek di luar rentang tersebut tidak teruji keabsahannya sebagai subjek yang valid untuk hasil dari penelitian ini.

2. METODE PENELITIAN

EOG yang digunakan dalam penelitian ini adalah EOG dengan menggunakan konfigurasi kanal tunggal, karena itu hanya digunakan dua buah elektroda saja. Dengan EOG kanal tunggal ini telah dapat dibedakan enam buah sinyal yang berbeda, masing-masing untuk melirik empat arah umum (atas, bawah, kiri, kanan), mengedipkan mata kiri, dan mengedipkan mata kanan. Salah satu sinyal lain yang telah dapat diklasifikasikan dan tidak akan diasosiasikan dengan perintah manapun ini adalah sinyal yang dihasilkan oleh gerakan mata mengedip secara tak sengaja (refleks). Sinyal-sinyal ini dapat diperoleh secara mentah (raw) tanpa menggunakan filter sama sekali.

Dalam aplikasi penelitian ini, digunakan elektroda EOG sebanyak dua buah, yang masing-masing ditempatkan di sebelah atas mata sebelah kiri (pelipis

kiri) dan bawah mata kanan (tulang pipi kanan). Penempatan masing-masing elektroda tersebut menggunakan aturan yang mampu mengoptimalkan sinyal EOG yang diterima dengan menggunakan ketentuan seperti yang digambarkan oleh Gambar 1 berikut. Dalam penelitian ini, peletakan elektroda positif berada di bawah mata kanan sedangkan elektroda negatif berada pada atas mata kiri.



Gambar 1. Metoda pemasangan elektroda EOG satu kanal di sekitar mata

Untuk mengolah sinyal masuk, digunakan Modular EEG Unit yang dihubungkan secara langsung dengan ujung-ujung jack elektroda. Terdapat enam bagian pengelompokan jack pada Modular EEG ini, dengan masing-masing bagiannya mewakili jack kutub positif, jack kutub negatif, dan jack untuk common ground.



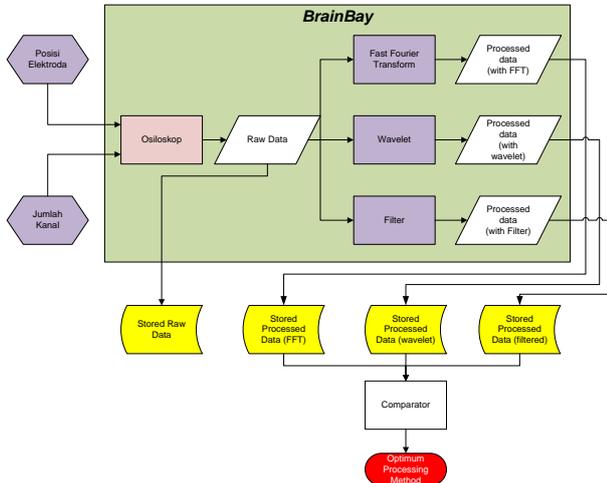
Gambar 2. Modular EEG Unit

Modular EEG ini adalah sebuah perangkat pengolah sinyal EEG yang dikembangkan secara open-source. Petunjuk untuk membangun Modular EEG ini dirilis secara bebas kepada OpenEEG Community (<http://openeeg.sf.net>) pada tahun 2002 [11]. Berikut ini adalah pengolahan-pengolahan sinyal yang diujikan dengan menggunakan BrainBay, perangkat open source pengolah sinyal EEG:

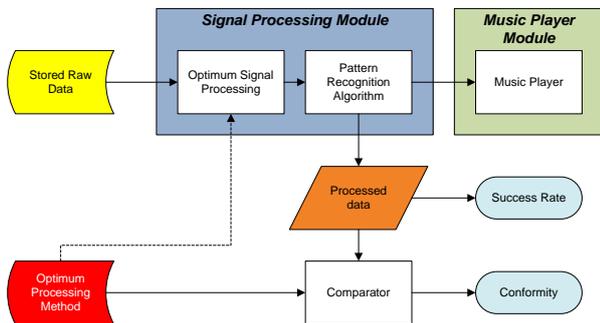
- raw data (data tidak diolah),
- Fast Fourier Transform,
- wavelet,
- filtering dengan menggunakan LPF,
- thresholding.

Pada diagram alur penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 3, data tersimpan diberi kode warna kuning, dan variasi yang dilakukan sebelum pattern recognition diberi kode warna ungu. Dari alur percobaan yang melibatkan EOG, perangkat lunak

BrainBay, serta fasilitas pemrosesan sinyal yang terdapat di dalam perangkat lunak tersebut, dapat diperoleh hasil-hasil yang dapat disimpan dari data yang belum dan telah diolah. Dari data yang telah diolah dapat diperbandingkan metoda pengolahan yang dapat menghasilkan sinyal paling jelas. Metoda pengolahan ini akan diaplikasikan pada blok pengolahan sinyal dan pengenalan pola, seperti ditampilkan pada Gambar 4.

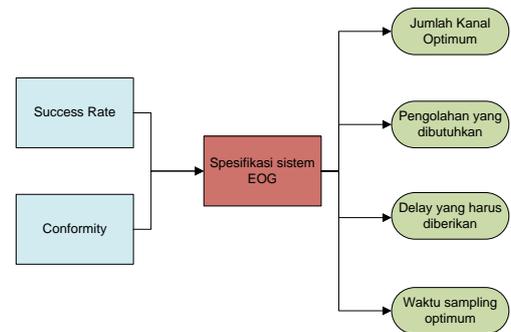


Gambar 3. Diagram alur penelitian



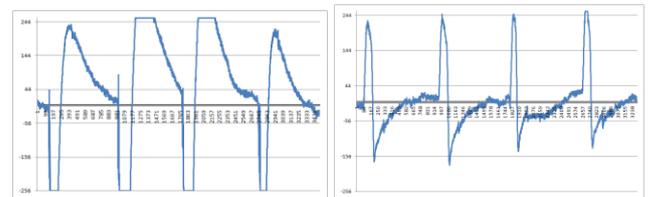
Gambar 4. Perencanaan rekayasa modul pemroses sinyal

Blok pengolah data akan diimplementasikan secara serial dengan algoritma pengenalan pola yang akan dikembangkan, kemudian blok tersebut diimplementasikan secara modular sehingga keluarannya dapat disadap dan/atau dihubungkan langsung dengan modul pemutar musik. Dari pengujian ini, diperoleh spesifikasi sistem perangkat lunak EOGEMS pada khususnya dan EOG pada umumnya yang memungkinkan sistem ini digunakan secara optimal, seperti ditampilkan pada Gambar 5.

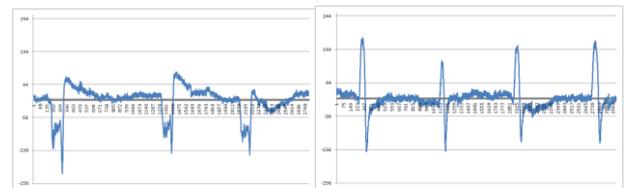


Gambar 5. Penetapan spesifikasi optimum sistem EOG

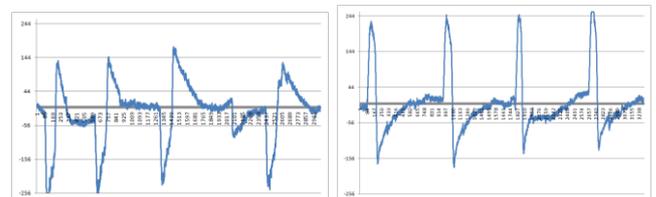
Dari percobaan yang tidak menggunakan modul pengolah data apapun dapat diperoleh bentuk mentah dari data EOG menghasilkan grafik-grafik berikut.



Gambar 6. Sinyal mentah yang dihasilkan oleh empat kali kedipan mata kanan (gambar kanan) dan mata kiri (gambar kiri)



Gambar 7. Sinyal mentah yang dihasilkan oleh tiga kali gerakan mata ke atas (kiri) dan bawah (kanan)



Gambar 8. Sinyal mentah yang dihasilkan oleh empat kali gerakan mata ke kiri (kiri) dan kanan (kanan)

Grafik-grafik di atas mencerminkan sinyal yang akan diproses oleh modul pemroses sinyal, dapat dilihat grafik-grafik tersebut masih mengandung derau yang dapat dihilangkan untuk memudahkan pengenalan bentuk sinyal yang sebenarnya. Modul-modul pengolah sinyal yang diujicobakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Modul FFT, membuat sinyal yang diterima oleh perangkat lunak menjadi lebih sulit untuk dikenali,
- Modul Bandpass Filter, mampu membuat sinyal lebih mudah dikenali, namun osilasi yang terjadi setelah setiap sinyal diterima menyebabkan

bentukan unik dari setiap sinyal masih sedikit susah dibedakan,

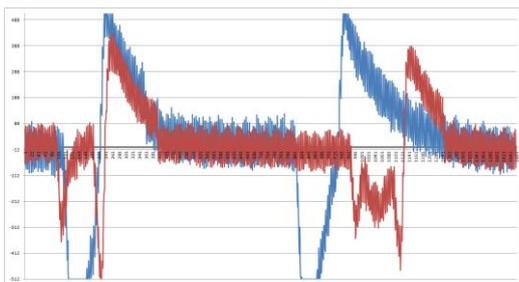
- Modul averager, atau perata-rata, membuat sinyal yang diterima oleh pengolah sinyal menjadi lebih rata karena mengurangi puncak-puncak kecil dan lembah yang terjadi sepanjang penerimaan sinyal,
- Modul low pass filter, membuat lebih sedikit osilasi terjadi setelah sinyal gerakan mata diterima oleh BrainBay namun tidak bersifat signifikan,
- Modul threshold level detector, memudahkan perubahan sinyal ke dalam bentuk digital sehingga lebih mudah dikuantisasikan.

3. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

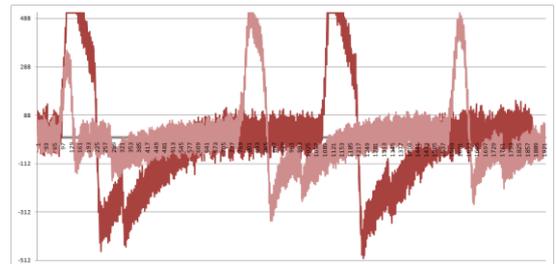
Pada EOG satu kanal ini terdapat permasalahan yakni kecenderungan beberapa sinyal yang hampir serupa. Kemiripan ini terjadi dalam sinyal-sinyal EOG yang dihasilkan ketika mata digerakkan ke arah yang berada tepat di mana elektroda diletakkan. Ketika elektroda diletakkan pada sisi kiri atas mata kiri dan kanan bawah mata kanan, maka kemiripan akan terjadi pada arah atas-kiri dan bawah-kanan. Hal yang sama juga terjadi ketika elektroda diletakkan di kanan atas dan kiri bawah, maka kemiripan akan terjadi pada arah atas-kanan dan bawah-kiri.



Gambar 9. Peletakan elektroda dan kesalahan pada pembacaan sinyal



Gambar 10. Kemiripan pada sinyal EOG arah kiri (biru) dan arah atas (merah)

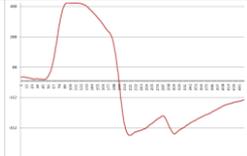
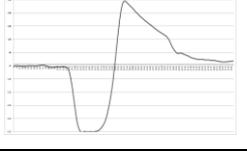


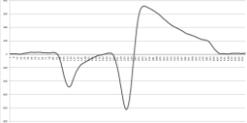
Gambar 11. Sinyal EOG arah kanan (merah gelap) dan arah bawah (merah muda)

3.1. Pembeda Sinyal untuk Sinyal EOG Kritis

Melalui pembahasan bentuk sinyal secara lebih mendetail berikut ini akan dibahas kriteria istimewa masing-masing sinyal tersebut sehingga modul pemroses sinyal yang akan dikembangkan pada tahap berikutnya dapat bekerja secara optimal.

Tabel 1. Perbandingan karakteristik sinyal-sinyal kritis

| No. | Gerakan Mata | Bentuk Sinyal | Ciri-ciri |
|-----|--------------|---|---|
| 1. | Kanan |  | <ul style="list-style-type: none"> • Sinyal mengalami apresiasi dahulu (menaik) baru depresiasi (menurun), • Amplitudo yang dihasilkan pada bukit gelombang mencapai titik maksimal. |
| 2. | Bawah |  | <ul style="list-style-type: none"> • Sinyal mengalami apresiasi dahulu baru depresiasi, • Amplitudo tertinggi sinyal berkisar pada setengah amplitudo maksimal (pada sekitar $256\mu V$), • Amplitudo sinyal tidak pernah menyentuh titik maksimal. |
| 3. | Kiri |  | <ul style="list-style-type: none"> • Sinyal mengalami depresiasi dahulu baru apresiasi, |

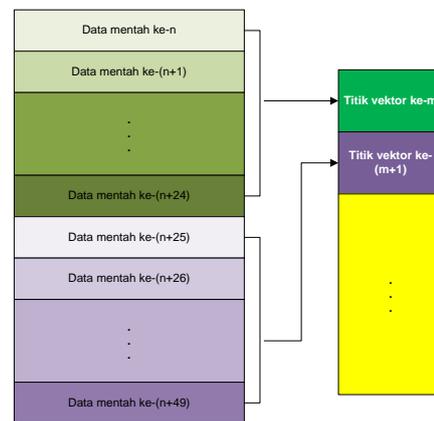
| | | | |
|----|------|---|--|
| | | | <ul style="list-style-type: none"> • Amplitudo terendah sinyal membentur titik minimum pembacaan sinyal sehingga mengakibatkan bentuk sinyal minimum menjadi <i>clipped</i>, • Amplitudo tertinggi sinyal tidak membentur titik maksimum tetapi mendekati. |
| 4. | Atas |  | <ul style="list-style-type: none"> • Sinyal mengalami depresiasi dahulu baru apresiasi, • Amplitudo tertinggi dan terendah sinyal tidak menyentuh titik tertinggi dan terendah. |

Dari perbedaan yang ada dari masing-masing sinyal yang diperoleh selama dilakukan pengujian dan pengumpulan data menggunakan EOG kanal tunggal, maka direncanakan akan digunakan metode pengenalan pola dengan memanfaatkan beda amplitudo dan bentuk dari masing-masing sinyal tersebut. Untuk mewujudkan pengenalan perbedaan beda amplitudo ini, maka fitur *peak detector* atau detektor puncak dengan dukungan *threshold level recognition* yang diimplementasikan sebagai dasar dari algoritma pengenalan pola untuk mengoptimalkan pengenalan pola gerakan mata melalui EOG.

3.2. Implementasi Pengenalan Pola pada Aplikasi Pemutar Musik

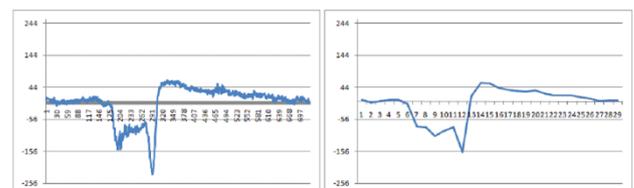
3.2.1. Implementasi Perata-rata (Averager)

Perata-rata yang diimplementasikan dalam pemroses data sinyal EOG ini bekerja dengan cara melakukan sampling setiap dua puluh lima data sekali untuk dirata-rata kemudian diwujudkan dalam satu titik, dengan demikian jumlah titik yang dihasilkan oleh modul perata-rata ini berjumlah 1/25 kali dari jumlah data mentah yang diberikan untuk diproses.



Gambar 12. Skema perata-rataan dalam pemrosesan sinyal

Skema perata-rataan seperti ini memudahkan dalam penggambaran ulang vektor karakter masing-masing sinyal, dengan demikian juga memudahkan karakterisasi masing-masing sinyal melalui pengenalan pola yang pengimplementasiannya akan dibahas pada bagian selanjutnya. Hasil dari skema perata-rataan ini dapat dicontohkan oleh Gambar 13.



Gambar 13. Sinyal gerakan mata ke atas, sebelum dan sesudah dirata-rata

Pada skema perata-rataan yang digunakan ini dapat dilihat bagaimana jumlah data yang kurang-lebih berjumlah 725 data untuk menggambarkan satu sinyal dapat disederhanakan ke dalam 29 data saja, dengan demikian menyederhanakan pengenalan pola yang akan dilakukan. Implementasi perata-rata ini dapat menyebabkan delay pada pengenalan sinyal yang akan dilakukan, namun delay ini diasumsikan hanya akan terjadi dalam orde milidetik sehingga tidak akan dirasakan oleh subyek. Selain itu dengan lebih sedikitnya titik yang diperlukan untuk mewujudkan vektor suatu sinyal gerakan mata, maka lebih sedikit pula memori yang dibutuhkan untuk menyimpan dan memproses pola sinyal tersebut.

3.2.2. Implementasi Pengenalan Pola

Pada algoritma pengenalan pola ini diberlakukan kriteria-kriteria vektorial masing-masing sinyal yang beberapa di antaranya telah dideskripsikan pada Tabel 1, serta beberapa karakteristik lainnya untuk sinyal-sinyal yang belum disebutkan yang akan ditampilkan melalui Tabel 2 di bawah.

Algoritma yang digunakan pada pengenalan pola ini adalah penyusunan kurva yang dibentuk oleh garis lurus seminimal mungkin untuk membangun fitur dasar dari masing-masing sinyal. Dengan kriteria-kriteria tambahan yang telah ditetapkan untuk masing-masing sinyal tersebut, maka modul pengenalan pola hanya akan memberikan keluaran untuk pola-pola yang mampu menghasilkan karakteristik yang sesuai dengan profil sinyal yang telah disimpan di dalam database untuk kemudian dianggap sesuai.

Pada modul pengenalan pola ini, gerakan mata mengedip secara refleks dikategorikan sebagai sinyal artefak, dengan demikian gerakan mengedip tidak akan menghasilkan keluaran apapun. Selain itu pola yang dihasilkan oleh gerakan mata mengedip secara refleks memiliki pola yang unik dan tidak akan memiliki lembah maupun puncak sinyal yang signifikan, sehingga pola sinyal gerakan mengedip tersebut tidak akan diasosiasikan secara salah terhadap pola yang dimiliki oleh sinyal-sinyal lain.

Melalui tabel karakteristik masing-masing sinyal berikut ini, akan dibahas kriteria bentuk yang dimiliki oleh masing-masing sinyal gerakan mata yang akan diasosiasikan dengan perintah tertentu.

Tabel 2. Penyederhanaan karakteristik sinyal EOG satu kanal

| Gerak Mata | Gambar Sinyal terproses | Grad. 1 | Zona Max/Min | Grad. 2 | Zona Max/Min |
|-------------|---|---------|--------------|---------|--------------|
| Kanan |  | Naik | Ya | Turun | Tidak |
| Kiri |  | Turun | Ya | Naik | Tidak |
| Bawah |  | Naik | Tidak | Turun | Tidak |
| Atas |  | Turun | Tidak | Naik | Tidak |
| Kedip Kanan |  | Naik | Ya | Turun | Ya |
| Kedip Kiri |  | Turun | Ya | Naik | Ya |

Dari Tabel 2 di atas dapat dirumuskan sebuah diagram alur yang dapat menjadi konsep awal untuk penentuan algoritma pengenalan pola sinyal EOG dengan satu kanal, dengan kriteria-kriteria 'threshold minimum', 'threshold menengah bawah', 'threshold rendah', 'threshold menengah atas', dan 'threshold

maksimum' dapat dijelaskan melalui Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Spesifikasi masing-masing daerah dalam penentuan intensitas sinyal

| Istilah | Jangkauan Tegangan |
|--------------------------|----------------------------------|
| Threshold minimum | -256 μ V hingga -181 μ V |
| Threshold menengah bawah | -180 μ V hingga -41 μ V |
| Threshold rendah | -40 μ V hingga 40 μ V |
| Threshold menengah atas | 41 μ V hingga 180 μ V |
| Threshold maksimum | 181 μ V hingga 256 μ V |

Implementasi dari daerah *threshold* minimum, *threshold* menengah bawah, *threshold* rendah, *threshold* menengah atas, dan *threshold* maksimum tersebut dapat diwujudkan melalui ilustrasi berwarna yang disuperposisikan terhadap sinyal gerakan mata ke atas yang telah terproses berikut ini.



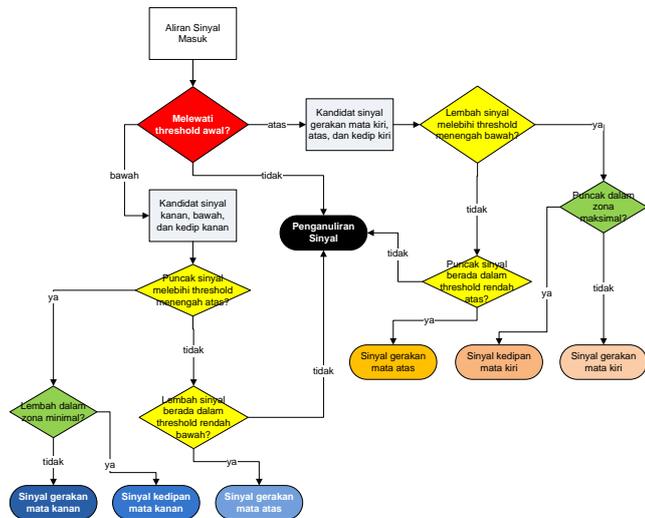
Gambar 14. Implementasi pembagian zona pada sebuah sinyal gerakan mata ke atas

Dengan pengklasifikasian demikian, masing-masing sinyal dapat direpresentasikan dengan zona-zona yang telah ditentukan sebagai berikut:

Tabel 4. Klasifikasi masing-masing sinyal berdasarkan amplitudo dan zona

| Jenis Sinyal | Amplitudo Pertama | Zona | Amplitudo Kedua | Zona |
|---------------|-------------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|
| Kanan | Puncak | Threshold Maksimum | Lembah | Threshold Menengah Bawah |
| Kiri | Lembah | Threshold Minimum | Puncak | Threshold Menengah Atas |
| Bawah | Puncak | Threshold Menengah Atas | Lembah | Threshold Menengah Bawah |
| Atas | Lembah | Threshold Menengah Bawah | Puncak | Threshold Menengah Atas |
| Kedipan Kanan | Puncak | Threshold Maksimum | Lembah | Threshold Minimum |
| Kedipan Kiri | Lembah | Threshold Minimum | Puncak | Threshold Maksimum |

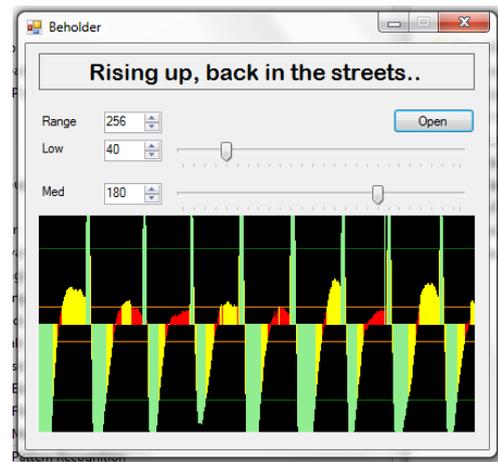
Dari kriteria sinyal serta spesifikasi kategori posisi grafik sinyal pada Tabel 4 di atas, maka dapat disusun sebuah diagram alur pengenalan sinyal yang dapat diwujudkan melalui Gambar 15.



Gambar 15. Diagram alur algoritma penentuan sinyal melalui karakteristik vektor

Pengimplementasian pengenalan pola ini ditunjukkan oleh Gambar 16 di mana perangkat lunak yang dikembangkan mendeteksi puncak serta lembah dari beberapa sinyal kedipan mata kiri.

Dari algoritma yang diusulkan tersebut dapat dinyatakan bahwa setelah sinyal melewati daerah *threshold* awal, maka kurva setengah gelombang sinyal yang pertama ini akan diikuti apakah akan membentuk suatu lembah ataukah puncak. Setelah terbentuk lembah atau puncak, maka akan dicatat pada *threshold* mana lembah atau puncak tersebut terbentuk. Langkah selanjutnya adalah menentukan sekuens setengah gelombang sinyal selanjutnya, pada umumnya akan terbentuk kurva yang berlawanan dari sekuens sebelumnya. Setengah terakhir dari kurva gelombang sinyal ini pun akan terus diikuti hingga kembali ke daerah *threshold* awal sehingga algoritma siap untuk memproses sinyal gerakan mata selanjutnya.



Gambar 16. Implementasi pembagian zona dalam pengenalan puncak sinyal kedipan mata kiri

Sesuai dengan pembagian zona di atas, perangkat lunak ini didukung penyajian grafis dengan dukungan pewarnaan, di mana warna hijau mereferensikan titik-titik di mana data mencapai daerah *threshold* maksimum atau minimum, warna kuning menunjukkan titik-titik yang berakhir di daerah *threshold* menengah atas atau bawah, dan warna merah menunjukkan sinyal yang memiliki besaran di daerah *threshold* rendah.

4. ANALISIS

Sistem dapat dinyatakan berhasil dalam mengolah sinyal dan mengenali pola spesifik dari keenam jenis sinyal yang dihasilkan oleh gerakan-gerakan mata yang telah ditentukan, dengan tingkat keberhasilan antara 90-100%.

Dari analisis hasil-hasil percobaan di atas, tampak bahwa sistem ini memerlukan suatu dukungan penghilang lonjakan tegangan, sehingga bentuk sinyal yang semestinya rusak karena terkena lonjakan dapat di-*recover*, dengan demikian tidak ada pola yang dianggap terbuang. Penyelamatan sinyal yang terkena lonjakan ini dapat dilakukan dengan implementasi sebuah algoritma sederhana yang mendeteksi apakah terdapat suatu gradien vektor yang nyaris tegak lurus (mendekati $m=\infty$). Apabila terdapat gradien demikian, maka entri data yang berisi tegangan yang membuat sinyal tersebut kemudian dinihilkan, dan pengenalan pola sinyal berlanjut ke titik selanjutnya.

Implementasi algoritma sederhana ini meskipun penyusunannya mudah, namun menambah kompleksitas pada pengenalan pola, karena hal demikian berarti setiap kali pengenalan pola dilakukan, maka akan dilakukan pula pengenalan gradien kurva. Pengenalan gradien kurva ini dilakukan setelah perataan data dilakukan, dengan demikian dapat

ditentukan apakah suatu titik dalam kurva akan dimasukkan ataukah dihilangkan sesuai dengan kriteria algoritma pengenalan gradien tersebut.

5. PENUTUP

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengolahan sinyal serta pengenalan pola EOG satu kanal dengan metoda karakterisasi vektor dan deteksi puncak telah dapat bekerja dengan baik dengan tingkat keberhasilan 90% pada tahapan pengujian dengan *raw data* secara *offline*.
2. Karakterisasi sinyal EOG satu kanal dapat dilakukan dengan membagi lingkup tegangan sinyal EOG yang diterima ke dalam lima bagian utama, yakni *threshold* maksimum, *threshold* menengah atas, *threshold* rendah, *threshold* menengah bawah, dan *threshold* minimum. Keenam sinyal yang digunakan dalam implementasi ini dapat dikarakterisasikan berdasarkan kelima pembagian tegangan operasional perangkat keras tersebut.
3. Metoda pengolahan sinyal dan pengenalan pola ini dapat diimplementasikan di dalam bentuk mikroprosesor karena caranya yang cukup sederhana sehingga membutuhkan pemrograman yang tidak terlalu rumit, dengan demikian mendukung implementasi secara *mobile* pada pengembangan masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Ahmadibakshs, F. Afdideh and S. N. Resalat, "A New Hardware Implementation of Motor Control Using EOG Signals," in *2012 IEEE EMBS International Conference on Biomedical Engineering and Sciences*, Langkawi, 2012.
- [2] M. M. U. Atique, S. H. Rakib and K. Siddique-e-Rabbani, "An Electrooculogram Based Control System," in *5th International Conference on Informatics, Electronics and Vision (ICIEV)*, Dhaka, Bangladesh, 2016.
- [3] T. C. Chieh, M. M. Mustafa, A. Hussain, S. F. Hendi and B. Y. Majlis, "Development of Vehicle Driver Drowsiness Detection System Using Electrooculogram (EOG)," Bangi, Malaysia, 2005.

- [4] A. Banerjee, S. Chakraborty, P. Das, S. Datta, A. Konar, D. N. Tibarewala and R. Janarthanan, "Single Channel Electrooculogram(EOG) based Interface for Mobility Aid," in *IEEE Proceedings of 4th International Conference on Intelligent Human Computer Interaction*, Kharagpur, India, 2012.
- [5] H. Septanto, A. S. Prihatmanto and A. Indrayanto, "A Computer Cursor Controlled by Eye Movements and Voluntary Eye Winks Using a Single Channel EOG," in *International Conference on Electrical Engineering and Informatics*, Selangor, Malaysia, 2009.
- [6] J. Hori, K. Sakano and Y. Saitoh, "Development of Communication Supporting Device Controlled by Eye Movements and Voluntary Eye Blink," in *Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, San Fransisco, 2004.
- [7] Z. Hossain, M. M. H. Shuvo and P. Sarker, "Hardware and Software Implementation of Real Time Electrooculogram (EOG) Acquisition System to Control Computer Cursor with Eyeball Movement," in *Proceedings of the 2017 4th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE)*, Dhaka, Bangladesh, 2017.
- [8] N. M. M. Noor and M. A. M. Mustafa, "Eye Movement Activity that Affected the Eye Signals using Electrooculography (EOG) Technique," in *2016 6th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, Penang, Malaysia, 2016.
- [9] N. M. M. Noor and A. Salmiah, "Simulation Analysis of Different Strength Levels of EOG Signals," in *International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE 2012)*, Kuala Lumpur, 2012.
- [10] K. Archawut, W. Tangsuksant, P. Thumwarin, M. Sangworasil and T. Matsuura, "Realization of FIR System Characterizing Eye Movement based on Electrooculogram," 2016.

- [11] C. Veigl and G. Schalk, "BCI2000 Modular EEG Support," 2005.
- [12] D. e. a. Griffiths, "The Modular EEG Design," 2005.
- [13] C. Veigl, "BrainBay Developer Manual," 2006. [Online]. Available: <http://brainbay.lo-res.at>.
- [14] A. Bulling, D. Roggen and G. Troster, "It's in Your Eyes - Towards Context-Awareness and Mobile HCI Using Wearable EOG Goggles," in *Proc. of the 10th International Conference on Ubiquitous Computing*, Seoul, 2008.
- [15] M. F. e. a. Marmor, ISCEV Standard for Full-field Clinical Electroretinography (2008 Update), Springer-Verlag, 2008.