

Aksi Game Arcade Berdasarkan Pikiran Menggunakan Filter Fast Fourier Transform dan Learning Vector Quantization

Maulana Yusup Abdullah*, Esmeralda C Djamal, Faiza Renaldi
Jurusan Informatika, Fakultas MIPA
Universitas Jenderal Achmad Yani
Jl. Terusan Sudirman, Cimahi
*maulanayusupp@gmail.com

Abstrak—Brain Computer Interface (BCI) adalah teknologi pengendalian suatu perangkat tanpa menggunakan otot, suara dan sebagainya yang melibatkan fungsi motorik. Sistem BCI terdiri dari pengukuran sinyal otak dan salah satu penggunaan BCI adalah menggerakkan karakter pada game melalui pikiran. Pengolahan sinyal otak tersebut untuk mendeteksi pola – pola unik yang diterjemahkan menjadi perintah (misalnya pola otak saat rileks, melakukan perhitungan matematis, membayangkan gerakan tangan, dsb). Penelitian tentang BCI yang telah dilakukan sebelumnya yaitu seperti menggerakkan kursi roda, kontrol pada game, menggerakkan tangan robot dll. Elektroensefalogram (EEG) adalah perangkat yang dapat menangkap aktivitas listrik di otak dan menginformasikan kondisi pikiran seperti emosional, kelelahan, kewaspadaan, kesehatan dan tingkat konsentrasi. Beberapa penelitian terdahulu, mengidentifikasi variabel kondisi pikiran tersebut di antaranya menggunakan Support Vector Machine (SVM) dan Jaringan Syaraf Tiruan (JST). Penelitian ini telah membuat sistem yang divisualisasikan pada game dengan dua gerakan yaitu ke atas dan ke bawah dengan kontrol karakter berdasarkan pikiran. Hasil pengujian yang didapatkan pada data uji yang belum dilatih sebelumnya dengan persentase 90% untuk kondisi rileks dan 22% untuk kondisi fokus.

Kata kunci—*brain computer interface; sinyal EEG; fast fourier transform; learning vector quantization.*

I. PENDAHULUAN

Brain Computer Interface adalah teknologi pengendalian suatu perangkat tanpa menggunakan otot, suara dan sebagainya yang melibatkan fungsi – fungsi motorik. Oleh karena itu teknologi BCI merupakan teknik pengendalian suatu perangkat/mesin menggunakan pikiran. Sistem BCI terdiri dari pengukuran sinyal otak contohnya EEG, Near-Infrared Spectroscopy (NIRS), Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) dan sebagainya. pengolahan sinyal otak tersebut digunakan untuk mendeteksi pola – pola unik yang akan diterjemahkan menjadi perintah (misalnya pola otak saat rileks, melakukan perhitungan matematis, membayangkan gerakan tangan, dsb), pengontrolan perangkat lunak/mesin dengan perintah yang telah dikenali.

Games adalah aplikasi hiburan dengan sejumlah aturan untuk mengatur perkembangan sesi yang memiliki nilai kuantitatif tentang kesuksesan dan kegagalan saat pemain memainkannya. Terdapat 4 elemen utama dalam permainan, yaitu representasi, interaksi, konflik dan keamanan. Dalam *game* terdapat interaksi antara pengguna dengan *game* tersebut

dalam melakukan pergerakan karakter pada *game*. Terdapat beberapa jenis *game* yaitu *action*, *arcade* dll. Dalam *game* terdapat beberapa alat masukan yang digunakan untuk berinteraksi antara Pemain dengan karakter yang ada pada *game*.

EEG adalah sebuah alat elektromedik yang dapat digunakan untuk mencatat dan menganalisa aktifitas gelombang otak dalam kurun waktu tertentu dengan penempatan elektrode di kepala. EEG bertugas menyusun data yang komprehensif mengenai aktifitas listrik pada otak. EEG seringkali dilakukan untuk mengetahui gambaran potensial listrik otak, apakah masih dalam batas normal atau terdapat sebuah gelombang yang abnormal. Bentuk dari sinyal EEG setiap orang berbeda – beda dipengaruhi oleh berbagai variabel seperti kondisi emosional, mental, usia, aktivitas dan kesehatan. Karakteristik gelombang sinyal EEG terbagi berdasarkan daerah frekuensi yang menunjukkan dominasi aktivitas yang sedang dialami dikenal sebagai gelombang Alfa (8 – 13 Hz) dominan muncul dalam keadaan sadar, mata tertutup dan kondisi rileks, gelombang Beta (14 – 30 Hz) dominan muncul pada saat seseorang berpikir, gelombang Teta (4 – 7 Hz) umumnya dominan muncul pada saat seorang sedang tidur ringan, mengantuk atau stress, gelombang delta (0,5 – 3 Hz) dominan muncul ketika seseorang sedang tidur nyenyak dan gelombang Gamma (30 – 100 Hz) umumnya dominan muncul pada saat seorang dalam kondisi kesadaran penuh. Penelitian terdahulu telah melakukan identifikasi dan klasifikasi sinyal EEG terhadap rangsangan suara [1] [2], penelitian terdahulu juga telah melakukan klasifikasi sinyal EEG menggunakan SVM [3], mengenali perhatian seseorang terhadap sinyal EEG [4], mengetahui rileks dan tidaknya seseorang terhadap musik yang didengar [5], mengontrol suatu device [6], dan mengetahui efek dari pemakaian *mobile phone* terhadap seseorang [7].

Terdapat penelitian terdahulu yang telah dilakukan mengenai BCI yaitu untuk berkomunikasi dan kontrol pada alat/mesin [8], menggerakkan kursor berdasarkan pikiran [9], mengontrol kursi roda secara *realtime* [10] [11], strategi pada *game* catur [12], menggerakkan *mobile robot* [13] [14] [15], kontrol sistem untuk bermain *games* [16], *speech communication* [17], kontrol alat – alat rumah tangga yang telah terintegrasi dengan alat elektronik khusus [18] [19].

Penelitian ini telah membangun sistem untuk menggerakkan karakter pada *game* berdasarkan sinyal EEG menggunakan FFT dan LVQ. Terlebih dahulu dilakukan transformasi sinyal dengan FFT untuk mengekstraksi ciri pada gelombang menjadi domain frekuensi dan hasil dari transformasi diidentifikasi menggunakan LVQ. Luran sistem yaitu gerak karakter dengan dua kelas, yaitu gerak ke atas dan gerak ke bawah.

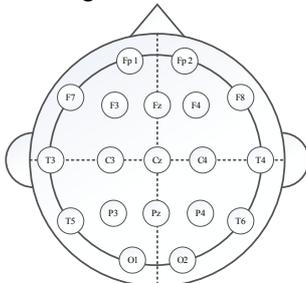
II. ELEKTROENSEPHALOGRAM

A. Akuisisi Data

Pengambilan data EEG untuk dijadikan data latih pada sistem kontrol gerak berdasarkan sinyal EEG ini dilakukan dengan menggunakan EEG *Wireless* dari kanal yang digunakan yaitu kanal Fp1, dengan Frekuensi sampling 512 Hz. yang dipasang di kulit luar kepala untuk merekam sinyal pada otak. Pengambilan data dengan cara merekam sinyal EEG dilakukan secara langsung terhadap 10 naracoba dengan umur 20 – 25 tahun dan dalam kondisi sehat dengan perulangan sebanyak empat kali. Penetapan jumlah naracoba pada penelitian ini semata – mata didasarkan pada ketersediaan naracoba yang tersedia, sukarela dan yang memenuhi persyaratan kesehatan, disamping mengacu pula terhadap jumlah naracoba yang digunakan pada sejumlah penelitian terdahulu [1] [3] [2].

Perekaman yang dilakukan selama 30 detik dan terbagi menjadi dua sesi, perekaman sesi pertama naracoba diminta untuk berkonsentrasi atau fokus membayangkan karakter untuk bergerak ke atas, sebelumnya naracoba tersebut diberi pengarahan terlebih dahulu oleh peneliti dan pada saat perekaman naracoba diberi rangsangan berupa gambar karakter dan diberi rangsangan suara yang bernada semangat dan perekaman sesi kedua naracoba diminta untuk rileks atau diam. *set-up* sistem pengukuran sinyal EEG biasanya menggunakan metoda *International Federation of Societies of Electroencephalography*, dimana elektroda ditempatkan pada kulit kepala pada posisi/aturan standar yaitu sistem 10 – 20, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Sementara itu berdasarkan aktifitas listrik pada otak, dibedakan atas set titik ukur:

1. Frontal (F), digunakan untuk pengontrolan, kemampuan bicara, perencanaan gerakan dan pengenalan.
2. Parietal (P), digunakan untuk menerima informasi rangsangan sentuhan, temperatur, posisi tubuh dan vibrasi.
3. Occipital (O), digunakan untuk menerima rangsangan visual dan arti tulisan.
4. Temporal (T), digunakan untuk menerima informasi rangsangan dari telinga dan berkaitan dengan memori.



Gambar 1 Penempatan sensor EEG sistem 10 – 20

Selanjutnya untuk waktu perulangan perekaman terhadap 10 naracoba yang dilakukan dibagi menjadi empat waktu yang berbeda. Untuk pembagian waktunya antara lain sebagai berikut:

1. Waktu perekaman pertama dilakukan pada waktu sekitar jam 08.00 – 09.00.
2. Waktu perekaman kedua dilakukan pada waktu sekitar jam 12.00 – 13.00.
3. Waktu perekaman ketiga dilakukan pada waktu sekitar jam 17.00 – 18.00.
4. Waktu perekaman keempat dilakukan pada waktu sekitar jam 21.00 – 22.00.

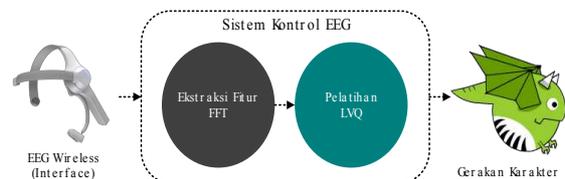
Sinyal EEG direkam dalam domain waktu, namun tidaklah mudah mengidentifikasi sinyal EEG terhadap suatu variabel apabila direpresentasikan dalam domain waktu. Beberapa penelitian terdahulu mengkonversi sinyal EEG dari domain waktu ke dalam domain frekuensi menggunakan FFT dan Power Spectral Density. Hal ini terutama apabila variabel yang ditinjau dalam identifikasi ditentukan dari domain frekuensi. Tabel gelombang sinyal EEG dapat dilihat pada TABEL .

TABEL I. GELOMBANG SINYAL EEG

| Gelombang | Bentuk Sinyal EEG |
|---------------------|-------------------|
| Delta (0.5 – 3 Hz) | |
| Teta (4 – 7 Hz) | |
| Alfa (8 – 12 Hz) | |
| Beta (13 – 30 Hz) | |
| Gamma (31 – 100 Hz) | |

B. Sistem Kontrol EEG

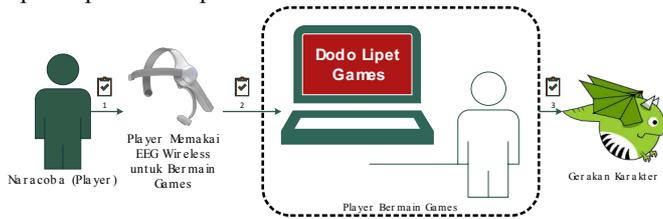
Sistem kontrol gerak dengan menggunakan sinyal EEG yang dibangun dimulai dengan pengambilan data EEG. Data EEG diproses melalui tahap pra proses yaitu *filter* menggunakan FFT untuk merubah sinyal EEG dari domain waktu ke domain frekuensi, hasil *filter* digunakan sebagai data latih atau sebagai neuron *input* LVQ untuk dikenali karakteristik dari sinyal tersebut yang nantinya digunakan untuk gerakan karakter. Gambar Sistem kontrol menggunakan EEG dapat dilihat Gambar 2.



Gambar 2 Sistem Kontrol EEG

Pengujian dilakukan terhadap naracoba lain yang memainkan *games* dengan menggunakan EEG *Wireless* secara

langsung atau *realtime*. Gerakan karakter pada permainan bergerak setiap 2 detik, karena data yang diperoleh dan diproses langsung pada sistem yaitu setiap 2 detik. Pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Pengujian Realtime

III. METODE

A. Frame Blocking

Frame Blocking merupakan proses pembagian sinyal menjadi beberapa bagian untuk memudahkan dalam proses perhitungan. Setiap bagian atau disebut dengan *frame* berisi titik sinyal. Pada penelitian ini, sinyal yang diolah pada proses ekstraksi untuk *frame blocking* berjumlah 1024 data atau 2 detik. Data tersebut dibagi setiap 1 detik setiap *frame*, sehingga didapatkan 2 *frame* dengan masing – masing *frame* berjumlah 512 data. Setiap *frame* saling bertumpuk atau *overlap* dengan *frame* berikutnya.

Data Sinyal EEG: [84, 133, ..., 86].

$N = 1024$ Data

Overlapping Frame (M) = $N * 0.5 = 512$ Data.

$$x(n) = y(M + n) \tag{1}$$



Gambar 4 Hasil Frame Blocking

B. Windowing

Hasil dari proses *frame blocking* menghasilkan efek sinyal *discontinue*, agar tidak terjadi kesalahan data pada proses FFT maka data yang telah dibagi menjadi beberapa *frame* perlu dijadikan *continue* dengan menggunakan proses *windowing*. Jenis *window* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *hamming window* dengan kesederhanaan rumus serta hasil dari *windowing* yang baik.

Data Hasil Frame Blocking = [43008, 68229, ..., 132096]

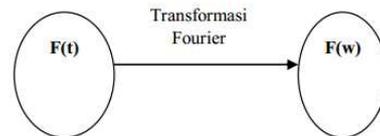
$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos \frac{2\pi n}{N-1} \tag{2}$$



Gambar 5 Hasil Windowing

C. Fast Fourier Transform

Fast Fourier Transform merupakan metode yang sangat efisien untuk menghitung koefisien dari Fourier Diskrit ke suatu Finite sekuen dari data yang kompleks. Karena substansi waktu yang tersimpan lebih dari pada metoda konvensional, FFT merupakan aplikasi temuan yang penting di dalam sejumlah bidang yang berbeda seperti analisis *spectrum*, *speech and optical signal processing*, *design filter digital*. Algoritma FFT berdasarkan atas prinsip pokok dekomposisi perhitungan Discrete Fourier Transform (DFT) dari suatu sekuen sepanjang N ke dalam transformasi diskrit Fourier secara berturut – turut lebih kecil.



Gambar 6 Transformasi Fourier

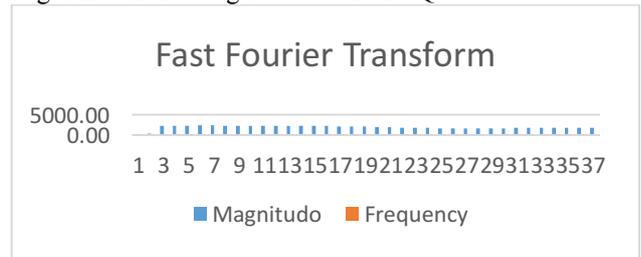
Dimana:

$F(t)$ adalah fungsi dalam domain waktu.

$F(w)$ adalah fungsi dalam domain frekuensi.

$$x[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos(2\pi k n) - j \sin(2\pi k n) \tag{3}$$

Hasil dari FFT ini yaitu nilai magnitude dari masing – masing frekuensi dari gelombang Alfa, Beta, Teta dan Gamma yang digunakan yaitu 37, nilai tersebut yang digunakan sebagai masukan sebagai *neuron* ke LVQ.



Gambar 7 Hasil Fast Fourier Transform

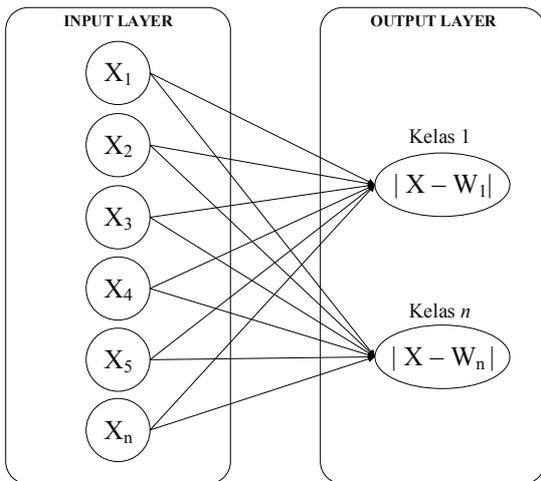
FFT merupakan salah satu metode untuk transformasi sinyal dalam domain waktu menjadi domain frekuensi, artinya proses perekaman sinyal disimpan dalam bentuk digital. Terdapat penelitian terdahulu mengenai pengacak sinyal dengan metode FFT untuk simulasi pengacakan sinyal suara, pada penelitian tersebut FFT dapat digunakan untuk *filtering* sinyal input dengan baik [21]. Penelitian terdahulu juga telah menggunakan FFT untuk pengolahan sinyal digital pada *tuning* gitar, pada penelitian tersebut algoritma FFT yang diimplementasikan pada sistem memberikan hasil yang optimal untuk *tuning* gitar non elektrik, berdasarkan pengujian tingkat akurasi *tuning* gitar mencapai 99.43% [22].

D. Learning Vector Quantization

Learning Vector Quantization merupakan suatu metode klasifikasi pola yang masing – masing unit keluaran mewakili kategori atau kelas tertentu. LVQ digunakan untuk pengelompokan dimana jumlah target atau kelas sudah ditentukan. Suatu lapisan kompetitif secara otomatis belajar untuk mengklasifikasikan vektor – vektor *input*. Kelas yang

didapatkan sebagai hasil dari lapisan kompetitif ini hanya tergantung pada jarak antara vektor – vektor *input*. Jika dua vektor *input* mendekati sama, maka lapisan kompetitif akan meletakkan kedua vektor *input* tersebut ke dalam kelas yang sama.

Prinsip kerja dari algoritma LVQ adalah pengurangan node – node yang pada akhirnya hanya ada satu node *output* yang terpilih. Pertama kali yang dilakukan adalah melakukan inisialisasi bobot untuk tiap – tiap node dengan nilai random. Setelah diberikan bobot *random*, maka jaringan diberi *input* sejumlah dimensi node/neuron *input*. Setelah *input* diterima jaringan, maka jaringan mulai melakukan perhitungan jarak vektor yang didapatkan dengan menjumlahkan selisih/jarak antara vektor *input* dengan vektor bobot. Arsitektur LVQ dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Arsitektur Learning Vector Quantization

Arsitektur LVQ seperti pada Gambar 8 merupakan bagian dari versi algoritma Kohonen Self-Organizing Map (SOM). LVQ terdiri dari dua lapisan, yaitu *input* dan *output*, di antara lapisannya dihubungkan oleh bobot tertentu yang sering disebut sebagai vektor perwakilan. Informasi yang diberikan ke jaringan pada saat pembelajaran bukan hanya vektor data saja melainkan informasi kelas dari data juga ikut dimasukkan.

Dengan:

X = Vektor Masukan (X_1, X_2, \dots, X_n)

W = Vektor Bobot atau Vektor Perwakilan

$|X - W|$ = Selisih nilai jarak *Euclidean* antara vektor masukan dengan vektor bobot.

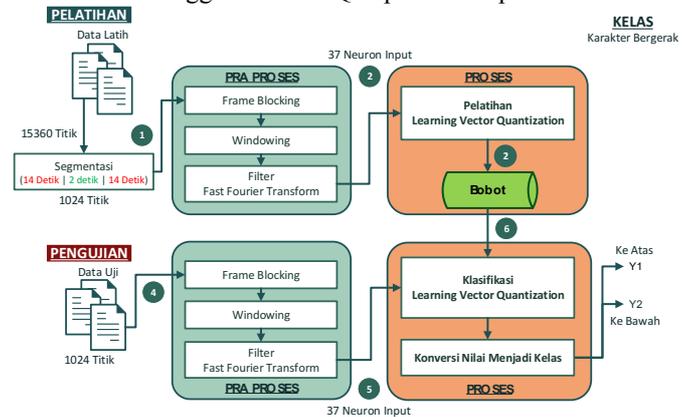
Pada penelitian ini *neuron* yang masuk pada LVQ ini terdapat 37 dari hasil ekstraksi oleh FFT. Hasil dari LVQ ini yaitu bobot dari masing – masing kelas yaitu bobot untuk kelas kesatu (karakter bergerak ke atas) dan bobot untuk kelas kedua (karakter bergerak ke bawah).

Terdapat penelitian terdahulu yang menggunakan LVQ untuk mengoperasikan Cursor Komputer melalui Ucapan, algoritma LVQ pada penelitian tersebut digunakan untuk mengklasifikasikan masukan ke kelas target yang ditentukan dan menghasilkan rata – rata persentase keberhasilan pengenalan suara pada sistem tersebut dengan menggunakan data latih adalah sebesar 88.89% dan rata – rata persentase

keberhasilan pengenalan suara pada sistem tersebut dengan menggunakan data uji adalah sebesar 83.99% [23]. Penelitian terdahulu lain juga yang menggunakan LVQ telah melakukan identifikasi ekspresi wajah [24], pengenalan tanda tangan [25], pengujian kualitas citra sidik jari [26] dan pengenalan wajah [27]. Dalam LVQ terdapat dua jenis proses, yaitu proses pelatihan dan proses pengujian. Proses pelatihan dilakukan melalui beberapa iterasi sampai batas iterasi maksimal atau tercapai.

IV. HASIL DAN DISKUSI

Sistem Identifikasi untuk kontrol gerak pada *game* berdasarkan sinyal EEG menggunakan ekstraksi FFT dan JST dengan algoritma LVQ. Komponen sinyal yang digunakan yaitu gelombang Teta (4 – 7 Hz), Gelombang Alfa (8 – 12 Hz), Gelombang Beta (13 – 30 Hz) dan Gelombang Gamma Low (31 – 40 Hz). Setiap frekuensi dari sinyal Alfa, Beta, Teta dan Gamma yang telah di *filter* oleh FFT dijadikan masukan ke LVQ. Sehingga terdapat 37 *neuron input* yang masuk pada LVQ. Proses identifikasi untuk menggerakkan karakter pada *game* dilakukan proses ekstraksi terhadap sinyal EEG terlebih dahulu menggunakan *filter* FFT. Sistem identifikasi menggunakan LVQ dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Sistem Identifikasi

Pada tahap pra proses di pelatihan, data yang dilatih disegmentasi terlebih dahulu di mana data hasil perekaman sebelumnya 30 detik. Dari 30 detik tersebut hanya 2 detik yang diproses dan dijadikan untuk data latih, 14 detik awal dan 14 detik akhir tidak digunakan. Data hasil segmentasi tersebut akan diproses melalui *filter* FFT yaitu merubah dari domain waktu ke domain frekuensi. Hasil dari *filter* FFT yaitu 37 tersebut akan dijadikan *neuron input* pada LVQ untuk direpresentasikan dalam gerakan karakter yaitu karakter gerak ke atas dan karakter gerak ke bawah. Sedangkan pada tahap pengujian data yang masuk langsung diproses melalui tahap pra proses yaitu oleh FFT lalu hasil dari pra proses tersebut dijadikan *neuron input* pada LVQ untuk diuji dengan membandingkan bobot dari hasil pelatihan.

Hasil klasifikasi pada proses pengujian menggunakan LVQ berupa bobot, sehingga diperlukan proses konversi nilai dari bobot klasifikasi tersebut menjadi kelas. Berikut sistem pengujian secara *realtime*, hasil pelatihan dan pengujian, serta

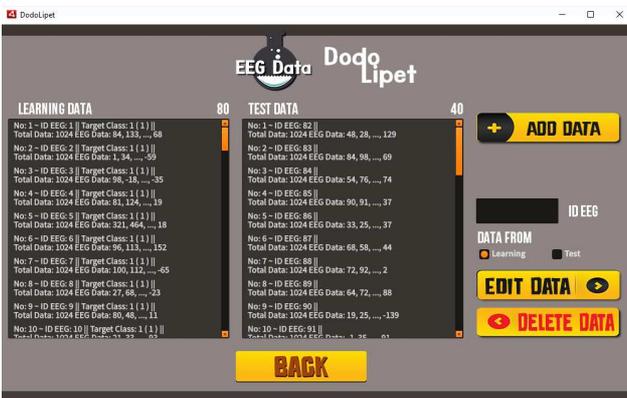
data latih yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12.



Gambar 10 Pengujian Data Secara Realtime



Gambar 11 Hasil Pelatihan dan Pengujian



Gambar 12 Data Latih dan Data Uji

V. KESIMPULAN

Penelitian ini telah membangun sistem kontrol gerak karakter pada *game* berdasarkan pikiran atau sinyal EEG menggunakan *filter* FFT dan LVQ terhadap dua kelas yaitu karakter bergerak ke atas ketika kondisi pikiran *user* sedang fokus dan karakter bergerak ke bawah ketika kondisi pikiran sedang rileks.

Berdasarkan hasil pengujian yang didapatkan menggunakan Ekstraksi FFT dan pengujian menggunakan

LVQ, sistem mampu mengenali data latih yang diujikan kembali dengan persentase sebesar 90% untuk kondisi rileks dan 40% untuk kondisi fokus. Sedangkan untuk data uji baru yang belum dilatih sebelumnya, sistem dapat mengenali dengan persentase sebesar 90% untuk kondisi rileks dan 22% untuk kondisi fokus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. C. Djamal dan H. A. Tjokronegoro, "Identifikasi dan Klasifikasi Sinyal EEG terhadap Rangsangan Suara dengan Ekstraksi Wavelet dan Spektral Daya," PROC. ITB Sains, 2005.
- [2] E. C. Djamal dan Suprijanto, "Recognition of Electroencephalogram Signal Pattern against Sound Stimulation using Spectral of Wavelet," TENCON, 2011.
- [3] M. A. Karyawan, A. Z. Arifin dan A. Saikhu, "Klasifikasi Sinyal EEG menggunakan Koefisien Autoregresif, E-Score, dan Least Squares Support Vector Machine," TIF, 2011.
- [4] N.-H. Lieu, C.-Y. Chiang dan H.-C. Chu, "Recognizing the Degree of Human Attention Using EEG Signals from Mobile Sensors," Sensors, 2013.
- [5] N. I. C. Marzuki, N. H. Mahmood dan N. Safri, "Type of Music Associated with Relaxation Based on EEG Signal Analysis," Jurnal Teknologi, 2013.
- [6] G. S. J. R. W. J. G. O. D. W. M. Eric C. Leuthardt, "A Brain Computer Interface using Electroencephalographic signal in Humans," Neural Engineering, pp. 63 - 71, 2004.
- [7] T. E. o. M. P. U. o. H. B. u. EEG, "Gurloleen Singh," International Journal of Computer Application, 2014.
- [8] N. B. D. J. M. G. P. T. M. V. Jonathan R. Wolpaw, "Brain Computer Interface for Communication and Control," Clinical Neurophysiology, pp. 767 - 791, 2002.
- [9] A. A. A. T. A. M. B. A. M. Mohammad H. Alomari, "EEG Mouse: A Machine Learning-Based Brain Computer Interface," International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), vol. 5, 2014.
- [10] V. Khare, J. Santhosh, S. Anand dan M. Bhatia, "Brain Computer Interface Based Real Time Control of Wheelchair Using Electroencephalogram," International Journal of Soft Computing and Engineering (IJSCE), vol. 1, no. 5, 2011.
- [11] E. A. Mohamed, M. Z. B. Yusoff, N. K. Selman dan A. S. Malik, "Enhancing EEG Signals in Brain Computer Interface Using Wavelet Transform," International Journal of Information and Electronics Engineering, vol. 4, 2014.
- [12] L. Vokorokos dan N. Adam, "Non-Invasive Brain Imaging Technique for Playing Chess with Brain Computer Interface," International Journal of Computer and Information Technology, vol. 3, 2014.
- [13] S. Ramesh, M. G. Krishna dan M. Nakirekanti, "Brain Computer Interface System for Mind Controlled Robot using Bluetooth," International Journal of Computer Applications, vol. 104, 2014.
- [14] T. Shanmugapriya dan S. Senthilkumar, "Robotics and the Brain Computer Interface System Critical Review for Manufacturing Application," International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering, vol. 2, no. 2, 2014.
- [15] G. Varghese, J. James, L. Joseph, M. K. John, S. Mathew dan S. Ramachandran, "Human Robot Cooperative System Based on Non-invasive Brain Computer Interface," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol. 4, no. 1, 2015.
- [16] P. A. Pour, T. Gulrez, O. AlZoubi, G. Gargiulo dan R. A. Calvo, "Brain Computer Interface Next Generation Thought Controlled Distributed Video Game Development Platform," IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games, 2008.
- [17] J. S. Brumberg, A. N. Castanon, P. R. Kennedy dan F. H. Guenther, "Brain Computer Interfaces for Speech Communication," Speech

Communication, pp. 367 - 379, 2010.

- [18] A. I. N. Alshbatat, "EEG-Based Brain Computer Interface for Automating Home Appliances," *Journal of Computers*, vol. 9, 2014.
- [19] T. S, S. M. S, M. C, R. Saxena, T. R. Prasad dan A. Tiwari, "Brain Computer Interface Systems to Assist Patients Using EEG Signals," *International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering*, vol. 3, no. 6, 2015.
- [20] Kemalasari, M. H. P, R. W dan N. S, "Pengolahan Sinyal Elektroensefalogram Sistem Peletakan 8 Elektrode dengan Metode Wavelet Transform," IES, 2003.
- [21] R. Y. Sipasulta, A. S. M. Lumenta dan S. R. U. A. Sompie, "Simulasi Sistem Pengacak Sinyal dengan Metode Fast Fourier Transform," *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*, 2014.
- [22] R. Dianputra, D. Puspitaningrum dan Ernawati, "Implementasi Algoritma Fast Fourier Transform Untuk Pengolahan Sinyal Digital pada Tuning Gitar dengan Open String," *Jurnal Teknologi Informasi*, 2014.
- [23] A. Setiawan, A. Hidayanto dan R. R. Isnanto, "Aplikasi Pengenalan Ucapan dengan Ekstraksi Mel-Frequency Cepstrum Coefficients melalui Jaringan Syaraf Tiruan Learning Vector Quantization untuk Mengoperasikan Cursor Komputer," *TRANSMISI*, 2011.
- [24] Sutarno, "Identifikasi Ekspresi Wajah Menggunakan Alihragam Gelombang Singkat (Wavelet) dan Jaringan Syaraf Tiruan Learning Vector Quantization," *Seminar Nasional Informatika UPN "Veteran"*, 2010.
- [25] D. Y. Qur'ani dan S. Rosmalinda, "Jaringan Syaraf Tiruan Learning Vector Quantization untuk Aplikasi Pengenalan Tanda Tangan," *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATI)*, 2010.
- [26] M. Nasir dan M. Syahroni, "Pengujian Kualitas Citra Sidik Jari Kotor Menggunakan Learning Vector Quantization," *Jurnal Litek*, pp. 65-69, 2012.
- [27] M. D. Wuryandari dan I. Afrianto, "Perbandingan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation dan Learning Vector Quantization pada Pengenalan Wajah," *Jurnal Komputer dan Informatika (KOMPUTA)*, 2012.