

## KLASIFIKASI SINYAL OTAK MENGGUNAKAN METODE LOGIKA FUZZY DENGAN NEUROSKY MINDSET

Agus Siswoyo<sup>1</sup>, Zainal Arief<sup>2</sup>, Indra Adji Sulistijono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politeknik Mekatronika Sanata Dharma, Kampus III, Paingan, Maguwoharjo, Sleman – Yogyakarta

<sup>2</sup>Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl.Raya ITS – Kampus ITS Sukolilo, Surabaya

E-mail: sis\_meca@yahoo.com

### Abstrak

*Antara otak dan bagian tubuh terhubung oleh saraf saraf dimana saraf memuat informasi untuk memerintahkan bagian tubuh. Informasi ini yang akan diklasifikasikan untuk mengetahui informasi sinyal apa yang terdapat pada otak manusia. Salah satu tujuan aplikasi yang saat ini berkembang adalah Brain Computer Interface (BCI), dimana sistem digital digunakan untuk menerjemahkan sinyal EEG untuk melakukan pengontrolan suatu perangkat. Metodologi penelitian menggunakan Fuzzy Logic Controller ini Fuzzy yang digunakan dengan metode mamdani. Untuk mengambil data sinyal otak ini menggunakan Neurosky Mindset. Hasil klasifikasi sinyal otak ini berupa sinyal yang berbeda antara lain Alfa/ $\alpha$ , Beta/ $\beta$ , Tetha/ $\theta$ , Gamma/ $\delta$ , Attention, meditasi.*

**Kata Kunci :Klasifikasi sinyal, Logika fuzzy, Neurosky Mindset`**

### Pendahuluan

EEG adalah teknik yang memungkinkan untuk mengukur aktifitas listrik pada kulit kepala secara real-time. Dengan demikian, penemuan EEG telah memungkinkan peneliti untuk mengukur aktivitas otak manusia dan mulai mencoba untuk memecahkan kode kegiatan ini. Dengan Merancang BCI adalah tugas yang kompleks dan sulit yang membutuhkan multidisiplin keterampilan seperti ilmu komputer, pemrosesan sinyal, ilmu saraf atau psikologi proses. Umumnya terdiri dari enam langkah proses : pengukuran aktivitas otak, preprocessing, feature ekstraksi, klasifikasi, terjemahan ke dalam perintah dan umpan balik.

Pada dasarnya ada dua jenis sistem BCI. Mereka adalah BCI invasif dan non-invasif BCI. Pada sistem BCI yang tergolong invasive sensor dimasukkan ke dalam jaringan otak manusia disisipkan pada lapisan terluar cortex tepat di bawah tempurung tengkorak dan disebut ECoG (electrocorticography) [Erick, Gerwin, Jonathan] [Bernhard Graimann, Jane E. Huggins] atau disisipkan di bagian dalam cerebral cortex (intracortical) [Daryl, Rio, Justin]. Sedangkan sistem BCI yang tergolong non-invasive sensor tidak dimasukkan ke dalam jaringan otak manusia contohnya adalah BCI yang berbasis EEG, fMRI,MEG, dan PET.

Tantangan utama kita harus berurusan dengan sangat rendah rasio signal dengan noise.Dengan menganalisis EEG-sinyal dengan diskriminan metode linear analisis dan jaringan syaraf tiruan tujuannya adalah untuk mengeksplorasi mana dari dua tugas kognitif yang mungkin subjek adalah melakukan. Sinyal Otak dari BCI sebagian besar sering diambil oleh elektroda pada permukaan kulit kepala.



Gambar 1. Sensor MindSet NeuroSky  
 Sumber : Instruction Manual Neurosky Mindset

Headset yang dirancang perusahaan Neurosky ini cukup ringan dan pas di telinga dengan probe yang terletak di dahi. Alat ini akan menangkap gelombang sinyal otak dan memroyeksikannya ke dalam sebuah gerakan permainan. Selama itu, komputer akan mendeteksi besarnya gelombang yang dihasilkan dalam skala tertentu kemudian menyesuaikan sensitivitas sehingga permainan dapat dijalankan. Pemilihan EEG atau alat pembaca sinyal ini berdasarkan pada kecepatan transfer data yang tinggi, non invasif, dan tidak menyebabkan rasa sakit pada si pemakainya. Maka dengan Neurosky mindset sangat murah dan praktis dalam pengambilan sinyal otak.

Otak manusia terdiri dari milyaran neuron yang saling berhubungan. Pola interaksi antara neuron ini direpresentasikan sebagai pikiran dan kondisi emosional. Setiap interaksi antara neuron menciptakan debit listrik sangat kecil. Keadaan sinyal otak yang berbeda adalah hasil dari pola yang berbeda dari interaksi saraf. Pola-pola ini didasarkan pada perbedaan gelombang amplitudo dan frekuensi yang berbeda, misalnya gelombang antara 12 dan 30 hertz termasuk gelombang beta. Gelombang beta berhubungan dengan konsentrasi sementara gelombang antara 8 dan 12 hertz disebut Alpha yang berhubungan dengan relaksasi dan keadaan tenang mental.

### Logika Fuzzy

Logika fuzzy adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang input kedalam suatu ruang output. Titik awal dari konsep modern mengenai ketidakpastian adalah paper yang dibuat oleh Lofti A Zadeh (1965), dimana Zadeh memperkenalkan teori yang memiliki obyek-obyek dari himpunan fuzzy yang memiliki batasan yang tidak presisi dan keanggotaan dalam himpunan fuzzy, dan bukan dalam bentuk logika benar (true) atau salah (false), tapi dinyatakan dalam derajat (degree). Konsep seperti ini disebut dengan Fuzziness dan teorinya dinamakan Fuzzy Set Theory. Fuzziness dapat didefinisikan sebagai logika kabur berkenaan dengan semantik dari suatu kejadian, fenomena atau pernyataan itu sendiri. Seringkali ditemui dalam input sensor, evaluasi dan suatu pengambilan keputusan. Kontroler logika fuzzy dikategorikan dalam kontrol cerdas (intelligent control). Unit logika fuzzy memiliki kemampuan menyelesaikan masalah perilaku sistem yang kompleks, yang tidak dimiliki oleh controller konvensional. Secara umum controller logika fuzzy memiliki kemampuan sebagai berikut:

- Beroperasi tanpa campur tangan manusia secara langsung, tetapi memiliki efektifitas yang sama dengan controller manusia.
- Mampu menangani sistem-sistem yang kompleks, non-linier dan tidak stasioner.
- Memenuhi spesifikasi operasional dan kriteria kinerja.
- Strukturnya sederhana, kokoh dan beroperasi realtime.

Dengan menggunakan *Fuzzy Logic Controller*, masukan sinyal perhatian (attention) akan diproses guna mendapatkan nilai duty cycle sinyal PWM untuk mengatur lampu nyala LED, nilai inilah yang digunakan sebagai acuan pembangkit PWM. Acuan utama yang digunakan dalam pengukuran sinyal perhatian dari Neurosky Mindset. Dengan metode ini, nyala LED dapat diatur secara bertahap tergantung dari perhatian seseorang pemakai. Langkah perancangan ada 3 tahap:

#### 1. Fuzzyfikasi

Meliputi pendefinisian masukan/keluaran sistem dalam format crisp dan batasan nilai-nilainya

## 2. Inferensi Fuzzy

Inferensi fuzzy mengacu pada grafik kinerja sistem kendali domain waktu dengan masukan step response, kemudian dibuatlah *if-then* rule yang merepresentasikan tujuan yang diinginkan yaitu peningkatan kinerja sistem.

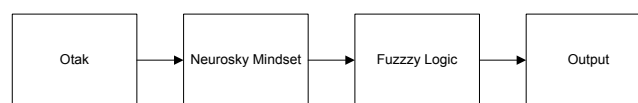
## 3. Defuzzyfikasi

Langkah terakhir dalam pengembangan system fuzzy adalah defuzzyfikasi yakni untuk mendapatkan nilai crisp dari hasil inferensi fuzzy.

Pada proses defuzzyfikasi dengan metode COG setiap keluaran fungsi keanggotaan yang mempunyai nilai diatas fuzzy keluaran dipotong, pemotongan ini disebut lamda cut. Hasil dari fungsi keanggotaan yang telah terpotong digabungkan lalu dihitung dengan COG secara keseluruhan.

### Blok Sistem

Mindset NeuroSky sendiri adalah sensor gelombang otak yang menggunakan probe untuk menangkap pola sinyal otak dan menerjemahkannya ke dalam hal-hal yang dapat ditampilkan ke komputer. Pola dan frekuensi dari sinyal-sinyal listrik dapat diukur dengan menempatkan sensor pada kulit kepala. Mindset berisi teknologi NeuroSky thinkGear™, yang mengukur sinyal listrik analog, biasanya disebut sebagai gelombang otak, memproses menjadi sinyal digital yang berguna dalam permainan dan aplikasi.



Gambar 2. Blok Sistem

Untuk mendapatkan nilai nilai sinyal dari neurosky mindset dengan menghubungkan arduino dan bluetooth shield. Mendapatkan data output dari mindset neurosky berupa nilai yaitu dengan mengkonfigurasi modul Bluetooth dan menghubungkan dengan mikrokontroler. Mikrokontroler yang saat ini digunakan dalam pengujian sebuah Arduino Uno. Berikut langkah-langkah untuk mendapatkan output sinyal otak.



Gambar 3. Modul Bluetooth

### Spesifikasi:

- 1) v6.15 Firmware
- 2) FCC Approved Class 2 Bluetooth \*\*\*\* Radio Modem
- 3) Extremely small radio – 0.15x0.6x1.9”
- 4) Very robust link both in integrity and transmission distance (18m)
- 5) Hardy frequency hopping scheme – operates in harsh RF environments like WiFi, 802.11g, and Zigbee
- 6) Encrypted connection
- 7) Frekuensi: 2.4~2.524 GHz
- 8) Tegangan kerja: 3.3V-6V
- 9) Komunikasi Serial: 2400-115200bps
- 10) Suhu Kerja: -40 ~ +70C
- 11) Built-in antenna

12) Dimensi: 45x16.6x3.9mm



Gambar 4. Arduino Uno

Spesifikasinya berupa.

1. Microcontroller ATmega328
2. Operating Voltage 5V
3. Input Voltage (recommended) 7-12V
4. Input Voltage (limits) 6-20V
5. Digital I/O Pins 14 (of which 6 provide PWM output)
6. Analog Input Pins 6
7. DC Current per I/O Pin 40 mA
8. DC Current for 3.3V Pin 50 mA
9. Flash Memory 32 KB of which 2 KB used by bootloader
10. SRAM 2 KB
11. EEPROM 1 KB
12. Clock Speed 16 MHz

Sebagai pengendali utama dalam pembuatan alat ini adalah Arduino Uno, Arduino adalah *open-source* elektronik *prototyping platform* berbasis pada perangkat keras yang fleksibel, mudah digunakan. Arduino bisa menerima masukan dari berbagai sensor dan dapat mempengaruhi sekitarnya dengan mengendalikan lampu, motor, dan aktuator lainnya. Mikrokontroler di papan diprogram menggunakan bahasa pemrograman bahasa C. Dalam klasifikasi sinyal otak pengambilan sinyal otak menggunakan neurosky mindset ini belum cukup dengan Arduino Uno maka untuk koneksi ke Bluetooth shield. Arduino Uno memiliki 14 digital input / output pin (dimana 6 dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog.

Menentukan MAC address Mindset Neurosky:

1. Buka Pengaturan Bluetooth pada komputer dan klik "Add a Device" atau "New Connection"
2. Supaya Mindset Neurosky ditemukan, Hidupkan tombol power pada Mindset Neurosky. Setelah LED menyala, sampai LED mulai double-blink. Maka ditemukan.
3. Memasangkan Mindset Neurosky, dan menentukan itu alamat MAC, yang merupakan nilai heksadesimal 12 digit.
4. Alamat MAC Address pada Mindset Neurosky akan digunakan untuk menghubungkan Mindset neurosky dengan modul Bluetooth.

Menghubungkan Modul Bluetooth ke Arduino Uno.

Dengan menyolder header ke Modul Bluetooth, atau menggunakan kabel jumper untuk menghubungkan ke papan Arduino.

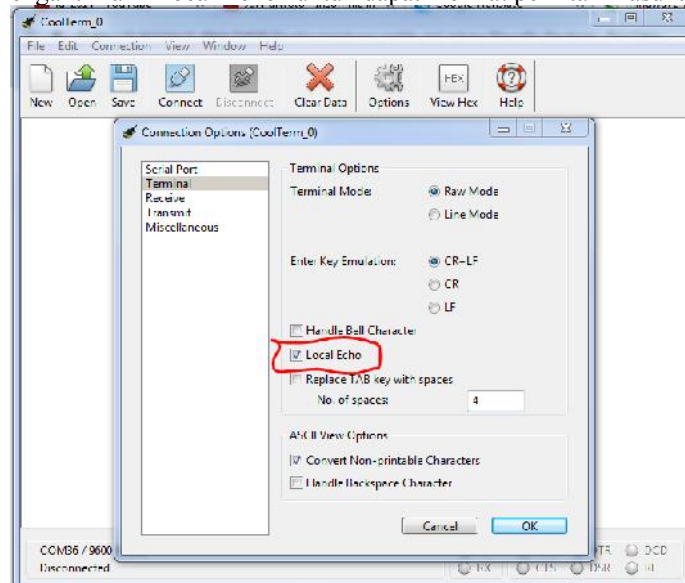
1. Pada Modul Bluetooth RTS dan CTS dihubungkan dengan jumper.
2. Hubungkan Modul Bluetooth Vcc ke 5V Arduino itu.
3. Hubungkan Modul Bluetooth GND ke GND Arduino
4. Hubungkan Modul Bluetooth TX ke pin 10 Arduino
5. Hubungkan Modul Bluetooth RX ke pin 11 Arduino

Sumber tegangan Arduino dapat didukung oleh USB, atau dengan baterai, atau dengan catu daya eksternal.

Konfigurasi Modul Bluetooth.

1. Setelah papan Arduino dan Bluetooth terhubung, Akan terlihat LED merah berkedip pada Modul Bluetooth.
2. Menghubungkan Modul Bluetooth ke komputer. Di komputer akan menampilkan nama Modul Bluetooth RN-42-5922. Default Baud Rate adalah 115200.

3. Buka Software Terminal Coolterm dan menghubungkan Modul Bluetooth. LED akan menyala hijau ketika terhubung.
4. Pastikan untuk mengaktifkan “Local Echo” untuk dapat melihat perintah masukan.



Gambar 5. Konfigurasi coolterm

5. Untuk menempatkan Modul Bluetooth ke mode COMMAND, ketik \$ \$ \$ .  
Jika berhasil, akan menampilkan “CMD”
6. Ketik: D maka akan terlihat konfigurasi saat ini Modul Bluetooth.
7. Ketik: SP, 0000 ini akan mengubah kode PIN dari ‘1234 ‘to ‘0000’
8. Ketik: SM, 3 ini akan mengkonfigurasi BlueSMiRF ke Auto-Connect Mode. Setelah modul dinyalakan, maka akan langsung terhubung.  
Tampilan “AOK” jika hal ini dilakukan dengan benar.
9. Ketik: SR, MAC ADDRESS. Masukkan alamat 12 digit MAC address disalin dari Mindset Neurosky.  
Tampilan “AOK” jika hal ini dilakukan dengan benar.
10. Ketik: SU, 57.6 Ini akan mengubah baudrate 115200-57600.
11. Ketik: D Untuk memastikan dengan melihat bahwa alamat yang disimpan adalah Mac address Mindset neurosky yang dipakai, dan mengkonfigurasi untuk Auto, tidak Slave
12. Kemudian terakhir ketik: - (tiga tanda minus) Ini akan keluar dari Coolterm. Jika berhasil akan tertampil END.

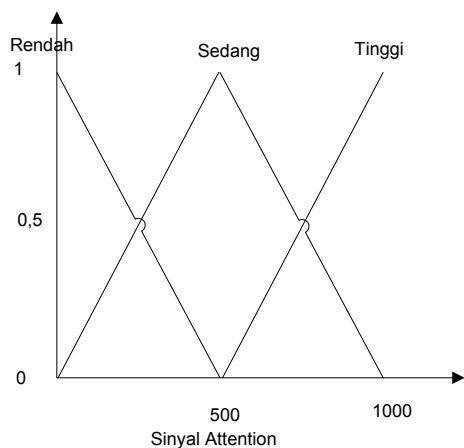
Bila sudah terkonfigurasi dengan software coolterm maka modul Bluetooth sudah dapat digunakan untuk mengambil nilai dari sinyal otak yang keluar dari mindset neurosky. Jika modul 123lueetooth LED merah berubah menjadi nyala hijau solid, maka telah terhubung dan menerima data dari Mindset neurosky. Jika tidak, coba lagi untuk mengkonfigurasi modul 123lueetooth atau memeriksa alamat MAC yang tepat. Untuk mengembalikan pengaturan awal pada modul Bluetooth dengan memberikan input pulsa dengan frekuensi 1 detik pada pin 22.

Blok sistem diatas merupakan proses klasifikasi sinyal otak menggunakan logika fuzzy. Dari hasil data pembacaan sinyal. Maka data sinyal akan difuzzykan. Metodologi penelitian menggunakan *Fuzzy Logic Controller* ini Fuzzy yang digunakan dengan metode mamdani., masukan akan diproses guna mendapatkan nilai perhatian/*attention* pengguna, nilai inilah yang digunakan sebagai acuan.

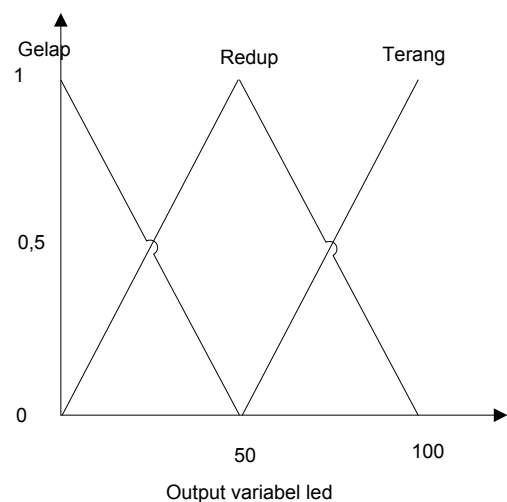
Fuzzy system yang lengkap terdiri dari tiga komponen utama, yaitu

#### 1. Fuzzification

Fuzzyfication merupakan proses pemetaan nilai-nilai input (crisp input) yang berasal dari sistem yang dikontrol (besaran non-fuzzy) ke dalam himpunan fuzzy menurut fungsi keanggotaannya. Himpunan fuzzy tersebut merupakan fuzzy input yang akan diolah secara fuzzy pada proses berikutnya. Untuk mengubah crisp input menjadi fuzzy input, terlebih dahulu harus menentukan membership function untuk tiap crisp input, kemudian proses fuzzyfikasi akan mengambil crisp input dan membandingkan dengan membership function yang telah ada untuk menghasilkan nilai fuzzy input



Gambar 6. Fungsi keanggotaan input sinyal attention



Gambar 7. Fungsi keanggotaan output Led

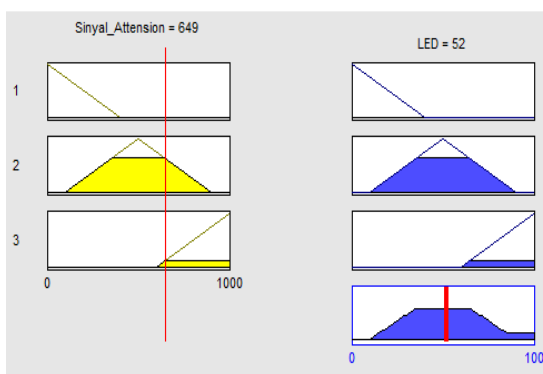
2. Desain rule base

Tabel 1 Rule Base

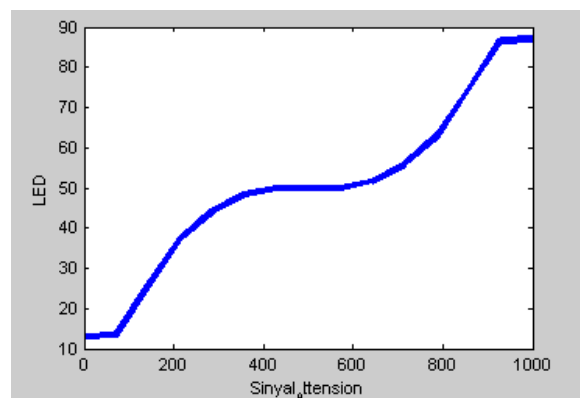
input/output	0-400	400-600	600-1000
Gelap	0	0	0
Redup	0	0	0
Terang	0	0	0

3. Defuzzyfication

1. If (Sinyal\_Attention is rendah) then (LED is REDUP) (1)
2. If (Sinyal\_Attention is sedang) then (LED is SEDANG) (1)
3. If (Sinyal\_Attention is tinggi) then (LED is TERANG) (1)



Gambar 8. Hasil Defuzzyfication output Led



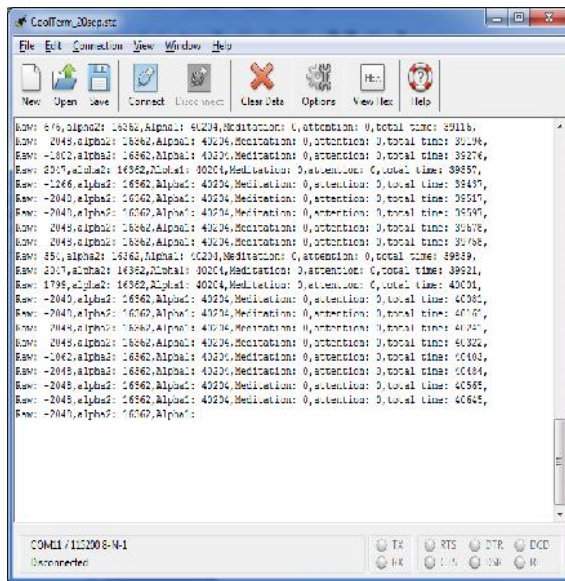
Gambar 9. Hasil Defuzzyfication output Led

Faktor penting dalam sukses pengoperasian sistem BCI adalah metode yang digunakan untuk memproses sinyal otak, Logika Fuzzy dipakai karena memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat dan konsep matematis yang mendasari penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.

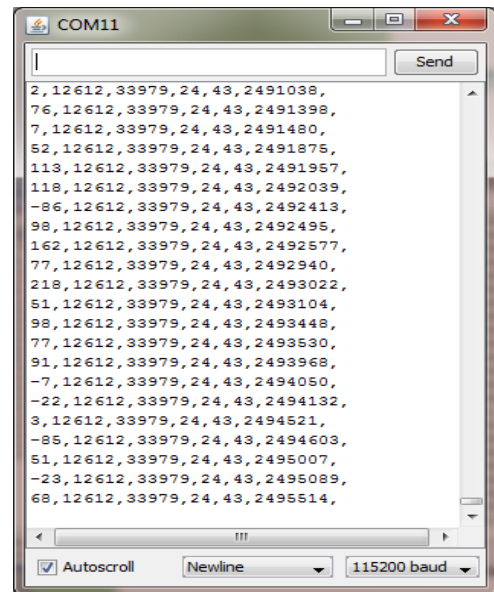
Sinyal yang diberikan oleh BCI dapat mengungkapkan informasi yang berbeda seperti kegiatan otak, ekspresi wajah, atau tingkat kegembiraan pengguna. Di sisi lain, electroencephalogram nirkabel Mindset (EEG) perangkat yang dikembangkan oleh NeuroSky digunakan untuk mengukur sinyal EEG, dan menggunakan koneksi Bluetooth sebagai *interface* antara otak-komputer. Untuk mengukur empat sinyal frekuensi gelombang otak yang berbeda Alfa/ $\alpha$ , Beta/ $\beta$ , Tetha/ $\theta$ , Gamma/ $\delta$ , menggunakan algoritma Chip otak eSense. Selain itu beberapa fungsi dari algoritma Chip otak eSense menghitung konteks perhatian, parameter meditasi, konteks gelombang otak pemakai dan datanya dihitung, dianalisa kemudian baru disimpan.

Pembahasan mencakup komponen-komponen yang mendukung perancangan perangkat-keras, seperti: mikrokontroler menggunakan Arduino Uno, Mindset neurosky, Bluetooth shield, dan LED. Perangkat-lunak yang digunakan untuk mendukung kinerja sistem adalah arduino 22.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara simultan diperoleh hasil penelitian data sensor neurosky mindset realtime. Hasil data pengambilan data serial pada modul bluetooth, didapatkan nilai yang masih harus di proses dengan metoda Logika fuzzy.

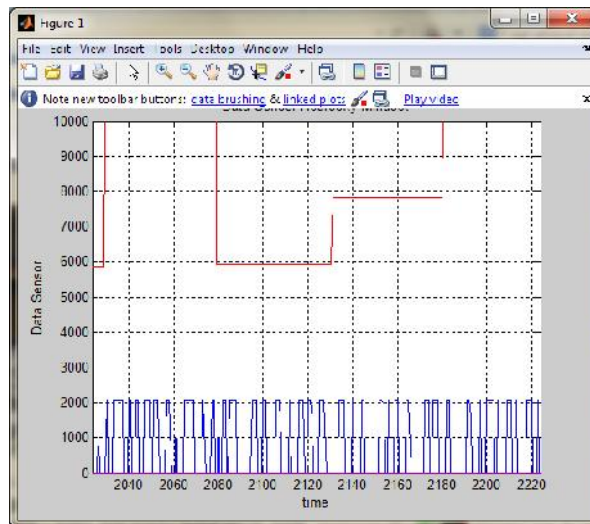


Gambar 10. Hasil pembacaan sensor Neurosky Mindset



Gambar 11. Nilai yang dikirim ke Matlab

Data digambar 2 hasil pembacaan sensor dari Neurosky Mindset ditampilkan di serial, data yang dipakai untuk mengontrol kondisi led dengan fuzzy yaitu nilai Attention.



Gambar 12. Grafik klasifikasi sinyal sensor Neurosky Mindset realtime

**Analisa Hasil**

Hasil tegangan EEG diukur dalam microvolts (  $\mu V$  ) [3]. Elektroda pada EEG biasanya dibuat dari bahan konduktor, seperti emas atau perak klorida, dengan diameter approximative dari 1 cm.

Dalam pengolahan sinyal otak digunakan perhitungan FFT. FFT (Fast Fourier Transform) adalah proses matematika yang digunakan dalam menganalisa EEG untuk menyelidiki komposisi sinyal EEG [6]. FFT mengubah sinyal dari domain waktu ke dalam domain frekuensi , sehingga distribusi frekuensi EEG dapat diamati . Distribusi frekuensi EEG sangat sensitif terhadap keadaan mental dan emosional serta lokasi elektroda.

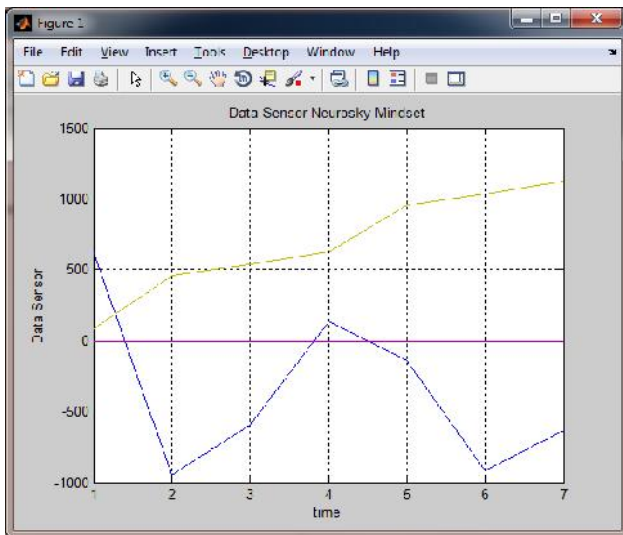
Gelombang Otak dari Mindset Neurosky dikelompokkan berdasarkan frekuensi: (amplitudo sekitar  $100\mu V$  max).

**Tabel 1.** Sinyal Otak

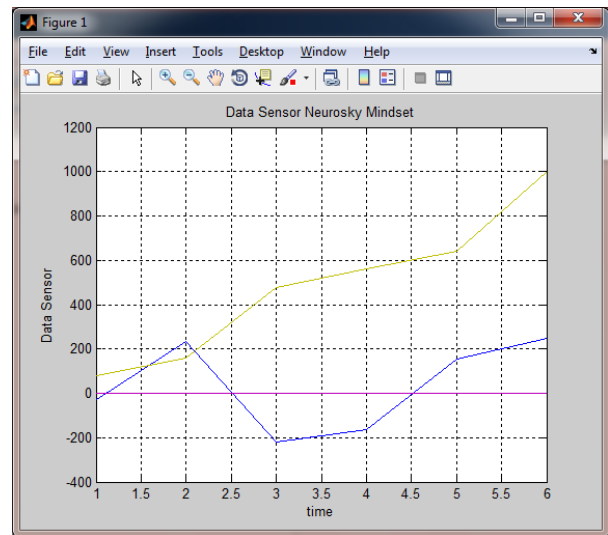
Tipe Sinyal Otak	Frekuensi	Kedadaan Mental
Delta	0.1 – 3 hz	Tertidur lelap, tanpa mimpi.
Theta	4 - 7 Hz	Tidur ringan, atau sangat mengantuk
Alpha	8 - 12 Hz	Relaksaksi mulai istirahat, masa peralihan antara sadar dan tidak sadar, napas mulai melambat dan dalam
Beta	12 - 36 Hz	Aktifitas mental yang terjaga penuh,
Low Beta	12 -15 Hz	Santai namun terfokus
Midrange Beta	16 -20 Hz	Berfikir
High Beta	21 - 30 Hz	Waspada

Hasil klasifikasi sinyal otak ini berupa sinyal berbeda Alfa/ $\alpha$  (8Hz sampai 12Hz), Beta/ $\beta$  (12Hz sampai 36Hz), Tetha/ $\theta$  4Hz sampai 7Hz. Dari proses metode logika fuzzy dihasilkan perintah keputusan untuk diaplikasikan pengontrolan sebuah lampu Led antara lain gelap, redup, terang.

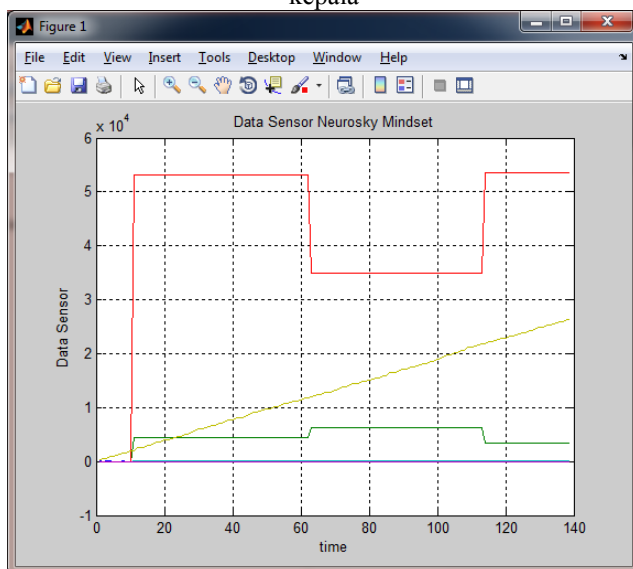
Hasil simulasi ke MatLab



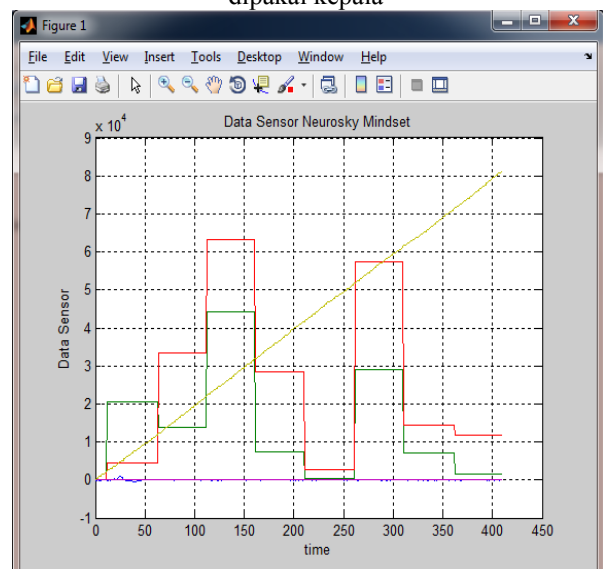
Gambar 13. Kondisi di saat sensor belum menempel di kepala



Gambar 14. Kondisi di saat sensor Neurosky Mindset dipakai kepala

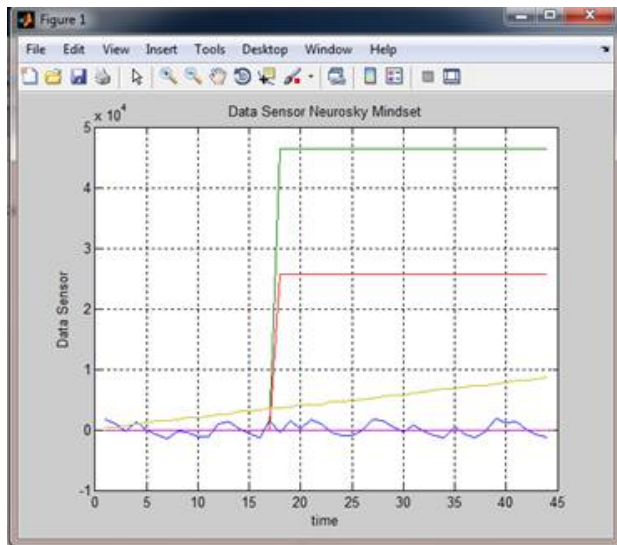


Gambar 15. Hasil simulasi dalam kondisi relax



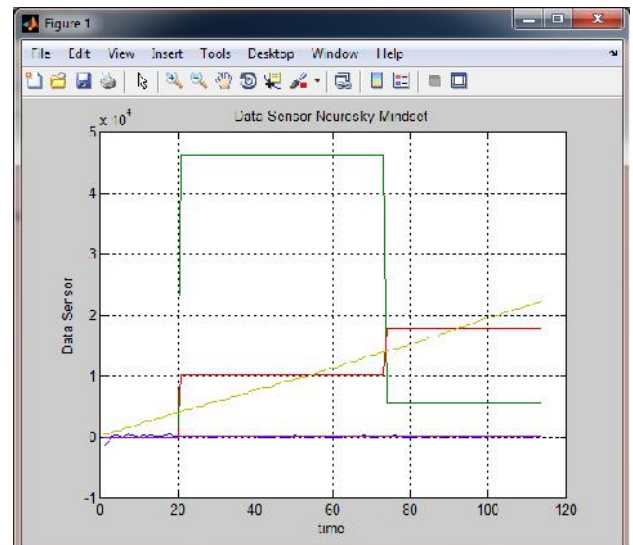
Gambar 16. Hasil dalam kondisi terjaga





Gambar 17. Hasil dalam kondisi focus terhadap suatu huruf

A



Gambar 18. Hasil dalam kondisi focus terhadap suatu

huruf B

Dari hasil data pengambilan data serial pada modul Bluetooth dan Simulasi data neurosky mindset, didapatkan nilai integer yang masih diproses dalam klasifikasi sinyal yang diperlukan untuk mendapatkan bagian yang tepat untuk mengontrol sebuah lampu LED. Nilai sensor dari sinyal attention digunakan untuk mengontrol nyala lampu LED dengan metode fuzzy. Metodologi penelitian menggunakan *Fuzzy Logic Controller* ini Fuzzy yang digunakan dengan metode mamdani., masukan akan diproses guna mendapatkan nilai perhatian/attention pengguna, nilai inilah yang digunakan sebagai acuan.

### Kesimpulan

Sensor neurosky mindset sudah dapat dibaca nilai sensor dengan menggunakan modul bluetooth dan ditampilkan pada monitor serial. Paket data terdiri dari sinyal raw, alfa1, alfa2, beta, perhatian, meditasi, frekuensi. Dari data sensor neurosky mindset serial monitor dapat disimulasi ke dalam grafik dengan matlab. Nilai dari sinyal sensor bacaan NeuroSky mindset kurang stabil sehingga sulit untuk memetakan mengklasifikasinya, sehingga data tersebut bercampur dengan noise. Distribusi frekuensi EEG sangat sensitif terhadap keadaan mental dan emosional serta lokasi elektroda.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengklasifikasi tersebut adalah pilihan untuk klasifikasi data BCI. Logika fuzzy dalam mengontrol nyala sebuah lampu LED berhasil di pakai dengan sebuah klasifikasi sinyal otak. Dengan kondisi konsentrasi pemakai dapat mengatur nyala lampu. Disaat kondisi konsentrasi pemakai rendah lampu LED akan redup. Bila konsentrasi pemakai ditingkatkan maka kondisi akan nyala sedang. Bila konsentrasi pemakai tinggi nyala lampu LED akan terang.

### Saran

Pengembangan dari hasil klasifikasi sinyal otak mampu memberikan pilihan komunikasi dan kontrol baru. Hasil ini bisa diterapkan untuk pengontrolan perangkat keras lain contohnya lengan robot, kaki robot, kendaraan, untuk permainan, untuk mengetahui kondisi seseorang. Dan yang penting bagi mereka yang cacat motorik sangat mungkin juga memberi manfaat lain bagi mereka yang tidak cacat.

### Daftar Pustaka

- Bashashati, A., Fatourehchi, M., Ward, R.K., Birch, G.E.: A survey of signal processing algorithms in brain-computer interfaces based on electrical brain signals. *J. Neural Eng.* 4(2), R32–R57 (2007)
- Boyu Wang, Feng Wan, Peng Un Mak, Pui In Mak, and Mang I Vai, Member IEEE, EEG Signals Classification for Brain Computer Interfaces Based on Gaussian Process Classifier, May, 2009
- Calvo, R.A., Brown, I., Scheduling, S.: Effect of experimental factors on the recognition of affective mental states through physiological measures. In: Nicholson, A., Li, X. (eds.) *AI 2009. LNCS (LNAI)*, vol. 5866, pp. 61–70. Springer, Heidelberg (2009)

- Chanel, G., Kronegg, J., Grandjean, D., Pun, T.: Emotion assessment: Arousal evaluation using eeg's and peripheral physiological signals. In: Gunes, B., Jain, A.K., Tekalp, A.M., Sankur, B. (eds.) MRCS 2006. LNCS, vol. 4105, pp. 530–537. Springer, Heidelberg (2006)
- Heijden, F., Duin, R., de Ridder, D., Tax, D.: Classification, parameter estimation and state estimation. John Wiley & Sons, Chichester (2004)
- Jose Principe, "Brain Machine Interfaces: Mind over Matter", 2005. <http://www.ece.ufl.edu/publications/Archives/inthenews/2005/brainmachine.html>
- Jorge Baztarrica Ochoa, EEG Signal Classification for Brain Computer Interface Applications, March 28th, 2002.
- Ki-Hong Kim, Hong Kee Kim, Jong-Sung Kim, Wookho Son, and Soo-Young Lee, A Biosignal-Based Human Interface Controlling a Power-Wheelchair for People with Motor Disabilities, ETRI Journal, Volume 28, Number 1, February 2006.
- Mustafa Ahmed Yousef dan Mustafa Ezz EL-din Mohamed, Brain Computer Interface System, Graduation Project Report, Helwan University, 2011.
- Olofsson, J.K., Nordin, S., Sequeira, H., Polich, J.: Affective picture processing: an integrative review of erp findings. *Biol. Psychol.* 77(3), 247–265 (2008)
- Picard, R.W., Vyzas, E., Healey, J.: Toward machine emotional intelligence: analysis of affective physiological state. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* 23(10), 1175–1191 (2001)
- Rajesh Kannan. Megalingam, Athul. Asokan Thulasi, Rithun. Raj Krishna, Manoj. Katta Venkata, Ajithesh. Gupta B V, Tatikonda. Uday Dutt, Thought Controlled Wheelchair Using EEG Acquisition Device, 3rd International Conference on Advancements in Electronics and Power Engineering (ICAPEPE'2013) January 8-9, 2013 Kuala Lumpur (Malaysia).
- Savran, A., Ciftci, K., Chanel, G., Mota, J., Viet, L., Sankur, B., Akarun, L., Caplier, A., Rombaut, M.: Emotion detection in the loop from brain signals and facial images (2006)
- Shenoy, P., Krauledat, M., Blankertz, B., Rao, R., Müller, K.: Towards adaptive classification for bci. *Journal of Neural Engineering* 3(1) (2006)
- Tom Carlson and Jos'e del R. Mill'an, Brain-Controlled Wheelchairs: A Robotic Architecture, *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 20(1): 65 – 73,, March
- Vijay khare, Jayashree Santhosh and Sneha Anand Manvir Bhatia, "Controlling wheelchair using Electroencephalogram (EEG)", *International Journal of Computer Science and Information Security*, Vol. 8, No.2, 2010.