

**ANALISIS TINGKAT KONSENTRASI BERPIKIR MANUSIA BERDASARKAN EEG DAN EKG
MENGUNAKAN ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM
HUMAN THINKING CONCENTRATION LEVEL ANALYSIS BASED ON EEG AND ECG USING
ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM**

Arib Bady Hakim Tanjung¹, Ig. Prasetya Wibawa,S.T,M.T.², Dr.Husneni Mukhtar,S.SI.,M.T³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹aribbady@student.telkomuniversity.ac.id ²prasdwbawa@telkomuniversity.ac.id

³husnenimukhtar@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Konsentrasi sangat dibutuhkan dalam melakukan setiap aktivitas agar tidak terjadi hal-hal yang tidak kita inginkan. Menurut situs resmi *National Highway Traffic Safety Administration*, kurangnya konsentrasi merupakan salah satu penyebab terjadinya kecelakaan dijalanan. Dengan menggunakan sinyal otak (EEG) dan sinyal dari detak jantung (EKG) kita dapat mendeteksi tingkat konsentrasi seseorang. Sinyal EKG akan diubah ke dalam Beat Per Minute (BPM) dan sinyal EEG akan diekstraksi untuk mendapatkan ciri menggunakan Power Spectral Density (PSD).

Dari hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa rentang nilai Δ BPM saat level konsentrasi Rendah, Sedang dan Baik berurut-turut adalah 1-15, 3-19 dan 11-27. Dan hasil training dari ANFIS menghasilkan akurasi sebesar 80.69% untuk data latih dan 65.88% untuk data uji.

Kata Kunci: EEG, EKG, BPM, Fuzzy, PSD, ANFIS

Abstract

Concentration is very much needed in doing every activity to prevent things that we don't want. According to the official website of the National Highway Traffic Safety Administration, lack of concentration is one of the causes of road accidents. By using brain signals (EEG) and signals from heartbeats (ECGs) we can detect a person's level of concentration. The ECG signal will be converted into Beat Per Minute (BPM) and the EEG signal will be extracted to obtain features using Power Spectral Density (PSD).

The results obtained show that the range of values of Δ BPM when the concentration levels of Low, Medium and Good are respectively 1-15, 3-19 and 11-27. And training results from ANFIS produce an accuracy of 80.69% for training data and 65.88% for test data.

Keywords: EEG, ECG, BPM, Fuzzy, PSD, ANFIS

1. Pendahuluan

Dalam melakukan setiap aktivitas atau kegiatan, dibutuhkan konsentrasi. Dari kegiatan yang mudah hingga kegiatan sulit yang membutuhkan konsentrasi tinggi. Konsentrasi diperlukan agar setiap kegiatan yang kita lakukan berjalan baik dan sesuai dengan yang diharapkan. Sebagai contoh bila kita makan, jika kita tidak berkonsentrasi saat makan atau melamun bisa menyebabkan lidah tergigit atau tersedak. Begitu pula dengan halnya jika kita mengendarai motor atau mobil, jika kita tidak berkonsentrasi atau pikiran kita tidak terfokus pada jalanan misalnya memikirkan keadaan keluarga ataupun skripsi yang tak kunjung selesai, dapat menyebabkan kecelakaan pada diri sendiri atau orang lain bahkan dapat menghilangkan nyawa.

Pada penelitian ini penulis ingin menganalisis pengaruh tingkat konsentrasi seseorang terhadap detak jantung (EKG) dan gelombang otak (EEG). Data sinyal EEG dan EKG tadi akan digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat atau level konsentrasi manusia. Untuk mendapatkan hasil klasifikasi dari data masukan, algoritma yang digunakan adalah ANFIS (*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*). ANFIS digunakan karena dengan menggabungkan sistem fuzzy dan jaringan syaraf tiruan diharapkan dapat mengoptimasi proses inferensi, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk pembangkitan fungsi keanggotaan dapat dilakukan relatif lebih singkat.

2. Dasar Teori

2.1. Pengertian Konsentrasi

Secara umum konsentrasi berarti pemusatan pikiran, perhatian, jiwa, dan fisik pada suatu objek atau hal [25]. Sedangkan konsentrasi menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia memiliki banyak arti, yaitu:

- 1) pemusatan perhatian atau pikiran pada suatu hal;
- 2) pemusatan tenaga, kekuatan, pasukan dan sebagainya di suatu tempat;

- 3) pemusatan beberapa penerbitan dalam suatu kekuasaan;
- 4) persentase kandungan bahan dalam satu larutan;

2.2. Elektroda

Salah satu sinyal yang dihasilkan oleh aktivitas tubuh manusia adalah sinyal bioelektrik. Sinyal ini merupakan hasil dari proses fisiologis yang terjadi dalam tubuh manusia, dan menghasilkan arus listrik karena adanya ion-ion yang timbul dalam proses tersebut. Agar dapat mengukur fenomena bioelektrik ini, diperlukan transduser yang dapat mengubah aliran ion ke aliran elektron. Transduser yang digunakan ini biasa disebut juga dengan bioelektroda.

2.3. Elektrokardiogram

Elektrokardiogram (EKG) adalah suatu sinyal yang dihasilkan oleh aktivitas listrik pada otot jantung. Sinyal EKG ini merupakan rekaman informasi kondisi jantung yang diambil dengan memasang elektroda pada badan dengan menggunakan gel [3]. Alat yang digunakan untuk menghasilkan atau menampilkan sinyal EKG adalah Elektrokardiograf. Sebuah sinyal EKG normal terdiri dari gelombang P, kompleks QRS, dan gelombang T. Heart Rate (HR) atau denyut jantung adalah pengukuran detak jantung dalam menit, biasa disebut dengan Beats Per Minute (BPM) yang sudah ada selama ribuan tahun lalu.

2.4. Elektroensefalogram

Elektroensefalogram adalah sinyal bioelektrik yang dihasilkan karena adanya aktivitas listrik di otak. Alat yang digunakan untuk menampilkan sinyal EEG disebut elektroensefalograf. Otak kita memiliki lima jenis gelombang otak, atau sering disebut dengan brainwaves. Lima diantara itu adalah gelombang gamma, beta, alpha, theta, dan delta yang memiliki pita frekuensi masing-masing. Setiap gelombang otak memiliki amplitude dalam mikrovolt (μV) yang menentukan kekuatan gelombang otak yang nantinya berfungsi menentukan pikiran aktif kita [17].

2.5. Band Pass Filter

Band Pass Filter merupakan filter yang melewatkan frekuensi diantara frekuensi cut-off bawah dan frekuensi cut-off atas dan juga meredam semua frekuensi diluarnya. Pada tahap pre-processing ini filter yang digunakan adalah Band Pass Filter Butterworth. Filter Butterworth menghasilkan respon yang tidak memiliki ripple dan secara maksimal datar di passband dan stopband [27]. Sebenarnya, sinyal mentah EEG yang didapatkan mengandung semua pita frekuensi seperti Delta, Theta, Alpha, Beta dan Gamma. BPF Butterworth dipilih untuk mendapatkan gelombang Alpha (8Hz – 13Hz).

2.6. Power Spectral Density

Pada tugas akhir ini PSD (*Power Spectral Density*) digunakan sebagai ekstraksi ciri dari sinyal EEG yang telah difilter. PSD mendeskripsikan distribusi kekuatan sinyal (energi) terhadap fungsi frekuensi (W/Hz). Dengan kata lain, PSD menunjukkan dimana variasi frekuensi yang kuat dan variasi frekuensi yang lemah [28]. Untuk mendapatkan PSD digunakan FFT pada sinyal yang telah difilter. Berikut adalah persamaan dari PSD :

$$P_x(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{|X_T(f)|^2}{T} \quad (1)$$

2.7. Logika Fuzzy

Sebelum munculnya teori logika fuzzy (*Fuzzy Logic*), dikenal dengan sebuah logika tegas (*Crisp Logic*) yang memiliki nilai 1 (benar) atau 0 (salah) secara tegas. Sedangkan logika fuzzy adalah sebuah logika yang memiliki nilai kesamaran (*fuzziness*) yaitu antara benar dan salah [13]. Jika A: Himpunan Fuzzy, μ_A : Fungsi Keanggotaan dan X: Semesta, maka fungsi keanggotaan dalam suatu himpunan fuzzy dapat dinyatakan dengan [13]

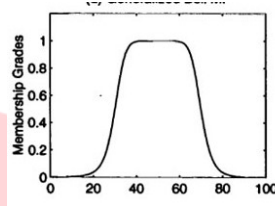
$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (2)$$

Dimana : x = anggota himpunan

μ_A = nilai fungsi keanggotaan

Terdapat beberapa jenis fungsi keanggotaan dalam logika fuzzy diantaranya adalah fungsi linier, segitiga, trapesium, gauss dan *gbell*. Di tugas akhir ini sistem fuzzy menggunakan fungsi keanggotaan *gbell* untuk tiap

variabel input. Fungsi keanggotaan *gbell* digunakan karena memiliki sifat non-linier yang sangat cocok jika digunakan dengan sinyal EEG yang juga bersifat non-linier.



Gambar 2.1. Fungsi Keanggotaan *gbell*

Fuzzy Inference System atau FIS merupakan suatu kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan fuzzy, aturan fuzzy berbentuk IF – THEN, dan penalaran fuzzy. Sistem inferensi yang digunakan untuk tugas akhir ini adalah SUGENO Orde-0. Secara umum bentuk model fuzzy Sugeno Orde-0 adalah sebagai berikut [23] :

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } A_1) \text{ o } (x_2 \text{ is } A_2) \text{ o } \dots \text{ o } (x_N \text{ is } A_N) \text{ THEN } z = k \quad (3)$$

dengan A_i adalah himpunan fuzzy ke- i sebagai anteseden, o adalah operator fuzzy (seperti AND atau OR), dan k adalah suatu konstanta sebagai konsekuen.

2.8. ANFIS

ANFIS adalah penggabungan mekanisme fuzzy inference system yang digambarkan dalam arsitektur jaringan syaraf tiruan. Dimana sistem inferensi fuzzy yang digunakan adalah model sugeno (TSK). ANFIS memungkinkan fungsi keanggotaan dan aturan-aturan dalam fuzzy logic untuk beradaptasi.

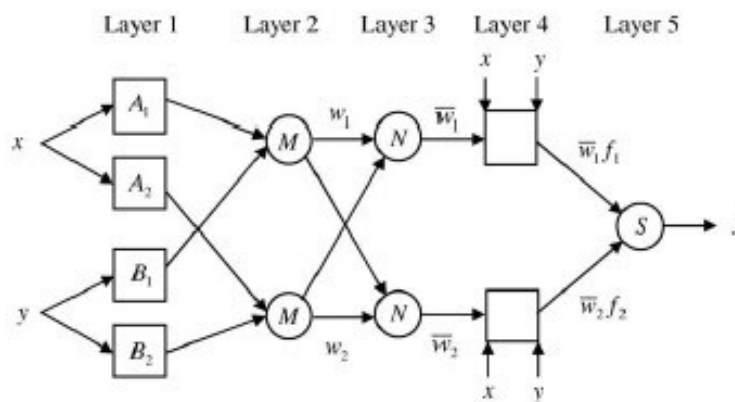
Misalkan ada 2 masukan x dan y dengan satu keluaran f . Ada dua *rule* atau aturan pada basis aturan model Sugeno seperti berikut [23]:

$$\text{If } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ Then } f_1 = p_1x + q_1y + r_1$$

$$\text{If } x \text{ is } B_1 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ Then } f_2 = p_2x + q_2y + r_2$$

Nilai dari p_i , q_i dan r_i ($i = 1,2$) merupakan parameter konsekuen yang ditentukan dengan nilai awal tertentu dan akan berubah dengan algoritma pembelajaran. Jika α predikat untuk aturan ke dua aturan adalah w_1 dan w_2 , maka dapat dihitung nilai akhirnya dengan persamaan:

$$f = \frac{w_1f_1+w_2f_2}{w_1+w_2} = \bar{w}_1f_1 + \bar{w}_2f_2 \quad (4)$$



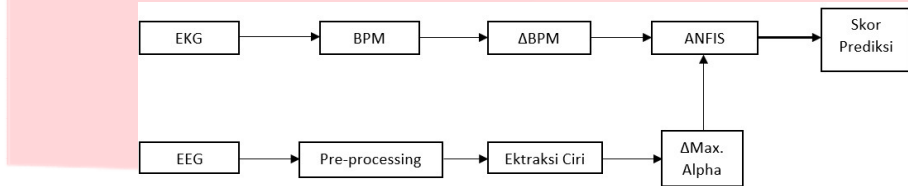
Gambar 2.2. Arsitektur ANFIS

Pada tiap-tiap layer yang ada pada ANFIS, layer 1 dan layer 4 lah yang bersifat adaptif. Algoritma pembelajaran yang digunakan akan mengatur parameter dari input yang berada pada layer 1 dan parameter output yang ada pada layer 4 hingga keluaran dari ANFIS sesuai dengan target data latih.

3. Perancangan Sistem

3.1. Desain Sistem

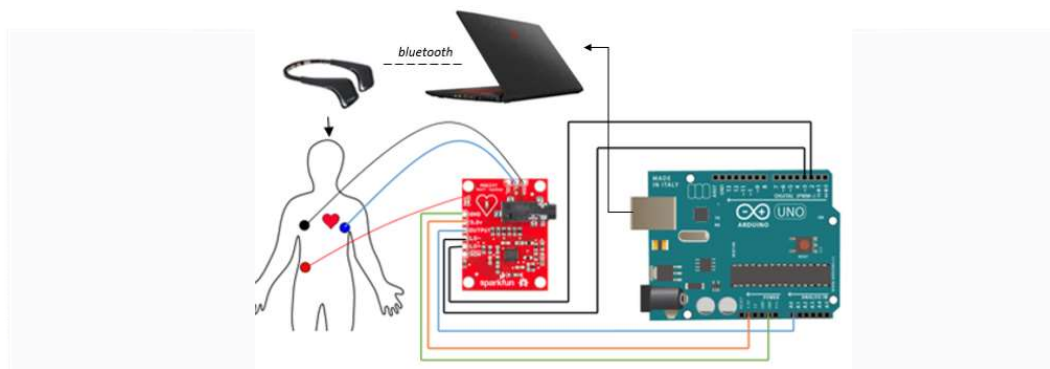
Pada bagian ini akan membahas desain sistem mulai dari metode pengambilan data, pemrosesan data, perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini. Pada penelitian tugas akhir ini, sinyal EEG digunakan sebagai parameter untuk melihat apakah subjek telah memasuki keadaan konsentrasi dengan melihat gelombang *alpha* yang dihasilkan. Sedangkan EKG sendiri berguna untuk melihat apakah terdapat perubahan pada sinyal EKG dan pengaruhnya terhadap seseorang yang berkonsentrasi ataupun tidak dalam keadaan konsentrasi.



Gambar 3.3. Diagram Blok Sistem

Data EKG yang telah didapatkan selanjutnya akan diubah ke BPM. Dan data dari EEG akan di *pre-processing* terlebih dahulu untuk mendapatkan sinyal *alpha* lalu dicari fiturnya, dimana fitur yang digunakan adalah PSD.

3.2. Desain Perangkat Keras



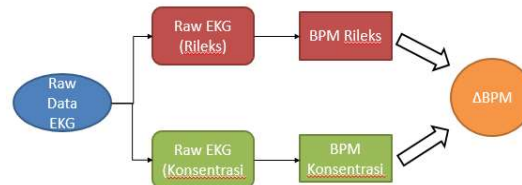
Gambar 3.4. Desain Perangkat Keras

Komponen-komponen dari perangkat keras yang digunakan adalah MUSE *Headband*, Modul EKG AD8232 dan Arduino UNO. Pengambilan data EKG dan EEG dilakukan secara bersamaan. Elektroda yang ditempelkan pada tubuh subjek terhubung dengan modul AD8232 yang diteruskan ke Arduino. Setelah sinyal EKG didapatkan akan diubah ke dalam BPM. Sedangkan untuk MUSE *Headband* yang berfungsi sebagai sensor EEG, terhubung ke PC dengan menggunakan *bluetooth*. Data dari EEG yang terbaca akan diproses menggunakan MATLAB yang akan dibahas pada sub-bab 3.3.

3.3. Desain Perangkat Lunak

3.3.1. Pengolahan Sinyal EKG

Pada sistem pengolahan sinyal EKG ini, pertama-tama sinyal diambil dari subjek dengan menempelkan elektroda yang terhubung dengan modul EKG AD8232 pada kulit subjek. Sinyal EKG tadi akan diteruskan ke arduino dan sinyal EKG tadi kedalam bentuk nilai digital. Nilai digital yang didapatkan ini akan dijadikan array dan diproses di MATLAB untuk mendapatkan BPM.

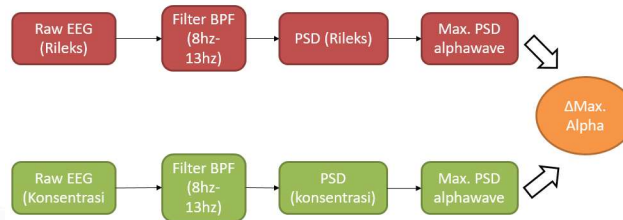


Gambar 3.5. Pengolahan Sinyal EKG

Setelah data BPM didapatkan untuk setiap kondisi, maka akan dicari nilai perubahan dari kondisi rileks ke kondisi berkonsentrasi yang kita sebut dengan Δ BPM. Δ BPM ini akan menjadi data input pada ANFIS.

3.3.2. Pengolahan Sinyal EEG

Sinyal EEG diambil menggunakan *Muse Headband*, dimana untuk perekaman datanya menggunakan aplikasi *MuseLAB*. File dari *MuseLAB* ini akan diubah terlebih dahulu ke file berkeestensi .csv agar dapat melihat data dari sinyal EEG nya. Selanjutnya data mentahnya akan melewati tahap *pre-processing*, di mana data akan difilter menggunakan Band Pass Filter (BPF) untuk mendapatkan range sinyal *alpha* (8hz-13hz).

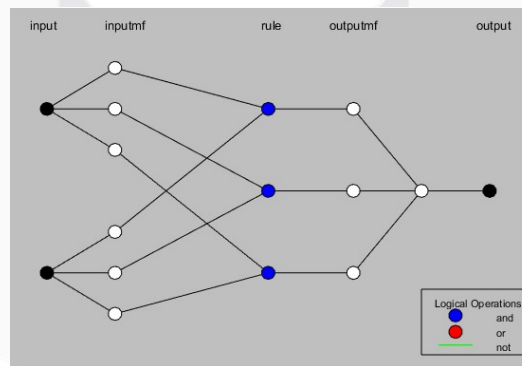


Gambar 3.6. Pengolahan Sinyal EEG

Tahap selanjutnya adalah tahap *feature extraction* atau ekstraksi ciri menggunakan *Power Spectral Density* (PSD). Karena PSD menggunakan domain frekuensi, maka sinyal yang telah difilter tadi diubah terlebih dahulu ke domain frekuensi menggunakan FFT, baru selanjutnya dapat dicari PSDnya. Nilai maksimum dari PSD gelombang *alpha* akan dilihat untuk kedua kondisi. Sama halnya dengan EKG, pada pengolahan sinyal EEG akan dicari perubahan nilai Max. Alpha (Δ Max. Alpha) yang akan dijadikan input pada ANFIS.

3.3.3. ANFIS

Di tugas akhir ini penulis menggunakan ANFIS *toolbox* yang terdapat di MATLAB untuk melakukan pelatihan dan pengujian dengan ANFIS. Fungsi dari ANFIS sendiri adalah untuk mengatur parameter-parameter pada fungsi keanggotaan variabel input dan output sedemikian rupa agar dapat membuat sistem logika fuzzy yang bagus. Sebelum data akan dilatih oleh ANFIS, akan didesain sistem fuzzy terlebih dahulu. Pada tugas akhir ini untuk sistem fuzzy yang didesain memiliki tiga variabel, yaitu dua variabel input (BPM dan Max. Alpha) dan satu variabel output (Level Konsentrasi). Gambar 3-7 memperlihatkan struktur ANFIS yang digunakan.



Gambar 3.7. Struktur Jaringan ANFIS Yang Didesain

3.4 Proses Pengambilan Data

Pada proses pengambilan data, data diambil secara bersamaan dengan dua kondisi yaitu, rileks dan konsentrasi masing-masing berdurasi satu menit. Untuk kondisi konsentrasi, subjek diberikan sebuah tes yang bernama *Concentration Grid*. Hasil dari tes ini akan menjadi target pada data yang akan dilatih. Tes ini terdiri dari 10 baris dan 10 kolom yang berisi angka dari 00-99 secara acak. Dalam mengerjakan tes ini, subjek diharuskan mengurutkan angka sebanyak mungkin mulai dari 00 dalam waktu satu menit. Ada beberapa tingkat konsentrasi dihitung dari banya jumlah angka yang diurutkan dalam satu menit yaitu, Buruk (0-9) urutan, Baik (10-19) dan Sangat Baik (≥ 20) urutan.

4. Hasil Dan Analisis

4.1. Pengambilan Data EKG Dan EEG

Dari beberapa contoh data yang diambil pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa,

Tabel 4.1. Contoh Hasil Pengambilan Data EKG Dan EEG

Subjek Ke-	Data Ke-	BPM		Max. Alpha		Skor Tes
		Rileks	Konsentrasi	Rileks	Konsentrasi	
1	1	67	82	20.25	13.91	6
	2	75	79	26.66	15.82	13
2	1	103	109	143.08	22.98	6
	2	96	107	36.57	31.7	6
3	1	94	101	45.87	31.21	9
	2	94	100	29.52	26.71	18
4	1	85	87	29.24	36.65	9
	2	81	87	58.23	20.58	13
5	1	83	87	92.29	43.89	16
	2	85	86	85.01	39.02	18

pada data EKG terjadi kenaikan nilai detak jantung pada subjek dari kondisi rileks ke kondisi berkonsentrasi. Sedangkan untuk data EEG nilai dari gelombang *alpha* terjadi penurunan saat subjek berada pada kondisi berkonsentrasi [29]. Namun ada beberapa data pada gelombang *alpha* yang menunjukkan pola sebaliknya dimana nilai dari gelombang *alpha* naik.

4.2. Pelatihan Dan Pengujian ANFIS

Untuk pelatihan dan pengujian pada algoritma ANFIS ada tiga variabel yang digunakan yaitu Δ BPM, Δ Max. Alpha sebagai input dan Skor dari tes *Concentration Grid* sebagai target output. Sebelum data dilatih oleh ANFIS, akan didesain sistem fuzzy terlebih dahulu sebagai sistem inferensi fuzzy awal. Lalu setelah itu akan ditentukan metode pembelajaran yang digunakan yaitu *hybrid*. Proses pembelajaran dilakukan sebanyak 1000 iterasi atau *epoch*, setelah maksimum iterasi tercapai proses pembelajaran akan berhenti. Setelah itu baru kita dapat melatih ANFIS dengan data latih yang kita punya.

Tabel 4.2. Hasil Data Latih ANFIS

Data Ke-	INPUT		Target Aktual	Target ANFIS
	Δ BPM	Δ Max. Alpha		
1	15	6.34	6	9.18
2	11	4.87	6	9.62
3	1	0.88	6	13.1
4	7	14.66	9	9.97
5	12	6.69	9	9.47

6	13	16.86	9	11
7	14	6.69	11	9.17
8	4	10.84	13	12.9
9	11	10.56	13	12.3
10	8	19.65	19	17.5
11	18	7.59	10	14.6
12	18	7.64	19	14.9
13	18	15.94	11	13.3
14	16	28.44	18	18.4
15	15	15.8	18	12.3
16	6	4.62	16	11.5
17	11	50.21	12	11.8
18	9	21.96	12	16.6
19	6	37.65	13	13.3
20	4	2.02	13	12
21	3	24.59	15	14.3
22	4	48.4	16	16.6
23	19	10.76	17	18.3
24	6	2.81	18	11.3
25	8	24.82	15	13.2
26	19	34.18	17	16.7
27	16	17.78	22	21.9
28	27	5.24	20	19.8
29	11	20.67	21	19.8
30	17	9.03	22	21.1

Tabel di atas memperlihatkan hasil target atau ouput dari ANFIS yang telah di latih. Bisa kita lihat masih terdapat perbedaan nilai (*error*) antara target aktual dengan target prediksi ANFIS untuk data latih. Namun ada beberapa data yang mempunyai nilai *error* yang kecil seperti pada data ke 8, 17, 27 dan 28. Dari hasil di atas, dengan menggunakan rumus di bawah ini didapatkan akurasi ANFIS untuk dat latih sebesar 80.69%.

$$Akurasi = \left(1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n |T_{Aktual} - T_{ANFIS}|}{n} \right) \right) \times 100\% \quad (5)$$

Selanjutnya setelah kita mendapatkan sistem fuzzy yang telah dilatih dengan ANFIS, kita akan melihat perbedaan dari target aktual data uji dan target prediksi dari fuzzy yang baru. Dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Perbedaan Target Aktual Dan Target ANFIS Data Uji

Data Ke-	INPUT		Target Aktual	Target ANFIS
	ΔBPM	ΔMax. Alpha		
1	5	22.84	8	13.81
2	18	38.32	12	12.2
3	23	21.16	22	31.5
4	16	24.07	17	22.1
5	20	14.9	21	15.1

6	15	32.9	16	13.6
7	19	21.15	21	27.7
8	12	7.74	7	9.7
9	3	29.19	8	13.9
10	2	32.17	14	14.9

Hasil dari Tabel 4.3 terlihat kalau selisih antara target aktual data uji dengan target yang dihasilkan ANFIS memiliki selisih nilai yang besar dibandingkan dengan data latih tadi. Sehingga dengan menggunakan persamaan yang sama yaitu persamaan (5), akurasi dari ANFIS yang telah dilatih terhadap data uji adalah sebesar 65.88%.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis dari Tugas Akhir “Analisis Tingkat Konsentrasi Berpikir Manusia Berdasarkan EEG dan EKG Menggunakan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System“ yang telah dilakukan. Penulis dapat mengambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan melihat rentang nilai pada Δ BPM untuk tiap level konsentrasi yaitu, Rendah (1-15), Sedang (3-19), Tinggi (11-27) dan Δ Max.Alpha Rendah (0.88-16.86), Sedang (2.02-50.2), Tinggi (5.24-20.67) dapat disimpulkan bahwa semakin seseorang mencoba untuk berkonsentrasi, semakin tinggi juga perubahan detak jantung pada orang tersebut.
2. Dari hasil pelatihan ANFIS, sistem fuzzy yang telah dilatih dapat membedakan level konsentrasi manusia dengan akurasi sebesar 80.69% untuk data latih dan 65.88% untuk data uji.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil dari pembuatan tugas akhir ini dan dari hasil pengujian dan analisa, ada beberapa saran yang ingin penulis sampaikan :

1. Untuk dapat mengklasifikasikan tingkat konsentrasi, dibutuhkan jumlah dataset yang banyak, dikarenakan setiap manusia mempunyai sifat fisiologis yang berbeda-beda.
2. Menambahkan fitur-fitur lainnya yang dapat memberikan pola agar memudahkan algoritma dalam pembelajaran.

Daftar Pustaka

- [1] Arif Arianto. (2011, 6 Januari). Enam Penyebab Utama Kecelakaan di Jalan Raya. Diakses 21 Maret 2019. Dari <https://www.gooto.com/read/304141/enam-penyebab-utama-kecelakaan-di-jalan-raya>.
- [2] H. A. Rahim, A. Dalimi, and H. Jaafar, “Detecting drowsy driver using pulse sensor,” *J. Teknol.*, vol. 73, no. 3, pp. 5–8, 2015.
- [3] J. Halomoan, “Analisa Sinyal EKG dengan Metoda HRV (Heart Rate Variability) pada Domain Waktu Aktivitas Berdiri dan Terlentang,” *Semin. Nas. Apl. Teknol. Inf. 2013*, pp. 29–35, 2013.
- [4] Setianingsih, Eka. 2011. “Rancang Bangun Kalibrator Eksternal Elektrokardiograf 3 Leads Berbasis ATmega8535”. *Skripsi*. Sarjana Teknik Universitas Lampung.
- [5] C. T. Lin, N. R. Pal, C. Y. Chuang, T. P. Jung, L. W. Ko, and S. F. Liang, “An EEG-based subject- and session-independent drowsiness detection,” *Proc. Int. Jt. Conf. Neural Networks*, vol. 2008, pp. 3448–3454, 2008.
- [6] Wikipedia. *Elektrokardiogram*. <https://id.wikipedia.org/wiki/Elektrokardiogram>
- [7] R. Carrillo-esper, L. D. Carrillo-córdova, D. M. Carrillo-córdova, and C. A. Carrillo-córdova, “The U wave in the electrocardiogram . More than an academic curiosity,” vol. 22, no. 1, pp. 27–29, 2015.
- [8] Moore, Jason., 2016, Heart Rate Variability vs Heart Rate, [online], (<https://hrvcourse.com/heart-rate-variability-vs-heart-rate/>), diakses tanggal 11 November 2017)

- [9] Texas Heart Institute. *Categories of Arrhythmias*.
<http://www.texasheart.org/HIC/Topics/Cond/arrhycat.cfm>
- [10] <https://www.myithlete.com/what-is-hrv/> diakses tanggal 12 November 2017
- [11] Munir, Rinaldi., "Pengantar Logika Fuzzy". Teknik Informatika. STEI ITB.
- [12] K. H. Lee, First course on fuzzy theory and applications. 2005.
- [13] T. Elektro, F. Teknik, and U. Widyagama, "Bab ii logika fuzzy," pp. 1–26, 2008.
- [14] Sarwono, Cristian. 2007. "Perancangan Program Pengambilan Keputusan Dengan Menggunakan Fuzzy Query Database". *Skripsi*. Teknik Informatika dan Matematika Universitas Bina Nusantara.
- [15] Rizal, Achmad. 2014. "Instrumentasi Biomedis". Graha Ilmu. Yogyakarta
- [16] R. J. Aston. 1991. "Principles of Biomedical Instrumentation and Measurements". MacMillan, New York.
- [17] <http://itsusync.com/different-types-of-brain-waves-delta-theta-alpha-beta-gamma>
- [18] Wikipedia/ electroencephalography
- [19] <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8232.pdf>
- [20] <https://www.it-jurnal.com/pengertian-dan-kelebihan-arduino/>
- [21] <https://www.advernesia.com/blog/matlab/apa-itu-matlab/>
- [22] Fausett, Laurence. 1994. *Fundamentals of Neural Networks (Architectures, Algorithms, and Applications)*. New Jersey: Prentice-Hall.
- [23] Kusumadewi, Sri, dan Sri Hartati. 2010. *NEURO-FUZZY Integrasi Sistem Fuzzy & Jaringan Syaraf*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- [24] <http://www.geocities.ws/gigih67/document/ANFIS.pdf>
- [25] <https://www.psychologymania.com/2013/04/pengertian-konsentras.html>
- [26] Sidik Y. 2011. Hubungan Konsentrasi Dengan Hasil Pukulan Jarak Jauh (Long Stroke) Pada Cabang Olahraga Woodball. *Skripsi*. Tidak Diterbitkan. Fakultas Pendidikan Olahraga Dan Kesehatan. Universitas Pendidikan Indonesia: Bandung.
- [27] http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/370858P-01/genmaths/genmaths/calc_filterfir_iir/ (diakses tanggal 24 November 2019)
- [28] <https://www.cygres.com/OcnPageE/Glosry/SpecE.html> (diakses tanggal 24 November 2019)
- [29] Lim, S., Yeo, M., Yoon, G. (2019). Comparison between Concentration and Immersion Based on EEG Analysis. *Sensors*. 19(7), 1669. doi: 10.3390/s19071669