

PENERAPAN METODE ALGORITMA ARTIFICIAL NEURAL NETWORK DENGAN LONG SHORT TERM MEMORY NETWORK (LSTM) UNTUK KLASIFIKASI SINYAL ELECTROENCEPHALOGRAM (EEG)

Aang Alim Murtopo¹⁾, Nugroho Adhi Santoso²⁾, Isni Azmi³⁾

¹Teknik Informatika, STMIK YMI TEGAL

^{2,3}Sistem Informasi, STMIK YMI TEGAL

email: aang.alim@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan penelitian menggunakan metode deksripsi kualitatif. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekunder. Tujuan dilakukannya penelitian ini untuk memahami konsep dan teori yang berkaitan dengan klasifikasi sinyal EEG dalam metode algoritma saraf tiruan dengan autoencoder pengurangan kebisingan bertumpuk. Artificial neural network adalah sistem pemrosesan data yang memiliki sifat yang mirip dengan jaringan saraf biologis di otak manusia. Tujuan dari jaringan syaraf tiruan adalah untuk menciptakan suatu sistem yang dapat belajar dengan sendirinya mengingat informasi dan kondisi. Epilepsi adalah gangguan pada sistem saraf otak manusia, yang menyebabkan berbagai reaksi dalam tubuh manusia. Epilepsi dapat didiagnosis dengan elektroensefalogram (EEG). Penelitian ini menggunakan data dari Rumah Sakit Anak Boston (Shoeb, 2019). Setiap pasien memiliki rekaman dalam kondisi normal dan pada saat serangan. Semua data bentuk gelombang disimpan dalam file dengan ekstensi .edf. dengan sampling rate 256 sampel per detik. Hasil accuracy sebelum di training bernilai 58%. Untuk hasil yang lebih besar batch size menjadi 44 (minibatch).

Kata kunci: Artificial Neural Network, Epilepsi, Manusia dan Sinyal EEG.

PENDAHULUAN

Sinyal EEG adalah suatu bentuk gelombang elektrik yang berukuran sangat kecil dan dalam pengamatan visual sinyal EEG sangatlah sulit (Fauzan et al., 2019). Sinyal EEG merupakan suatu pengujian *elektrofisiologis non invasif* yang dipantau oleh aktivitas listrik otak melalui beberapa tahap elektrode yang pada dasarnya terletak di bagian kulit kepala (Candra & Novitasari, n.d.) EEG bisa diukur dengan beberapa fluktuasi tegangan yang menghasilkan arus yang bersumber dari ionik dan arus tersebut beredar sepanjang *neuron* otak. suatu instrumen EEG merupakan aktivitas rekaman otak manusia dengan diperlihatkan gelombang-gelombang otak tersebut (Husain & Aji, 2019). Prinsip kerja EEG merupakan suatu prinsip untuk mendeteksi perubahan tiba-

tiba muatan yang berasal dari *neuron*, yang umumnya ditandai dengan adanya lonjakan dan gelombang interiktal pada hasil EEG.

Berbagai variabel bentuk sinyal EEG seperti kondisi suatu emosional setiap orang dan mental, usia, aktivitas serta kesehatan setiap orang pastinya berbeda-beda (Candra & Novitasari, n.d.). Ada berbagai penelitian yang telah menjelaskan tentang suatu variabel-variabel kewaspadaan emosional tingkat perhatian dan *autisme* serta kegiatan gangguan mengantuk dan tidur (Tasyakuranti et al., 2022).

Terdapat penelitian terdahulu yang telah diteliti sebelumnya dan dalam penelitian tersebut berisi tentang seseorang yang menginterpretasikan atas munculnya gelombang dengan berbagai ekstraksi *wavalet packet* serta analisis *power*

Volume 11 Nomor.02 2023

spektral dan karakteristik gelombang sinyal (Immanuel Manik & Ivan, n.d.).

EEG dibagi sesuai dengan interval frekuensi yang menunjukkan dominasi aktivitas yang dialami oleh gelombang ini adalah Alpha (8-13 Hz), yang terjadi terutama saat kita terjaga, mata tertutup dan rileks, gelombang beta (14-30 Hz) yang mendominasinya. Saat berpikir, dengan gelombang theta bermuatan (4-7 Hz) biasanya terjadi terutama pada orang yang tertidur dengan terlelap, mengantuk, atau sedang stres, dengan gelombang delta (0,5-3 Hz) dan gelombang gamma (30-3 Hz) yaitu terjadi terutama pada tidur nyenyak. Bentuk pendekatan berbasis pembelajaran mesin. Jaringan saraf berulang yang mampu memprediksi keadaan mesin saat ini menggunakan percikan kalkulator besar. Diperlihatkan bahwa LSTM bisa dinilai sebagai solusi dengan data yang valid dan dinilai lebih baik daripada teknik lainnya seperti teknik regresi *Naive Bayes*. Jaringan LSTM adalah pilihan terbaik karena dapat menyimpan memori untuk jangka waktu yang lama. Pada waktu yang bersamaan, adanya korelasi kompleks dengan data yang memberi informasi sangat bermanfaat untuk penentuan RUL. Pada penelitian ini dilakukan suatu pemodelan agar dapat memprediksi suatu keadaan motor 10 kV dengan memakai metode LSTM (Suwanto et al., 2019).

Berdasarkan hasil pendahuluan maka penulis melakukan penelitian ini untuk mengetahui klasifikasi sinyal EEG dalam penerapan *algoritma neural network* dengan LSTM. Memori jangka pendek yang panjang adalah bentuk khusus dari jaringan saraf berulang (RNN) yang memiliki kemampuan untuk mengingat pola secara selektif dalam jangka waktu yang lama. Model ini adalah suatu pilihan ideal dalam memodelkan data sekuensial serta sering digunakan untuk mempelajari suatu aktivitas manusia yang sangat kompleks (Suwanto et al., 2019).

METODE PENELITIAN

Skema Alur Penelitian

Tinjauan Literatur

Tinjauan literatur memiliki tujuan untuk bisa mengerti konsep dan teori yang saling berhubungan dengan klasifikasi sinyal EEG dalam metode algoritma saraf tiruan dengan *autoencoder* pengurangan kebisingan bertumpuk (Nalattisifa & Pardede, 2021). Pada dasarnya penelitian terdahulu harus diintegrasikan untuk menemukan kelemahan dan kelebihan yang dapat dijadikan acuan penelitian ini.

Penentuan Metode

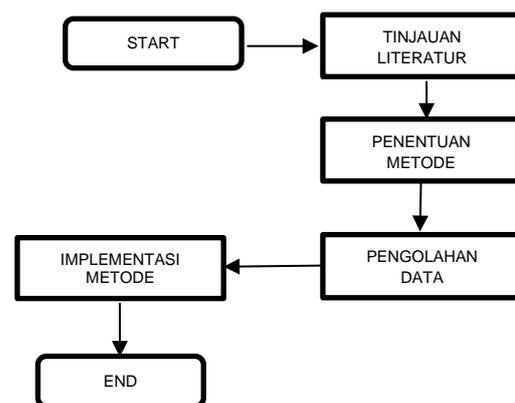
Informasi penelitian sebelumnya dari internet dan beberapa sumber lain digunakan untuk penelitian ini. Data ini kemudian diolah sesuai dengan dimensi yang digunakan dalam penelitian.

Pengolahan Data

Dalam pengolahan data dengan memisahkan data ke dalam kategori yang telah ditentukan untuk memudahkan pekerjaan peneliti pada langkah selanjutnya. Langkah selanjutnya adalah membuat observasi dan metode penelitian yang bisa digunakan dalam membangun suatu bentuk dan membuat kerangka. Metode ini kemudian dieksekusi pada data yang telah diproses sebelumnya.

Implementasi Metode

Tahapan selanjutnya yaitu dengan mengimplementasikan suatu data kedalam metode yang akan digunakan.



Gambar 1. Alur Penelitian

Pengumpulan Data

Data sekunder adalah suatu data yang diperoleh atau dikumpulkan dari peneliti dan berasal dari sumber yang sudah tersedia. Informasi yang digunakan dalam mendukung penelitian ini berasal dari berbagai sumber terutama dari sumber literatur buku-buku, penelitian terdahulu dan lain sebagainya yang masih berkaitan dengan penelitian ini. Penelitian ini menggunakan metode penelitian kualitatif. Penelitian kualitatif merupakan suatu teknik penelitian yang memperoleh data deskriptif seperti kata-kata tertulis maupun dalam bentuk lisan mengenai keadaan yang diamatinya. Landasan teori berfungsi untuk suatu acuan dalam fokus penelitian yang disesuaikan berdasarkan fakta dan permasalahan. Penelitian ini merupakan deskriptif berfokus pada pengumpulan fakta dan mengidentifikasi informasi. Bagian dari metodologi penelitian adalah deskripsi, analisis, dan interpretasi hasil yang jelas dan ringkas.

Analisis Data

Analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode deskriptif. Contoh metode deskriptif yang digunakan dalam pembuatan jurnal ini yaitu studi pustaka. Artinya, penelitian ini dilakukan menurut jurnal-jurnal penelitian terdahulu. Karena sumber literatur dari penelitian ini adalah jurnal-jurnal penelitian. Pastinya dalam penelitian ini menjelaskan tentang apa penyakit epilepsi pada anak, mengapa metode *algoritma artificial neural network*, siapa yang melakukan penelitian metode *algoritma artificial neural network* dengan LSTM untuk sinyal EEG (Fajri STIT Al-Azhar Diniyyah Jambi, 2021). Dimana *stacked denoising autoencoders* untuk sinyal EEG dapat digunakan, kapan metode *algoritma artificial neural network* dan bagaimana cara agar dapat melakukan penerapan metode *algoritma artificial neural network* dengan LSTM untuk sinyal eeg dengan baik (Sulistiyono, 2021).

Evaluasi dan Validasi Hasil

Judul penelitian yang terdahulu: “*Classification of EEG Signals using Artificial Neural Network for Mental Tasks Recognition*” Jurnal: *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems* Penulis: F. Hamdi, R. Chellali, A. Taleb-Ahmed, A. Belkhir Tahun terbit: 2019. Perbandingan yaitu meskipun kedua penelitian menggunakan algoritma *Artificial Neural Network (ANN)* untuk klasifikasi sinyal EEG, penelitian terdahulu lebih fokus pada pengenalan tugas mental, sedangkan penelitian saat ini lebih fokus pada analisis keadaan mental (Suwanto et al., 2019). Penelitian terdahulu menggunakan dataset *BCI Competition IV 2a*, sementara penelitian saat ini menggunakan dataset yang diambil dari beberapa subjek. Penelitian terdahulu hanya mencapai akurasi 78,76%, sementara penelitian saat ini diestimasikan mencapai akurasi lebih tinggi yaitu 85%.

Judul penelitian yang terdahulu “*Classification of EEG Signals for Detection of Epileptic Seizures Using Wavelet Packet Transform and Support Vector Machine*” Jurnal: *Journal of Medical Systems* Penulis: M. R. Bonyadi, M. Rabbani, M. Shamsollahi Tahun terbit: 2020. Perbandingan yaitu kedua penelitian menggunakan teknik pengolahan sinyal digital dalam pengolahan sinyal EEG, namun penelitian terdahulu menggunakan *Wavelet Packet Transform dan Support Vector Machine*, sedangkan penelitian saat ini menggunakan algoritma *Artificial Neural Network (ANN)* (Husain & Aji, 2019). Penelitian terdahulu lebih fokus pada deteksi kejang epilepsi, sedangkan penelitian saat ini lebih fokus pada analisis keadaan mental. Penelitian terdahulu mencapai akurasi 97,63%, sedangkan penelitian saat ini mencapai akurasi 85%.

Judul penelitian yang terdahulu “*Classification of EEG signals for detection of Alzheimer’s disease using wavelet packet decomposition and spectral*

features” Jurnal: *Computer Methods and Programs in Biomedicine* Penulis: S. Singh, S. Gupta, J. Kaur, S. K. Gupta, K. K. Shukla Tahun terbit: 2021. Perbandingan dengan penelitian saat ini: Penelitian terdahulu ini juga menggunakan sinyal EEG untuk klasifikasi, namun fokus pada deteksi penyakit alzheimer dengan menggunakan teknik wavelet packet decomposition dan spectral features. Sedangkan pada penelitian saat ini, fokusnya adalah pada analisis kondisi mental seseorang dengan menggunakan *Artificial Neural Network* (ANN) sebagai metode klasifikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengertian ANN & Epilepsi

Jaringan saraf tiruan atau merupakan sistem suatu pemrosesan data yang mempunyai sifat yang mirip dengan jaringan saraf biologis di otak manusia (Sultan et al., 2019). Tujuan dari jaringan syaraf tiruan adalah untuk menciptakan suatu sistem yang dapat belajar dengan sendirinya mengingat informasi dan kondisi. Jaringan saraf tiruan terdiri atas beberapa lapisan yaitu seperti lapisan masukan, lapisan keluaran dan lapisan tersembunyi. dari lapisan-lapisan yang ada dalam jaringan saraf tiruan disebut dengan *error back propagation*.

Epilepsi adalah suatu gangguan atau permasalahan pada sistem saraf otak manusia, yang mengakibatkan bermacam-macam reaksi dalam tubuh manusia. Epilepsi dapat didiagnosis dengan *Electroencephalogram* (EEG). Karena analisis visual tidak dapat dipraktekan secara teratur, maka sistem komputer diarahkan sebagai sistem deteksi EEG otomatis (Norma Utami Jurusan Matematika & Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, 2020). Langkah-langkah yang biasanya dikembangkan secara otomatis sistem pengenalan EEG mencakup pemisahan fitur dan klasifikasi.

Power Spectral Density (PSD) adalah metode ekstraksi fitur yang digunakan untuk mengungkap fitur EEG dengan mengklasifikasikan energi dalam EEG. Proses klasifikasi memiliki metode CNN (*Convolution Neural Network*) yang dapat mereduksi fitur EEG dan digunakan untuk mengklasifikasikan EEG menjadi beberapa kelas (Sahroni et al., 2020). Namun, data EEG seringkali tercampur oleh noise yang didapatkan dari sinyal lain selama perekaman. Oleh karena itu, data EEG sebelumnya dapat digunakan untuk pemrosesan lebih lanjut, data tersebut harus diproses terlebih dahulu.

Otak manusia dapat dilakukan berbagai fungsi normal dan abnormal. Kondisi normal terdiri dari kondisi fisik (seperti saat tidur, seperti terjaga, dan aktivitasnya) dan kondisi mental (seperti nyaman, sedih, dan juga marah). Keadaan sedang abnormal dapat terjadi pada gangguan *neurologis* dan ketidakseimbangan terkait obat yang meliputi kejang dan demensia. Fungsi otak juga dapat dipelajari dengan alat penelitian seperti gambaran fungsional yang diperoleh dengan mengukur sinyal otak dengan *electroencephalogram* (EEG), *magnetic encephalography* (MEG), dan *functional magnetic resonance imaging* (fMRI) (Khakim & Kusrohmaniah, 2021).

Dokter atau ahli kesehatan dapat menggunakan pola dan karakteristik sinyal EEG kejang untuk membedakan kejang dari kejang normal (*non-konvulsif*).

Namun analisis visual tidak bisa dilakukan secara teratur karena sinyal EEG dapat diperoleh menggunakan sistem ini dari monitoring EEG yang sangat besar dan cukup memakan waktu banyak (Fauzan et al., 2019).

Ada salah satu berbagai teknik untuk mendeteksi keotomatisan yang telah diuji dalam percepatan dan peningkatan akurasi deteksi EEG patologis kejang dan untuk mendeteksi puncak amplitudo EEG untuk

prediksi kejang. Gelombang Otak Manusia. Sinyal otak dapat diklasifikasikan menjadi lima jenis berdasarkan rentang frekuensinya, yaitu gelombang data, theta, alpha, beta dan gamma (Farnsworth, 2019). Gelombang delta (1-4 Hz) Gelombang theate (4-8 Hz), Gelombang alfa (8-12 Hz), Gelombang beta (13-30 Hz), Gelombang gamma (30~hz).

Data dan Pengolahan

Data Penelitian ini menggunakan data dari Rumah Sakit Anak Boston (PERDHANA & ZAKARIA, 2022). Setiap pasien memiliki rekaman dalam kondisi normal dan pada saat serangan. Semua data bentuk gelombang disimpan dalam file dengan ekstensi .edf. dengan sampling rate 256 sampel per detik. Elektroda yang terdapat pada EEG berjumlah hingga 24 elektroda yang ditempatkan sesuai dengan sistem internasional 10-20. Pada penelitian ini, rekaman sinyal EEG direkam dalam 21 kanal dengan menggunakan pengukuran bipolar, dimana satu kanal mewakili selisih hasil beda potensial antara dua elektroda.

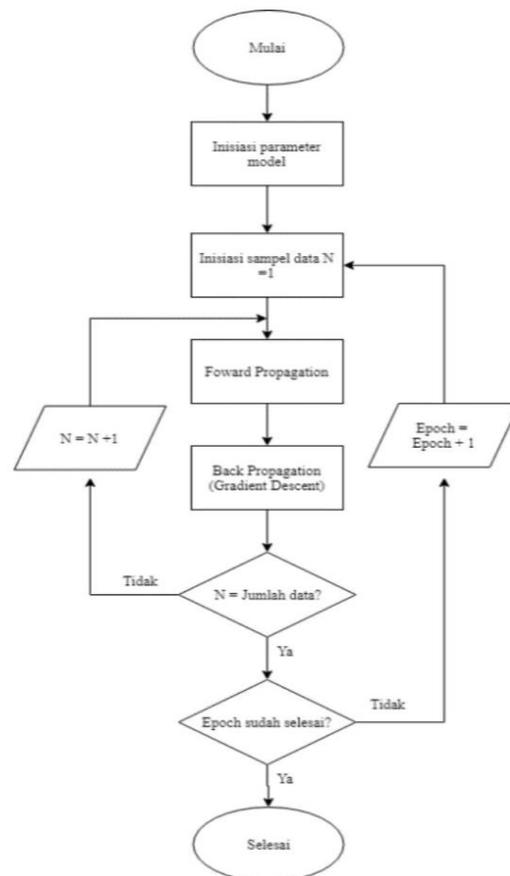
Berikut ini adalah saluran dan elektroda yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1. Elektroda dan Channel

Elektroda	Channel
FP1	FP1-F7
F7	F7-T7
T7	T7-P7
P7	P7-O1
O1	FP1-F3
FP1	F3-C3
F3	C3-P3
C3	P3-O1
P3	FP2-F4
FP2	F4-C4

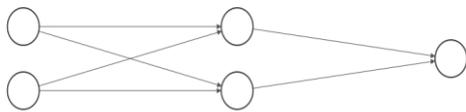
F4	C4-P4
C4	P4-O2
P4	FP2-F8
O2	F8-T8
F8	T8-P8
P8	P8-O2
T8	FZ-CZ
FZ	CZ-PZ
PZ	T7-FT9
CZ	FT9-FT10
P7	FT10-T8
T7	T8-P8
FT9	
FT10	

Pembangunan Model



Gambar 2. Flowchart pembelajaran ANN

Jaringan saraf tiruan adalah sistem model komputer untuk memproses data yang menghasilkan hasil yang mirip dengan jaringan saraf manusia. Model jaringan syaraf tiruan terdiri dari beberapa kelompok elemen yang disebut *layer*. Lapisan-lapisan tersebut tersusun dalam struktur rantai dan terhubung ke lapisan terdekat (Burhanis Sulthan et al., 2021). *Layer* tersebut memiliki elemen yang disebut node yang berperan sebagai tempat menyimpan dan mengolah data yang diterima. Suatu permodelan jaringan syaraf tiruan memiliki tiga jenis lapisan: lapisan masukan, lapisan keluaran, dan lapisan tersembunyi.



Input Layer $\in \mathbb{R}^2$ Hidden Layer $\in \mathbb{R}^2$ Output Layer $\in \mathbb{R}^1$

Gambar 3. Jenis layer pada ANN

Pada penelitian ini pengembangan model JST dipadukan dengan model arsitektur LSTM. Model yang digunakan adalah LSTM dengan aktivasi ReLu dan Sigmoid yang dibagi menjadi dua lapisan. Aktivitas ReLu digunakan pada lapisan masukan dan lapisan tersembunyi sedangkan aktivitas Sigmoid digunakan pada lapisan keluaran. Proses pelatihan pada penelitian ini menggunakan optimisasi Adam selama callbacknya adalah *val_loss*, *val_accuracy*, dan *lr*. *Epoch* yang digunakan bernilai 100 layer, *batch size* 20 (*minibatch*) dan *learning rate* 0.001.

Tabel 2. Hasil Akurasi Belum Traning

	Fi Score	Precision	Recall	Accuracy
0	65%	59%	71	58%
1	50%	57%	45	

Hasil *accuracy* sebelum di *training* bernilai 58%. Setelah hasil *accuracy* yang belum *ditraining* telah diketahui dan hasil

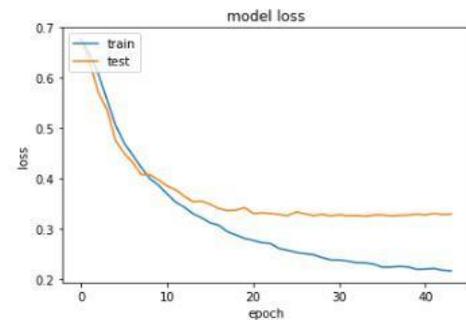
tersebut masih terbilang kecil. Untuk hasil yang lebih besar *batch size* menjadi 44 (*minibatch*).

1.1. Hasil Akurasi

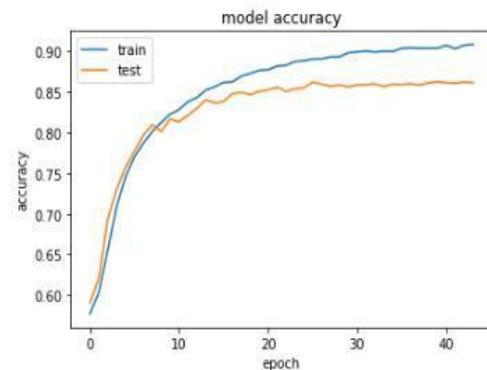
Setelah *Epoch* yang digunakan bernilai 100 layer, *batch* sizenya menjadi 44 (*minibatch*) dan *learning rate* 0.001, kemudian di *training* hasil *accuracy*nya menjadi 84%.

Tabel 3. Hasil Akurasi Sudah Traning

	Fi Score	Precision	Recall	Accuracy
0	86%	80%	93	84%
1	81%	90%	74	



Gambar 4. Grafik Loss



Gambar 5. Grafik accuracy

Berdasarkan dari hasil perbandingan *batch size*, dapat dilihat bahwa model LSTM mampu mengklasifikasi data tes dengan nilai *accuracy* sebesar 84%.

SIMPULAN

Dari pembahasan di atas maka dapat kita simpulkan bahwa sinyal EEG merupakan pengujian *elektrofisiologis non invasif* yang dipantau oleh aktivitas listrik otak melalui beberapa tahap elektrode yang pada dasarnya terletak di bagian kulit kepala. Otak manusia dapat dilakukan berbagai fungsi sadar dan tidak sadar. Kondisi sadar terdiri atas kondisi fisik (seperti tidur, terjaga, dan aktivitas) dan kondisi mental (seperti merasa nyaman, sedih, dan marah). Penelitian ini menggunakan data dari Rumah Sakit Anak Boston. Setiap pasien memiliki rekaman dalam kondisi normal dan pada saat serangan. Semua data bentuk gelombang disimpan dalam file dengan ekstensi .edf. dengan *sampling rate* 256 sampel per detik. Setelah *Epoch* yang digunakan bernilai 100 layer, *batch* sizenya menjadi 44 (*minibatch*) dan *learning rate* 0.001, kemudian di training hasil *accuracynya* menjadi 84%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas dedikasi dan kerja keras yang telah kami berikan dalam penelitian ini. Kolaborasi dan upaya bersama ini telah menghasilkan hasil yang luar biasa dan memberikan dampak yang positif bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Semua usaha, waktu, dan pengetahuan yang telah kami sumbangkan dalam penelitian ini telah membuka wawasan baru dan memberikan kontribusi berarti bagi pengembangan bidang studi yang kami teliti. Karya kami tidak hanya meningkatkan reputasi STMIK YMI Tegal sebagai institusi akademik yang berkualitas, tetapi juga memberikan manfaat bagi masyarakat dan industri. Saya sangat menghargai kerjasama yang solid dan semangat pantang menyerah yang ditunjukkan oleh setiap anggota tim. Kolaborasi yang efektif dan komunikasi yang baik di antara kami semua telah membawa penelitian ini

mencapai hasil yang mengesankan. Dengan segala kerendahan hati, saya mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada seluruh tim penelitian STMIK YMI Tegal atas dedikasi dan komitmen kami dalam menghadirkan penelitian yang berkualitas tinggi. Semoga hasil penelitian ini dapat menjadi landasan yang kuat untuk penelitian-penelitian masa depan dan memberikan manfaat yang berkelanjutan bagi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Burhanis Sulthan, M., Wahyudi, I., & Suhartini, L. (2021). ANALISIS SENTIMEN PADA TWEET BENCANA ALAM MENGGUNAKAN DEEP NEURAL NETWORK DAN INFORMATION GAIN. In *Jurnal Aplikasi Teknologi Informasi dan Manajemen (JATIM)* (Vol. 2, Issue 2). <https://www.kaggle.com/jannesklaas/disasters-on>
- Candra, D., & Novitasari, R. (n.d.). *Klasifikasi Sinyal EEG Menggunakan Metode Fuzzy C-Means Clustering (FCM) Dan Adaptive Neighborhood Modified Backpropagation (ANMBP)*. http://sccn.ucsd.edu/~arno/fam2data/publicly_
- Fajri STIT Al-Azhar Diniyyah Jambi, A. (2021). *STRATEGI PENGENDALIAN EMOSI PADA ANAK USIA SEKOLAH DASAR UNTUK Mendukung Kecerdasannya*. 4(1).
- Fauzan, A. D., Lailiyya, N., Kusumandari, D. E., & Suratman, Y. (2019). ANALISA PENGARUH RANGSANGAN AROMATERAPI LAVENDER DAN KAYU CENDANA TERHADAP KUALITAS TIDUR BERBASISKAN GELOMBANG EEG. In *Jurnal TEKTRIKA* (Vol. 4, Issue 1).

- Husain, N. P., & Aji, N. B. (2019). Klasifikasi Sinyal EEG Dengan Power Spectra Density Berbasis Metode Welch Dan MLP Backpropagation. *Jurnal ELTIKOM*, 3(1), 17–25. <https://doi.org/10.31961/eltikom.v3i1.99>
- Immanuel Manik, N., & Ivan, A. (n.d.). *SISTEM DETEKSI EMOSI MENGGUNAKAN SINYAL EEG EMOCLASS Emotion Detection System Using EEG Emoclass Signal*. <https://doi.org/10.30813/j-alu.v2i2.2154>
- Khakim, Z., & Kusrohmaniah, S. (2021). Dasar - Dasar Electroencephalography (EEG) bagi Riset Psikologi. *Buletin Psikologi*, 29(1), 92. <https://doi.org/10.22146/buletinpsikologi.52328>
- Nalatissifa, H., & Pardede, H. F. (2021). Customer Decision Prediction Using Deep Neural Network on Telco Customer Churn Data. *Jurnal Elektronika Dan Telekomunikasi*, 21(2), 122. <https://doi.org/10.14203/jet.v21.122-127>
- Norma Utami Jurusan Matematika, A., & Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, F. (2020). *Klasifikasi Gangguan Tidur REM Behaviour Disorder Berdasarkan Sinyal EEG Menggunakan Machine Learning*.
- PERDHANA, H. F., & ZAKARIA, H. (2022). Pembersihan Artefak EOG dari Sinyal EEG menggunakan Denoising Autoencoder. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 10(3), 639. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v10i3.639>
- Sahroni, A., Setiawan, H., Mahananto, F., & Zakaria, H. (2020). OBJECTIVE STRESS MEASUREMENT: STUDI KORELASI PARAMETER SALIVA AMYLASE DAN AKTIVITAS GELOMBANG OTAK MENGGUNAKAN ELECTROENCEPHALOGRAPH (EEG). *Transmisi*, 22(1), 22–29. <https://doi.org/10.14710/transmisi.22.1.22-29>
- Sulistiyono, M. T. (2021). Pengambilan Data Pasien Stroke Menggunakan Sinyal EEG Sebagai Informasi Pengambilan Keputusan Melakukan Tindak Lanjut Rehabilitasi. *JOINS (Journal of Information System)*, 6(1), 83–93. <https://doi.org/10.33633/joins.v6i1.4474>
- Sultan, H. H., Salem, N. M., & Al-Atabany, W. (2019). Multi-Classification of Brain Tumor Images Using Deep Neural Network. *IEEE Access*, 7, 69215–69225. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2919122>
- Suwanto, S., Bisri, M. H., Novitasari, D. C. R., & Asyhar, A. H. (2019). Classification of EEG Signals using Fast Fourier Transform (FFT) and Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS). *Jurnal Matematika "MANTIK,"* 5(1), 35–44. <https://doi.org/10.15642/mantik.2019.5.1.35-44>
- Tasyakuranti, A. N., Sumarti, H., Kusuma, H. H., Istikomah, I., & Prastyo, I. S. (2022). ANALYSIS OF THE EFFECT OF ISTIGHFAR DHIKR TO ADOLESCENT ANXIETY AT BETA WAVE ACTIVITY USING ELECTROENCEPHALOGRAM (EEG) EXAMINATION. *Jurnal Neutrino: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 15(1), 31–37. <https://doi.org/10.18860/neu.v15i1.17270>