

Analisis Data Eksplorasi Klasifikasi Aktivitas Otak yang Berbahaya

Salma Syawalan Putriadhinia¹, Syelvie Ira Ratna Mulia², Iwan Awaludin³,
Muhammad Rizqi Sholahuddin⁴, Nurjannah Syakrani⁵, Hashri Hayati⁶

^{1,2,3,4,5,6}Jurusan Teknik Komputer dan Informatika, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012

¹E-mail : salma.syawalan.tif420@polban.ac.id

²E-mail : syelvie.ira.tif420@polban.ac.id

³E-mail : awaludin@polban.ac.id

⁴E-mail : muhammad.rizqi@polban.ac.id

⁵E-mail : nurjannahsy@polban.ac.id

⁶E-mail : hashri.hayati@polban.ac.id

ABSTRAK

Elektroensefalografi (EEG) merupakan alat yang vital dalam rekaman dan analisis aktivitas listrik otak, sering digunakan dalam penelitian dan perawatan medis. Peletakan elektroda EEG mengikuti sistem internasional 10-20, dengan huruf dan angka tertentu untuk menandakan lokasi spesifik di otak. Kualitas pengukuran EEG sangat penting, dengan upaya mengeliminasi *artifact* yang bisa berasal dari sumber biologis maupun nonbiologis. Monitoring EEG di ICU telah meningkat, terutama untuk mendeteksi pola IIC yang berbahaya. Pola tersebut sulit dibedakan dari kejang biasa dan dapat menyebabkan kerusakan otak. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis terhadap *dataset* EEG yang memiliki pola IIC sehingga harapannya dapat berguna untuk peneliti yang hendak menggunakan data tersebut. Penelitian ini menggunakan *dataset* dari platform Kaggle, tepatnya HMS – *Harmful Brain Activity Classification*. *Dataset* tersebut memiliki data mentah EEG dan spektrogram yang sudah dianotasi oleh ahli. Analisis data menunjukkan bahwa *dataset* tersebut memiliki keseimbangan jumlah data yang dianotasi untuk masing-masing kategori IIC. Dalam *dataset* tersebut, terdapat data rekaman EEG dan data spektrogram yang memiliki nilai kosong (*null value*) sehingga perlu dilakukan penanganan terlebih dahulu sebelum diolah lebih lanjut.

Kata Kunci

Data, Elektroensefalografi, Spektrogram, IIC;

ABSTRACT

Electroencephalography (EEG) is a vital tool for recording and analysing the brain's electrical activity, and is widely used in medical research and treatment. The placement of EEG electrodes follows the international 10-20 system, with specific letters and numbers indicating specific locations in the brain. The quality of EEG measurements is very important, and efforts are made to eliminate artefacts that can come from biological and non-biological sources. EEG monitoring in intensive care has been improved, particularly to detect the dangerous IIC pattern. This pattern is difficult to distinguish from normal seizures and can cause brain damage. This study aims to analyse EEG datasets with IIC patterns so that they can be useful to researchers who want to use the data. This research uses datasets from the Kaggle platform, specifically HMS - Harmful Brain Activity Classification. The dataset contains raw EEG data and spectrograms that have been annotated by experts. Data analysis shows that the dataset has a balanced amount of annotated data for each IIC category. In the dataset there are EEG recording data and spectrogram data with null values, which need to be treated before further processing.

Keywords

Data, Electroencephalography, Spectrogram, IIC;

1. PENDAHULUAN

Dokter menggunakan banyak alat untuk menentukan perawatan bagi pasiennya. Salah satu alat yang digunakan dokter untuk merawat pasien adalah *Electroencephalogram* atau yang biasa disingkat menjadi EEG. Alat ini merupakan alat yang digunakan untuk merekam dan menghitung potensial elektrik dari otak. Alat ini terdiri atas elektroda-elektroda, jel konduktif, *amplifiers*, konverter dari analog ke digital. Elektroda digunakan untuk menghantarkan aktivitas listrik dari otak.

Teknologi EEG bukanlah penemuan baru. EEG telah ada sejak tahun 1903 (1). Saat itu peneliti bernama Willem Einthoven menemukan cara untuk mengukur aktivitas listrik di jantung. Kemudian pengukuran tersebut dikembangkan untuk aktivitas listrik di otak.

Pengukuran aktivitas listrik di otak dilakukan dengan menggunakan elektroda yang diletakkan di beberapa posisi yang telah ditetapkan. Terdapat beberapa standar untuk posisi peletakan elektroda ini, namun umumnya peletakan elektroda EEG yang digunakan adalah peletakan berdasarkan sistem internasional 10-20 (2). Elektroda-elektroda tersebut diberi label dengan huruf yang mengindikasikan bagian dari lobus otak. Huruf-huruf tersebut diantaranya adalah 'F' untuk lobus frontal, 'T' untuk *temporal*, 'C' untuk *central*, 'P' untuk *parietal*, dan 'O' untuk *Occipital* (3). Wilayah garis tengah otak diberi label huruf 'z'. Angka ganjil digunakan untuk menandakan otak bagian kiri dan angka genap digunakan untuk menandakan otak bagian kanan. Terdapat pola penempatan elektroda pada kepala yang disebut montase untuk merekam aktivitas otak. Ada berbagai jenis montase yang sering digunakan, diantaranya montase referensial dan montase bipolar. Montase referensial adalah pola penempatan elektroda di mana setiap elektroda

Periodic Discharges (LPD), *Generalized Periodic Discharges* (GPD), *Lateralized Rhythmic Delta Activity* (LRDA), dan *Generalized Rhythmic Delta Activity* (GDRA).

Saat ini, penelitian yang membahas mengenai IIC biasanya menggunakan sumber data yang tidak dapat diakses oleh umum. Contoh penelitian mengenai IIC yang tidak menyediakan akses data diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh Jing *et al.* (8) dan Barnett *et al.* (7). Salah satu

aktif dibandingkan dengan satu elektroda referensi umum, sedangkan montase bipolar membandingkan aktivitas listrik antara dua elektroda yang berdekatan untuk mendeteksi perbedaan potensial di antara mereka (4).

Kualitas pengukuran dari EEG merupakan hal yang krusial untuk melakukan analisis frekuensi EEG. Untuk mendapatkan sinyal EEG yang betul-betul mencerminkan aktivitas otak, peneliti harus menghilangkan sinyal yang terekam karena hal selain aktivitas otak. Sinyal tersebut disebut *artifact*. *Artifact* bisa jadi biologis (contohnya pergerakan otot dan pergerakan mata) dan nonbiologis (contohnya *noise* elektrik). *Artifact* bisa dihilangkan dengan berbagai langkah pencegahan. *Artifact* yang tidak bisa dicegah harus dihilangkan dari data rekaman EEG (5). Oleh karena itu, besar kemungkinan suatu data rekaman EEG untuk memiliki data kosong.

Monitoring dengan menggunakan EEG di Unit Perawatan Intensif (*Intensive Care Units* (ICUs)) meningkat drastis selama 20 tahun kebelakang bersamaan dengan penemuan bahwa banyak pasien ICU kemungkinan mengalami kejang subklinis yang berbahaya dan kejadian listrik mirip kejang yang biasa disebut dengan pola *ictal-interictal injury continuum* (IIC) yang hanya bisa dideteksi oleh EEG (6). Aktivitas gelombang otak yang terletak di sepanjang spektrum pola IIC dapat menyebabkan kerusakan otak dan sulit dibedakan dari kejang biasa jika hanya dilihat dari EEG. Pola tersebut memiliki sedikit kemiripan dengan kejang biasa dan sering dianggap tidak berbahaya (7). Kejang dan *status epilepticus* dapat ditemukan pada 20% pasien dengan penyakit medis dan neurologis parah yang dimonitor menggunakan EEG dan setiap kejang yang terdeteksi pada EEG meningkatkan resiko disabilitas permanen atau bahkan kematian (7). Kategori-kategori pada pola IIC sendiri terdiri atas kejang atau *Seizure* (SZ), *Lateralized*

contoh penelitian mengenai IIC yang menggunakan data yang dapat diakses secara publik adalah penelitian yang dilakukan oleh Mahapatra, A.G. dan Horio, K. (9). Penelitian tersebut menggunakan Bonn *dataset* yang dapat diakses secara publik. Data tersebut terdiri atas 4 set yang masing-masing set nya terdiri atas 100 *file *.txt* yang berisi 4096 sample rekaman EEG dalam kode ASCII. Namun untuk kasus IIC, data tersebut kurang representatif karena belum

memiliki label yang mendetail dan jumlah data yang relatif tidak terlalu banyak.

Pada awal tahun 2024, Harvard *Medical School* mengadakan perlombaan “HMS – *Harmful Brain Activity Classification*” (10). Tujuan dari perlombaan tersebut adalah untuk dapat mendeteksi dan mengklasifikasikan pola IIC yang terdapat pada rekaman sinyal otak. Pada perlombaan tersebut, disediakan *dataset* yang cukup masif yang dapat diakses oleh publik. Ahli neurologis yang berkontribusi dalam melakukan labeling data adalah 47 ahli neurologis yang berasal dari *Critical Care EEG Monitoring Research Consortium* (CCEMRC).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Pengumpulan Data

Dataset EEG yang digunakan pada penelitian ini berasal dari platform Kaggle. Data tersebut merupakan data yang terdapat pada perlombaan HMS – *Harmful Brain Activity*. Pengolahan data dapat dilakukan langsung tanpa perlu mengunduh data terlebih dahulu jika menggunakan Kaggle. Namun, jika ingin menggunakan *code editor* lokal seperti Visual Studio Code atau Jupyter Notebook, data harus diunduh terlebih dahulu. Untuk menggunakan data dalam *code editor* di Kaggle, pengguna hanya perlu mengklik “Add Input” pada halaman notebook dan mencari *dataset* dengan kata kunci “HMS *Harmful Brain Activity*.” Setelah data ditambahkan sebagai *input notebook*, data tersebut sudah bisa digunakan untuk diproses lebih lanjut.

2.2 Pra pemrosesan

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, data yang digunakan pada penelitian ini adalah data yang berasal dari perlombaan HMS – *Harmful Brain Activity*. *Dataset* tersebut terdiri atas beberapa *file* dan *folder*, termasuk *example_figures* yang merupakan contoh visualisasi data eeg dan data spektogramnya, *folder test_eegs* yang menyimpan data tes eeg, *folder test_spectrogram* yang menyimpan data tes spektogram, *folder train_eegs*, *folder train_spectrograms*, *file sample_submission.csv* untuk menjadi salah satu contoh luaran program yang akan *disubmit*, *file test.csv* untuk menjadi salah satu contoh id yang akan diujikan dan *file train.csv*.

Dalam pembahasan ini, data yang akan dianalisis adalah *file train.csv*, *folder train_eegs*, dan *folder train_spectrograms*. *File train.csv* merupakan *file* yang berisi metadata dari data-data rekaman EEG. Di dalam *folder train_eegs* terdapat *file-file* data mentah rekaman EEG yang berekstensi *.parquet. Sementara itu, di dalam *folder train_spectrogram* terdapat *file-file* yang berekstensi *.parquet yang merupakan data spektogram dari suatu perekaman EEG.

2.3 Analisis Data

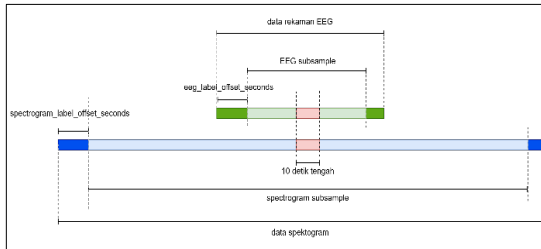
Untuk dapat mengetahui makna data, dilakukan analisis data yang salah satunya adalah dengan melakukan visualisasi data. Proses melakukan analisis data dapat digunakan dengan menggunakan Microsoft Excel. Dalam penggunaan Excel, perlu mendefinisikan data apa yang perlu dianalisis dan menggunakan beberapa rumus dasar untuk mengambil kesimpulan atas analisis data tersebut. Untuk dapat melihat atribut data EEG dan spektogram dengan jelas dan mudah, terdapat aplikasi web yang dapat digunakan, yaitu Gigasheet. Gigasheet merupakan *website* yang bisa membuka *file* yang berekstensi *.parquet dan dapat digunakan secara gratis. Untuk dapat membuka *file-file* parquet, data harus diunduh terlebih dahulu ke lokal dan diunggah ke dalam Gigasheet. Selain itu, dilakukan pula analisis data dengan menggunakan Kaggle notebook, salah satunya untuk mengetahui berapa banyak data rekaman EEG yang memiliki *null value*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dataset HMS *Harmful Brain Activity* merupakan data yang memiliki ukuran sebesar 26,4 GB. Di dalam *folder train_eegs*, terdapat 17.300 data parquet yang merupakan data rekaman EEG yang disimpan ke dalam file berekstensi *.parquet. Di dalam *folder train_spectrogram*, terdapat 11.408 data spektogram yang disimpan ke dalam *file* yang berekstensi *.parquet.

File train.csv merupakan metadata dari data perekaman sinyal otak yang sudah diberi label oleh para anotator ahli. Data yang tersedia di setiap barisnya merupakan data sampel EEG yang berdurasi 50 detik dan data spektogram terkait yang berdurasi 10 menit dan data-data tersebut sudah ditinjau oleh anotator ahli. Data tersebut juga mencakup label yang diberi pada 10 detik tengah dari data EEG dan spektogram. Data EEG

dan spektrogram yang dirujuk pada setiap barisnya memiliki waktu tengah yang sama sehingga 10 detik tengah dari data EEG dan spektrogram yang dimaksud berada pada waktu yang sama.



Gambar 1 Korelasi antara data EEG dengan spektrogram

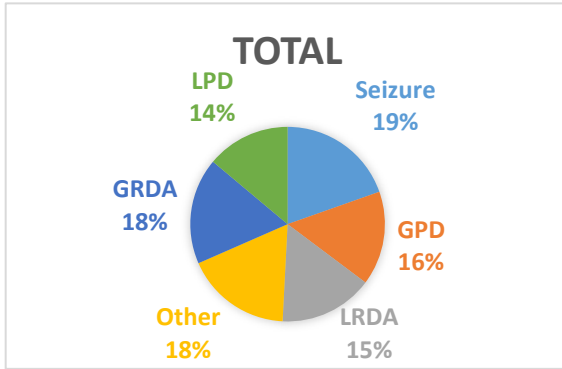
File train.csv ini memiliki total baris sebanyak 106800 baris. Data tersebut memiliki beberapa atribut yang diantaranya adalah eeg_id, eeg_sub_id, eeg_label_offset_seconds, spectrogram_id, spectrogram_sub_id, spectrogram_label_offset_seconds, label_id, patient_id, expert_consensus, seizure_vote, lpd_vote, gpd_vote, lrda_vote, grda_vote, dan other_vote.

Tabel 1 Deskripsi atribut data pada train.csv

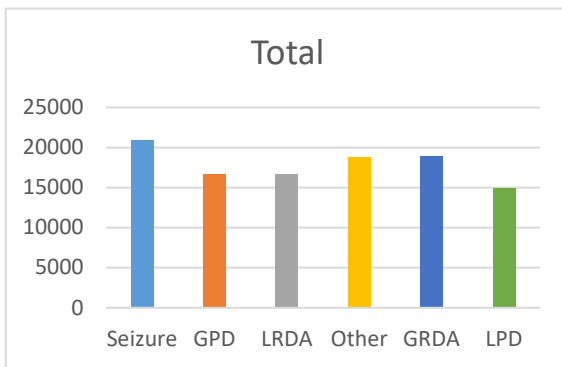
Metadata	Deskripsi
eeg_id	Data unique identifier dari suatu perekaman EEG
eeg_sub_id	Data ID dari subsample yang berdurasi 50 detik yang berasal dari data EEG yang dirujuk oleh kolom eeg_id
eeg_label_offset_seconds	Data waktu dalam detik yang menunjukkan selisih waktu antara awal dari keseluruhan rekaman EEG yang dirujuk pada kolom eeg_id dan permulaan dari subsample eeg terkait
spectrogram_id	Data unique identifier dari data spektrogram
spectrogram_sub_id	Data ID dari subsample yang berdurasi 10 menit yang berasal dari data spektrogram yang dirujuk oleh kolom spectrogram_id

spectrogram_label_offset_seconds	Data waktu dalam detik yang menunjukkan selisih waktu antara awal dari keseluruhan data spektrogram yang dirujuk pada kolom spectrogram_id dan permulaan dari subsample spektrogram terkait
label_id	Data ID yang menjadi penanda bagian dari rekaman sinyal otak yang sudah diberi label
patient_id	Data ID dari pasien yang mendonasikan data
expert_consensus	Persetujuan akhir para anotator ahli mengenai jenis sinyal otak yang diamati
seizure_vote	Jumlah anotator ahli yang menyatakan bahwa sinyal otak yang diamati adalah kejang (<i>seizure</i>)
lpd_vote	Jumlah anotator ahli yang menyatakan bahwa sinyal otak yang diamati adalah LPD
gpd_vote	Jumlah anotator ahli yang menyatakan bahwa sinyal otak yang diamati adalah GPD
lrda_vote	Jumlah anotator ahli yang menyatakan bahwa sinyal otak yang diamati adalah LRDA
grda_vote	Jumlah anotator ahli yang menyatakan bahwa sinyal otak yang diamati adalah GRDA
other_vote	Jumlah anotator ahli yang menyatakan bahwa sinyal otak yang diamati adalah bukan dari kategori yang sudah disebutkan sebelumnya

Dari data train.csv, dilakukan analisis mengenai total data per kategori, total durasi data EEG, total durasi data spektrogram, dan total jumlah banyaknya *vote* dan *vote* yang diberikan oleh para anotator ahli untuk masing-masing kategori.



Gambar 2 Persentase jumlah *vote* dari masing-masing kategori

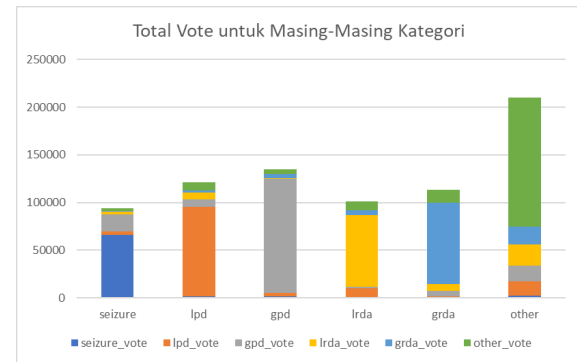


Gambar 3 Grafik batang dari total banyak data dari masing-masing kategori

Dari visualisasi pada Gambar 2 dan Gambar 3 , dapat dilihat bahwa jumlah data dari masing-masing kategori cukup seimbang dengan jumlah data seizure sebanyak 20933 data (19%), GPD sebanyak 16702 data (16%), LRDA sebanyak 16640 data (15%), “other” sebanyak 18808 data (18%), GRDA sebanyak 18861 data (18%), dan LPD sebanyak 14856 data (14%).

Untuk mengetahui total durasi dari data EEG, dilakukan proses penjumlahan seluruh nilai *offset* dari *subsample* terakhir dari masing-masing EEG yang sudah ditambah 50 detik. Untuk mengetahui total durasi dari data spektrogram, dilakukan proses penjumlahan seluruh nilai *offset* dari *subsample* terakhir dari masing-masing data spektrogram yang sudah ditambah 600 detik. Dari hasil perhitungan ini dapat diketahui bahwa total durasi data EEG adalah 1369008 detik atau 380,28

jam dan total durasi data spektrogram adalah 8559001 detik atau 2377,5 jam.

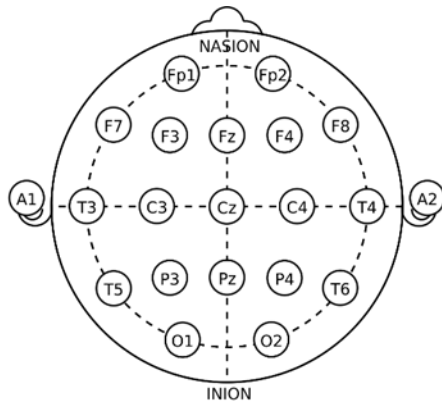


Gambar 4 Total data masing-masing kategori dan *vote* yang diberi untuk masing-masing kategori

Dari grafik batang pada Gambar 4 , dapat dilihat bahwa untuk masing-masing kategori sinyal otak masih banyak anotator ahli yang salah dalam mendiagnosa. Dari total 774887 pengambilan *vote*, hanya 574926 *vote* atau 74% *vote* yang sesuai dengan kategorinya. Hal ini menunjukkan bahwa melakukan diagnosa sinyal otak berdasarkan kelompok IIC merupakan hal yang cukup sulit dilakukan bahkan untuk ahli sekalipun.

Selain analisis di atas, dilakukan juga pemeriksaan *null value* atau nilai kosong dari data train.csv. Berdasarkan hasil pemeriksaan, data train.csv tidak memiliki nilai kosong sehingga tidak perlu dilakukan data *cleansing* untuk menangani nilai kosong.

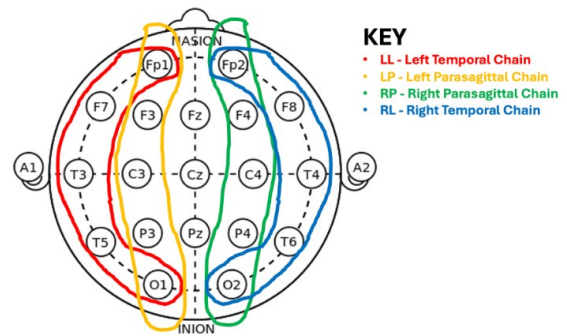
Masing-masing data rekaman EEG yang berada di dalam *folder* train_spectrograms diambil pada frekuensi 200 sampel per detik. Data-data tersebut memiliki 10.000 baris data atau lebih. Setiap barisnya merupakan data perekaman sinyal otak untuk setiap 1/200 detik. Data rekaman EEG ini memiliki atribut data yang merupakan representasi dari data sinyal yang direkam oleh masing-masing elektroda EEG yang menggunakan sistem 10-20 pada Gambar 5 dan mengecualikan elektroda A1 dan A2 yang merupakan elektroda yang diletakkan di daerah telinga. Selain atribut data yang merepresentasikan elektroda EEG, terdapat 1 atribut data tambahan bernama EKG yang merupakan representasi rekaman data dari jantung. Data yang ditangkap dari masing-masing elektroda merupakan data dalam satuan *microvolts* (μV).



Gambar 5 Pemetaan elektroda di kepala pasien dengan sistem 10-20 (11).

Selain melakukan analisis data, dilakukan juga analisis untuk mengetahui berapa banyak data rekaman EEG yang memiliki *null value*. Setelah dianalisis, diketahui bahwa terdapat 824 data parquet rekaman EEG yang memiliki *null value*.

Masing-masing data yang terdapat pada *folder train_spectrogram* merupakan hasil spektrogram dari data EEG yang berdurasi 10 menit. Data spektrogram ini terdiri atas nama kolom yang menandakan frekuensi dalam *hertz* dan daerah elektroda EEG. Seperti pada Gambar 6, daerah-daerah elektroda EEG tersebut diantaranya adalah LL (*Left Lateral*), RL (*Right Lateral*), LP (*Left Parasagittal*), dan RP (*Right Parasagittal*). Daerah LL terdiri atas elektroda Fp1, F7, T3, T5, dan O1. Daerah LP terdiri atas elektroda Fp1, F3, C3, P3, dan O1. Daerah RP terdiri atas elektroda Fp2, F4, C4, P4, dan O2. Daerah RL terdiri atas elektroda Fp2, F8, T4, T6, dan O2. Nilai-nilai yang terdapat pada file parquet spektrogram merupakan data representasi intensitas suatu frekuensi pada daerah dan rentang waktu tertentu. Salah satu contoh kolom pada data parquet spektrogram pada Gambar 7, terdapat kolom yang bernama LL_0.59 yang berarti nilai pada kolom tersebut merupakan nilai intensitas frekuensi 0.59 pada bagian LL. Setiap baris data parquet ini merupakan data hasil transformasi data mentah EEG dalam rentang *time window* 2 detik.



Gambar 6 Ilustrasi pemetaan daerah elektroda

#	time	#	LL_0.59	#	LL_t
1		9.74		10.24	
3		10.14		10.85	
5		8.53		11.95	
7		15.88		21.17	
9		24.09		33.39	
11		41.9		52.9	
13		36.77		56.96	
15		32.17		35.43	
17		19.56		32.83	

Gambar 7 Isi file parquet spektrogram

Selain menganalisis atribut data, dilakukan juga analisis mengenai berapa banyak data spektrogram yang memiliki *null value*. Setelah dianalisis, diketahui bahwa terdapat 969 data spektrogram yang memiliki *null value*. Oleh karena itu, data-data spektrogram tersebut perlu diberi penanganan *null value*.

4. KESIMPULAN

Dataset HMS Harmful Brain Activity berukuran 26,4 GB terdiri dari 17.300 rekaman EEG dan 11.408 spektrogram yang disimpan dalam *file *.parquet*. Metadata pada *file 'train.csv'* mencakup 106.800 baris data, yang mencakup sampel EEG berdurasi 50 detik dan spektrogram terkait berdurasi 10 menit, keduanya telah ditinjau dan diberi label oleh anotorator ahli. Setiap kategori data memiliki distribusi yang cukup seimbang, dengan seizure sebesar 19%, GPD 16%, LRDA 15%, "other" 18%, GRDA 18%, dan LPD 14%. Total durasi data EEG mencapai 380,28 jam, sedangkan data spektrogram mencapai 2.377,5 jam.

Analisis lebih lanjut menunjukkan bahwa dari total 774.887 pengambilan *vote* oleh anotorator ahli, hanya 574.926 *vote* atau 74% yang sesuai dengan kategorinya, menandakan bahwa diagnosa sinyal otak berdasarkan kelompok IIC merupakan tugas

yang kompleks bahkan untuk para ahli. Pemeriksaan kualitas data mengungkapkan bahwa *file* `train.csv` tidak memiliki nilai kosong, namun ditemukan 824 data EEG dan 969 data spektrogram yang memiliki *null value*. Ini menunjukkan perlunya penanganan khusus untuk mengatasi kekurangan data tersebut.

Rekaman EEG diambil pada frekuensi 200 sampel per detik dengan setiap baris data merepresentasikan perekaman sinyal otak per 1/200 detik. Spektrogram mengandung data intensitas frekuensi pada berbagai daerah elektroda EEG seperti LL, RL, LP, dan RP, yang memberikan detail tentang aktivitas otak dalam rentang waktu tertentu. Untuk meningkatkan kualitas dan keakuratan analisis, diperlukan penanganan *null value* pada data EEG dan spektrogram. Mengingat tingginya tingkat kesulitan dalam melakukan diagnosa sinyal otak, sangat penting untuk mengembangkan model prediktif yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bronzino, J.D. Biomedical Engineering Handbook; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 1999; Volume 2.
2. Z. Khakim and S. Kusrohmaniah, "Dasar - Dasar Electroencephalography (EEG) bagi Riset Psikologi," Buletin Psikologi/Buletin Psikologi Universitas Gadjah Mada. Fakultas Psikologi, vol. 29, no. 1, p. 92, Jun. 2021, doi: 10.22146/buletinpsikologi.52328.
3. Akbar, Y. (2014) 'Pola Gelombang Otak Abnormal Pada Elektroencephalograph', Thesis Magister Fisika, Institute Teknologi Bandung, (May 2014), pp. 1–6.
4. N. M. Jadeja, "Montages," in How to Read an EEG, Cambridge: Cambridge University Press, 2021, pp. 17–22
5. The Oxford Handbook of EEG Frequency. 2022. doi: 10.1093/oxfordhb/9780192898340.001.0001.
6. W. Ge et al., "Deep active learning for interictal ictal injury continuum EEG patterns," Journal of Neuroscience Methods, vol. 351, p. 108966, Mar. 2021, doi: 10.1016/j.jneumeth.2020.108966.
7. Barnett, A.J. et al. (2022) 'Interpretable Machine Learning System to EEG Patterns on the Ictal-Interictal-Injury Continuum'.
8. J. Jing et al., "Development of Expert-Level classification of seizures and rhythmic and periodic patterns during EEG interpretation," Neurology, vol. 100, no. 17, Apr. 2023, doi: 10.1212/wnl.0000000000207127.
9. A. G. Mahapatra and K. Horio, "Classification of ictal and interictal EEG using RMS frequency, dominant frequency, root mean instantaneous frequency square and their parameters ratio," Biomedical Signal Processing and Control, vol. 44, pp. 168–180, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.bspc.2018.04.007.
10. M. Jin Jing, "HMS - Harmful Brain Activity Classification," 2024.
11. A. Wagner, S. Ille, C. Liesenhoff, K. Aftahy, B. Meyer, and S. M. Krieg, "Improved potential quality of intraoperative transcranial motor-evoked potentials by navigated electrode placement compared to the conventional ten-twenty system," Neurosurgical Review, vol. 45, no. 1, pp. 585–593, May 2021, doi: 10.1007/s10143-021-01568-4.