

PERBANDINGAN ALGORITMA XGBOOST, LIGHTGBM DAN
RANDOM FOREST UNTUK KLASIFIKASI SINYAL EEG
DALAM PENGENALAN EMOSI

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Menyelesaikan
Pendidikan Program Strata-1 Pada
Jurusan Teknik Informatika



Oleh:

Yolendri Anisyahfitri
NIM : 09021282126075

JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

PERBANDINGAN ALGORITMA XGBOOST, LIGHTGBM DAN *RANDOM FOREST* UNTUK KLASIFIKASI SINYAL EEG DALAM PENGENALAN EMOSI

Oleh:

Yolendri Anisyahfitri

NIM: 09021282126075

Inderalaya, 27 Desember 2024

Pembimbing I,



Dian Palupi Rini, M.Kom., Ph.D.
NIP. 197802232006042002

Pembimbing II,



Mastura Diana Marieska, S.T., M.T.
NIP. 198603212018032001

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Informatika



Hadipurnawan Satria, Ph.D.
NIP. 198004182020121001

TANDA LULUS UJIAN KOMPREHENSIF

Pada hari Jumat tanggal 27 Desember 2024 telah dilaksanakan ujian komprehensif skripsi oleh Jurusan Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.

Nama : Yolendri Anisyahfitri
Nim : 09021282126075
Judul : Perbandingan Algoritma XGBoost, LightGBM dan *Random Forest* Untuk Klasifikasi Sinyal EEG dalam Pengenalan Emosi

dan dinyatakan LULUS.

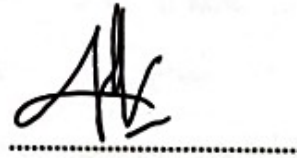
1. Ketua Penguji

Anggina Primanita, S.Kom., M.IT., Ph.D.
NIP. 198908062015042002



2. Penguji I

Alvi Syahrini Utami, S.Si., M.Kom.
NIP. 19781222006042003



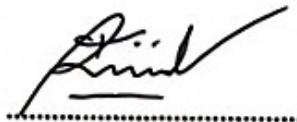
3. Pembimbing I

Dian Palupi Rini, M.Kom., Ph.D.
NIP. 197802232006042002



4. Pembimbing II

Mastura Diana Marieska, S.T., M.T.
NIP. 198603212018032001



Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Informatika



Hadipurnawan Satria, Ph.D.
NIP. 198004182020121001

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Yolendri Anisyahfitri
Nim : 09021282126075
Judul : Perbandingan Algoritma XGBoost, LightGBM dan
Random Forest Untuk Klasifikasi Sinyal EEG
dalam Pengenalan Emosi

Hasil Pengecekan *Software* Turnitin : 13%

Menyatakan bahwa laporan skripsi saya merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam laporan skripsi ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak ada paksaan oleh siapapun.

Inderalaya, 27 Desember 2024

Penulis,



Yolendri Anisyahfitri

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya...”
(Q.S Al Baqarah: 286)

“Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan. Sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.”
(Q.S Al-Insyirah ayat 5-6)

Kupersembahkan Karya Tulis ini kepada:

- Allah Subhanahu Wa Ta’ala
- Orang Tua
- Keluarga Besar
- Dosen Pembimbing Akademik dan Skripsi
- Fakultas Ilmu Komputer
- Universitas Sriwijaya

ABSTRACT

Emotion recognition based on Electroencephalogram (EEG) signals has become an intriguing research field in human-computer interaction and medical applications with the potential to provide deep insights into patients' mental conditions. This study aimed to compare the performance of three machine learning algorithms, XGBoost, LightGBM, and Random Forest, in classifying EEG signals for emotion recognition. The research was conducted by testing these algorithms using parameter variations such as `n_estimators`, `learning_rate`, and `max_depth`, and different data splits. The evaluation method involved performance metrics including accuracy, precision, recall, and F1-score. Results showed that all three algorithms achieved maximum accuracy of 1.00, with unique characteristics: XGBoost excelled in performance stability, LightGBM stood out in computational efficiency, and Random Forest displayed balanced evaluation metrics. This research contributes to the development of EEG signal classification methods for emotion recognition using machine learning approaches, with recommendations for algorithm selection based on specific research needs while considering potential overfitting in large training datasets.

Keywords: EEG Signal Classification, Emotion Recognition, XGBoost, LightGBM, Random Forest

ABSTRAK

Pengenalan emosi berbasis sinyal EEG (*Electroencephalogram*) telah menjadi bidang penelitian yang menarik dalam konteks interaksi manusia-komputer dan aplikasi medis. Penelitian ini berpotensi memberikan pemahaman mendalam tentang kondisi mental pasien, serta dengan pengenalan emosi yang akurat dapat memberikan manfaat besar dalam memahami dan merespons kebutuhan individu secara efektif. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan performa tiga algoritma *machine learning*, yaitu XGBoost, LightGBM, dan *Random Forest*, dalam mengklasifikasikan sinyal EEG untuk pengenalan emosi. Penelitian dilakukan dengan menguji ketiga algoritma menggunakan variasi parameter seperti *n_estimators*, *learning_rate*, *max_depth* dan berbagai *split* data. Metode pengujian melibatkan evaluasi performa model berdasarkan metrik akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-score*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketiga algoritma mampu mencapai akurasi maksimal 1.00, dengan karakteristik unik masing-masing: XGBoost unggul dalam stabilitas performa, LightGBM menonjol dalam efisiensi komputasi, dan *Random Forest* menampilkan keseimbangan metrik evaluasi yang baik. Penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan metode klasifikasi sinyal EEG untuk pengenalan emosi menggunakan pendekatan *machine learning*, dengan rekomendasi pemilihan algoritma disesuaikan dengan kebutuhan spesifik penelitian, memperhatikan potensi *overfitting* pada *dataset* dengan proporsi *training* yang besar.

Kata kunci: Klasifikasi Sinyal EEG, Pengenalan Emosi, XGBoost, LightGBM, *Random Forest*

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Subhanahu Wa Ta'ala atas Rahmat dan karunia-Nya, penyusunan tugas akhir dengan judul “Perbandingan Algoritma XGBoost, LightGBM dan Random Forest Untuk Klasifikasi Sinyal EEG dalam Pengenalan Emosi” dapat diselesaikan dengan baik. Tugas akhir ini disusun sebagai syarat dalam menyelesaikan studi Strata-1 program studi Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan, bimbingan, kerja sama dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Adapun penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat, sehat dan semua nikmat-Nya.
2. Ayah penulis Maryono, S.E., Ibu penulis Leti Herlina, S.Pd., Gr., adik-adik yang penulis sayangi Muhammad Azzam Ar-Rafii, Elisiya Shafa Haura dan Achmad Nizam Al-Hafizh beserta Keluarga besar penulis atas dukungan, doa, semangat dan motivasi kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan masa studi dan tugas akhir.
3. Ibu Dian Palupi Rini, M.Kom., Ph.D dan ibu Ibu Mastura Diana Marieska, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing skripsi I dan II yang telah memberi bimbingan, arahan serta semangat kepada penulis dalam menyelesaikan tugas akhir dengan baik dan tepat waktu.
4. Prof. Dr. Erwin, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya
5. Bapak Hadipurnawan Satria, S.Kom, M.Sc, Ph.D selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya
6. Ibu Desty Rodiah, S.Kom., M. T. selaku Dosen Pembimbing Akademik di Jurusan Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
7. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya yang telah memberikan banyak ilmu, arahan, dan pengetahuan selama masa perkuliahan.

8. Kiagus Muhammad Efan Fitriyan yang telah kebersamai penulis, memberikan motivasi, saling bertukar ilmu serta semangat dalam masa studi dan tugas akhir.
9. Valyssa, Rachma, Tiara dan Aqila selaku teman penulis yang selalu memberikan dukungan, motivasi, serta tempat bertukar pikiran selama masa studi hingga tugas akhir.
10. Teman-teman grup “Project Penting”, Dellin, Vanya, Hanif, Rizky dan Azhari yang telah memberikan dukungan, ilmu baru, hiburan serta semangat kepada penulis selama perkuliahan.
11. Grup NC selaku teman-teman penulis sejak SMA, yang selalu memberikan dukungan kepada penulis disela sela kesibukan perkuliahan masing-masing.
12. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu selama masa perkuliahan dan penyusunan tugas akhir ini di Jurusan Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.

Penulis menyadari dalam penyusunan tugas akhir ini jauh dari sempurna baik dari segi penyusunan, bahasan, ataupun penulisannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membantu. Semoga tugas akhir ini bermanfaat bagi pengembangan wawasan dan peningkatan ilmu pengetahuan di kalangan masyarakat luas serta dapat dijadikan kajian untuk penelitian lainnya.

Inderalaya, 27 Desember 2024



Yolendri Anisyahfitri

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	ii
TANDA LULUS UJIAN KOMPREHENSIF	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRACT	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	I-1
1.1 Pendahuluan	I-1
1.2 Latar Belakang Masalah	I-1
1.3 Rumusan Masalah	I-5
1.4 Tujuan Penelitian.....	I-6
1.5 Manfaat Penelitian.....	I-6
1.6 Batasan Masalah.....	I-6
1.7 Sistematika Penulisan.....	I-7
1.8 Kesimpulan.....	I-8
BAB II KAJIAN LITERATUR	II-1
2.1 Pendahuluan	II-1
2.2 Landasan Teori	II-1
2.2.1 Emosi	II-1
2.2.2 Sinyal EEG.....	II-3
2.2.3 Klasifikasi	II-5
2.2.4 <i>Ensemble Learning</i>	II-6
2.2.5 <i>Decision Tree</i>	II-8
2.2.6 <i>Extreme Gradient Boosting (XGBoost)</i>	II-10
2.2.7 <i>Light Gradient Boosting Machine (LightGBM)</i>	II-14

2.2.8	<i>Random Forest</i>	II-19
2.2.9	<i>Confusion Matrix</i>	II-22
2.2.10	<i>Rational Unified Process (RUP)</i>	II-25
2.2.11	Matriks Korelasi.....	II-27
2.3	Penelitian Terkait.....	II-27
2.4	Kesimpulan.....	II-31
BAB III	METODOLOGI PENELITIAN	III-1
3.1	Pendahuluan	III-1
3.2	Pengumpulan Data.....	III-1
3.2.1	Jenis dan Sumber Data.....	III-1
3.2.2	Metode Pengumpulan Data	III-2
3.3	Tahapan Penelitian.....	III-2
3.3.1	Kerangka Kerja	III-3
3.3.2	Pengumpulan Data	III-6
3.3.3	Kriteria Pengujian	III-6
3.3.4	Format Data Pengujian.....	III-7
3.3.5	Alat Bantu Penelitian	III-7
3.3.6	Pengujian Penelitian.....	III-8
3.3.7	Analisis Hasil Pengujian dan Kesimpulan	III-9
3.4	Metode Pengembangan Perangkat Lunak	III-9
3.4.1	Fase Insepsi	III-9
3.4.2	Fase Elaborasi	III-10
3.4.3	Fase Konstruksi.....	III-10
3.4.4	Fase Transisi.....	III-11
3.5	Manajemen Proyek Penelitian.....	III-11
3.6	Kesimpulan.....	III-14
BAB IV	PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK	IV-1
4.1	Pendahuluan	IV-1
4.2	Fase Insepsi	IV-1
4.2.1	Pemodelan Bisnis	IV-1
4.2.2	Kebutuhan Sistem	IV-2
4.2.3	Analisis dan Desain.....	IV-3

4.2.3.1	Analisis dan Kebutuhan Perangkat Lunak	IV-4
4.2.3.2	Analisis Data	IV-4
4.2.3.3	Analisis <i>Extreme Gradient Boosting</i> (XGBoost)	IV-5
4.2.3.4	Analisis Light Gradient Boosting Machine (LightGBM)	IV-12
4.2.3.5	Analisis Random Forest	IV-19
4.2.3.6	Desain Perangkat Lunak.....	IV-23
4.3	Fase Elaborasi.....	IV-36
4.3.1	Pemodelan Bisnis	IV-37
4.3.1.1	Perancangan Data	IV-37
4.3.1.2	Perancangan Antar Muka	IV-37
4.3.2	Kebutuhan Sistem	IV-40
4.3.3	Analisis dan Perancangan	IV-40
4.4.3.1	Diagram Aktivitas.....	IV-40
4.4.3.2	Diagram Alur	IV-44
4.4	Fase Kontruksi.....	IV-47
4.4.1	Kebutuhan Sistem	IV-47
4.4.2	Diagram Kelas.....	IV-48
4.4.3	Implementasi	IV-49
4.4.3.1	Implementasi Kelas	IV-49
4.4.3.2	Implementasi Antarmuka	IV-51
4.5	Fase Transisi	IV-55
4.5.1	Pemodelan Bisnis	IV-56
4.5.2	Rencana Pengujian	IV-56
4.5.3	Implementasi	IV-58
4.6	Kesimpulan.....	IV-60
BAB V HASIL DAN ANALISIS PEMBAHASAN		V-1
5.1	Pendahuluan	V-1
5.2	Data Hasil Percobaan	V-1
5.2.1	Konfigurasi Percobaan	V-1
5.2.2	Data Hasil Konfigurasi.....	V-2
5.2.2.1	Hasil Pengujian Parameter Algoritma XGBoost	V-2
5.2.2.2	Hasil Pengujian Parameter Algoritma LightGBM	V-6
5.2.2.3	Hasil Pengujian Parameter Algoritma <i>Random Forest</i>	V-9

5.3	Analisis Hasil Pengujian	V-10
5.3.1	Analisis Hasil Pengujian Algoritma XGBoost.....	V-10
5.3.2	Analisis Hasil Pengujian Algoritma LightGBM	V-12
5.3.3	Analisis Hasil Pengujian Algoritma <i>Random Forest</i>	V-15
5.3.4	Analisis Hasil Perbandingan Algoritma	V-17
5.4	Kesimpulan.....	V-19
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		VI-1
6.1	Pendahuluan	VI-1
6.2	Kesimpulan.....	VI-1
6.3	Saran.....	VI-2
DAFTAR PUSTAKA		xv
LAMPIRAN.....		xix

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel III-1. Rancangan Format Tabel Pengujian	III-7
Tabel III-2. Work Breakdown Structure (WBS)	III-12
Tabel IV-1. Kebutuhan Fungsional	IV-3
Tabel IV-2. Kebutuhan Non-Fungsional	IV-3
Tabel IV-3. Data Sample XGBoost	IV-5
Tabel IV-4. Data Sample XGBoost Residual 1	IV-6
Tabel IV-5. Data Sample XGBoost Residual 2	IV-11
Tabel IV-6. Data Sample LightGBM.....	IV-13
Tabel IV-7. Data Training Sample LightGBM	IV-14
Tabel IV-8. Data Testing Sample LightGBM.....	IV-14
Tabel IV-9. Hasil EFB Data Training LightGBM	IV-15
Tabel IV-10. Hasil Residual Data Training LightGBM.....	IV-16
Tabel IV-11. Data Hasil Pengurutan Nilai Residual.....	IV-16
Tabel IV-12. Data Hasil Pembagian Nilai a dan b	IV-16
Tabel IV-13. Data Hasil EFB Data Testing LightGBM.....	IV-19
Tabel IV-14. Data Hasil Prediksi Hitung Manual Data Testing LightGBM ...	IV-19
Tabel IV-15. Data Sample Random Forest.....	IV-19
Tabel IV-16. Data Cabang Kiri Decision Tree 1	IV-20
Tabel IV-17. Data Cabang Kanan Decision Tree 1	IV-20
Tabel IV-18. Data Cabang Kiri Decision Tree 2	IV-21
Tabel IV-19. Data Cabang Kanan Decision Tree 2	IV-22
Tabel IV-20. Data Uji Random Forest.....	IV-23
Tabel IV-21. Definisi Aktor.....	IV-25
Tabel IV-22. Definisi Use Case	IV-25
Tabel IV-23. Skenario Load Data	IV-26
Tabel IV-24. Skenario Melakukan Klasifikasi Algoritma XGBoost.....	IV-28
Tabel IV-25. Skenario Melakukan Klasifikasi Algoritma LightGBM	IV-30
Tabel IV-26. Skenario Melakukan Klasifikasi Algoritma Random Forest.....	IV-32
Tabel IV-27. Skenario Melakukan Klasifikasi dan Perbandingan Algoritma .	IV-34

Tabel IV-28. Implementasi Kelas	IV-49
Tabel IV-29. Rencana Pengujian Use Case Melakukan Load Data	IV-56
Tabel IV-30. Rencana Pengujian Use Case Menampilkan Hasil Klasifikasi Algoritma XGBoost	IV-56
Tabel IV-31. Rencana Pengujian Use Case Menampilkan Hasil Klasifikasi Algoritma LightGBM	IV-57
Tabel IV-32. Rencana Pengujian Use Case Menampilkan Hasil Klasifikasi Algoritma Random Forest.....	IV-57
Tabel IV-33. Rencana Pengujian Use Case Menampilkan Hasil Klasifikasi dan Perbandingan.....	IV-58
Tabel IV-34. Pengujian Use Case Melakukan Load Data	IV-57
Tabel IV-35. Pengujian Use Case Menampilkan Hasil Klasifikasi Algoritma XGBoost.....	IV-58
Tabel IV-36. Pengujian Use Case Menampilkan Hasil Klasifikasi Algoritma LightGBM.....	IV-58
Tabel IV-37. Pengujian Use Case Menampilkan Hasil Klasifikasi Algoritma Random Forest	IV-59
Tabel IV-38. Pengujian Use Case Menampilkan Hasil Klasifikasi Algoritma Random Forest	IV-59
Tabel V-1. Hasil Klasifikasi Algoritma XGBoost Split Data 70% dan 30%.....	V-3
Tabel V-2. Hasil Klasifikasi Algoritma LightGBM Split Data 70% dan 30% ...	V-6
Tabel V-3. Hasil Klasifikasi Algoritma Random Forest Split Data 70% dan 30%	V-9

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar II-1. Ilustrasi Perekaman Sinyal EEG (Siuly et al., 2016)	II-4
Gambar II-2. Model Decision tree (Charbuty & Abdulazeez, 2021).....	II-8
Gambar II-3. Cara Kerja Dasar XGBoost (T. Chen & Guestrin, 2016).....	II-11
Gambar II-4. Cara Kerja dari XGBoost (Azmi & Baliga, 2020).....	II-13
Gambar II-5. Konstruksi pohon berdasarkan Level-wise dan leaf-wise tree (Septiana Rizky et al., 2022).....	II-16
Gambar II-6. Flowchart Algoritma LightGBM (Damayanti, 2021)	II-18
Gambar II-7. Cara kerja Random Forest (Z. Wang et al., 2022).....	II-20
Gambar II-8. Arsitektur RUP (Sudarma et al., 2021).....	II-25
Gambar III-1. Diagram Tahapan Penelitian	III-3
Gambar III-2. Kerangka Kerja Penelitian	III-4
Gambar III-3. Tahapan Pengujian Penelitian	III-8
Gambar IV-1. Struktur Decision Tree 1	IV-8
Gambar IV-2. Struktur Akhir Decision Tree 1	IV-9
Gambar IV-3. Hasil Decision Tree Model Data Training.....	IV-18
Gambar IV-4. Hasil Decision Tree 1 Random Forest.....	IV-21
Gambar IV-5. Hasil Decision Tree 2 Random Forest.....	IV-22
Gambar IV-6. Hasil Decision Tree 3 Random Forest.....	IV-23
Gambar IV-7. Use Case Diagram	IV-24
Gambar IV-8. Rancangan Antarmuka Halaman Load Data	IV-38
Gambar IV-9. Rancangan Antarmuka Halaman Klasifikasi XGBoost	IV-38
Gambar IV-10. Rancangan Antarmuka Halaman Klasifikasi LighGBM.....	IV-39
Gambar IV-11. Rancangan Antarmuka Halaman Klasifikasi Random Forest.....	IV-39
Gambar IV-12. Rancangan Antarmuka Halaman Klasifikasi dan Perbandingan.....	IV-40
Gambar IV-13. Diagram Aktivitas Load Data.....	IV-41
Gambar IV-14. Diagram Aktivitas Melakukan Klasifikasi Algoritma XGBoost.....	IV-42

Gambar IV-15. Diagram Aktivitas Melakukan Klasifikasi Algoritma LightGBM	IV-42
Gambar IV-16. Diagram Aktivitas Melakukan Klasifikasi Algoritma Random Forest.....	IV-43
Gambar IV-17. Diagram Aktivitas Melakukan Klasifikasi dan Perbandingan Algoritma	IV-43
Gambar IV-18. Sequence Diagram Load Data.....	IV-44
Gambar IV-19. Sequence Diagram Klasifikasi XGBoost	IV-45
Gambar IV-20. Sequence Diagram Klasifikasi LightGBM	IV-45
Gambar IV-21. Sequence Diagram Klasifikasi Random Forest.....	IV-46
Gambar IV-22. Sequence Diagram Klasifikasi dan Perbandingan	IV-46
Gambar IV-23. Diagram Kelas	IV-49
Gambar IV-24. Implementasi Antarmuka Halaman Load Data	IV-51
Gambar IV-25. Implementasi Antarmuka Halaman Klasifikasi XGBoost	IV-52
Gambar IV-26. Implementasi Antarmuka Halaman Hasil Klasifikasi XGBoost	IV-52
Gambar IV-27. Implementasi Antarmuka Halaman Klasifikasi LightGBM..	IV-53
Gambar IV-28. Implementasi Antarmuka Halaman Hasil Klasifikasi LightGBM	IV-53
Gambar IV-29. Implementasi Antarmuka Halaman Klasifikasi Random Forest	IV-54
Gambar IV-30. Implementasi Antarmuka Halaman Hasil Klasifikasi Random Forest.....	IV-54
Gambar IV-31. Implementasi Antarmuka Halaman Klasifikasi dan Perbandingan	IV-55
Gambar IV-32. Implementasi Antarmuka Halaman Hasil Klasifikasi dan Perbandingan.....	IV-55
Gambar V-1. Perbandingan Hasil Klasifikasi Algoritma XGBoost, LightGBM dan Random Forest	V-18

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Pendahuluan

Pada Bab 1 ini mendeskripsikan dasar dari penelitian yang akan dilakukan mengenai perbandingan algoritma *Extreme Gradient Boosting*, *Light Gradient Boosting Machine* dan *Random Forest* untuk klasifikasi sinyal EEG dalam pengenalan emosi. Bab ini membahas latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta batasan masalah yang diterapkan untuk memfokuskan cakupan penelitian pada area yang relevan dan mencegah penyimpangan.

1.2 Latar Belakang Masalah

Emosi memiliki peran penting dalam mempengaruhi perilaku dan keputusan seseorang. Oleh karena itu, pengenalan emosi yang akurat dapat memberikan manfaat besar dalam memahami dan merespons kebutuhan individu secara efektif. Pengenalan emosi ini merupakan salah satu aspek yang sangat penting di era globalisasi terutama dalam bidang kesehatan, mental, dan interaksi manusia-komputer (IMK). Menurut penelitian dari Zhuang et al., (2019), pengenalan emosi memiliki peran penting dalam dunia kesehatan karena dapat membantu dalam memahami kondisi mental pasien. Hal ini memungkinkan staf medis untuk memberikan dukungan yang lebih baik kepada pasien. Dengan menggunakan sistem pengenalan emosi yang akurat, tenaga medis dapat memperoleh informasi mengenai keadaan emosional pasien. Hal ini

memungkinkan staf medis untuk lebih memahami kondisi pasien dan memberikan dukungan mental yang sesuai, sehingga meningkatkan efektivitas perawatan.

Menurut penelitian medis saat ini, belum ada bukti konklusif yang menunjukkan hubungan antara kondisi emosi dan penyakit. Akan tetapi, keadaan emosi positif sebenarnya kondusif untuk pemulihan penyakit serta kesehatan fisik dan mental. Ketika pasien berada dalam keadaan negatif dan tidak bekerja sama dengan pengobatan, proses penyembuhan biasanya sangat lambat, dan bahkan dapat menyebabkan memburuknya kondisi penyakit (Rosemari.et al., 2023). Maka dari itu, deteksi keadaan emosional relatif penting bagi pasien.

Pengenalan emosi dapat dibedakan menjadi pengenalan fisiologis dan non-fisiologis. Pengenalan emosi non-fisiologis dikenal juga sebagai faktor eksternal yang meliputi ekspresi wajah, ucapan dan postur tubuh. Pengenalan ini memberikan pemahaman yang lebih intuitif tentang emosi seseorang. Namun, sinyal ini sangat dipengaruhi oleh kontrol indera dan faktor subjektif. Oleh karena itu, dalam beberapa kasus, sinyal eksternal ini dapat menjadi tidak valid untuk pengenalan emosi (Rosemari.et al., 2023). Pada pengenalan emosi fisiologis, deteksi dilakukan menggunakan sinyal-sinyal yang langsung berhubungan ke tubuh manusia, seperti frekuensi pernapasan, denyut nadi, dan impedansi kulit (SC), *Electrocardiogram (ECG)*, *Electromyography (EMG)*, dan *Electroencephalogram (EEG)*.

Penelitian oleh Zhuang. et al., (2019) menjelaskan bahwa metode fisiologi ini dianggap lebih autentik karena sinyal fisiologis tidak bisa dikendalikan secara sadar oleh individu dan memiliki korelasi yang kuat dengan emosi manusia.

Kemudian Zhuang. et al., (2019) juga menekankan bahwa EEG dianggap sebagai pilihan yang baik untuk pengenalan emosi karena sinyalnya secara langsung mencerminkan aktivitas otak dan tidak terpengaruh oleh kontrol sadar individu. Hal ini membuat hasil pengenalan emosi lebih realistis dan objektif. Selain itu, EEG dapat memberikan informasi yang lebih kaya mengenai berbagai keadaan emosional, memungkinkan analisis yang lebih mendalam. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan sinyal EEG untuk mengklasifikasi pengenalan emosi. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Siswipraptini. et al., (2023) tujuan dari klasifikasi ini adalah untuk menemukan himpunan model (fungsi) yang dapat mendeskripsikan dan membedakan berbagai kelas data atau konsep. Model tersebut kemudian dapat digunakan untuk memprediksi kelas dari suatu objek yang kelasnya belum diketahui.

Beberapa penelitian mengenai sinyal EEG telah dilakukan untuk mengklasifikasikan emosi manusia. Salah satunya penelitian yang dilakukan oleh Mei. et al., (2017), yaitu mengklasifikasikan sinyal EEG menggunakan *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk mengenali keadaan emosional manusia dengan menghitung matriks konektivitas fungsional dan mengekstrak karakteristik dari matriks. Penelitian lain yang ditulis oleh (Wang Jiang & Wang Mei, 2021) dengan membandingkan algoritma pada *Machine Learning* dan *Deep learning* yang mencakup analisis domain waktu, analisis domain frekuensi, dan analisis domain waktu-frekuensi, yang semuanya memberikan informasi mendetail tentang sinyal EEG. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma pada machine learning yang digunakan menghasilkan akurasi berkisar antara 57.50%

hingga 95.70% dan algoritma pada *deep learning* menunjukkan akurasi yang lebih tinggi, berkisar antara 63.38% hingga 97.56%. Penelitian ini menegaskan bahwa pemilihan metode ekstraksi fitur dan algoritma klasifikasi yang tepat sangat penting untuk mencapai hasil optimal dalam pengenalan emosi berbasis EEG.

Penelitian lain mengenai pengenalan emosi menggunakan sinyal EEG yang dilakukan oleh Yindong. et al., (2020) menggunakan *Power spectral density (PSD)* sebagai fitur sinyal EEG dan XGBoost digunakan untuk mengukur pentingnya fitur berdasarkan indeks bobot. Algoritma ini mencapai akurasi pengenalan sebesar 78.4% dan 92.6%. Kemudian penelitian lain dari Parui. et al., (2019) dalam klasifikasi emosi menggunakan algoritma XGBoost menunjukkan bahwa optimasi fitur yang diikuti oleh algoritma XGBoost memberikan akurasi lebih tinggi dibandingkan dengan algoritma lain.

Penelitian lain yang membandingkan kinerja algoritma algoritma *Random Forest (RF)*, *Gradient Boosting Machine (GBM)*, *LightGBM (LGB)* oleh Wardhana. et al., (2022) dalam klasifikasi biji kacang menggunakan transformasi BoxCox. Menunjukkan bahwa *Random Forest (RF)*, *Gradient Boosting Machine (GBM)*, *Lightgbm (LGB)* memiliki hasil prediksi klasifikasi kelas yang hampir sama. Namun dalam fase training, memiliki perbedaan yang cukup signifikan. *Random Forest* memiliki kemampuan akurasi training hingga 96%, *Gradient Boosting Machine* hanya mampu pada angka 93%.

Kemudian, penelitian lain mengenai perbandingan kinerja XGBoost, LightGBM, dan *Random Forest* oleh Arif, (2023) dalam klasifikasi emosi komentar

Reddit menghasilkan algoritma *Random Forest* memiliki akurasi paling tinggi sebesar 85% dibandingkan dengan XGBoost 74% dan LightGBM sebesar 70%. Dilain sisi, penelitian lain oleh Gonzalez. et al., (2020) dalam tutorial mengenai *ensemble* berbasis *bagging* dan *boosting* untuk *machine learning* menunjukkan bahwa dalam hal klasifikasi, XGBoost dan LightGBM sering kali menunjukkan performa yang lebih unggul dibandingkan dengan *Random Forest*. XGBoost sering kali dianggap sebagai algoritma terbaik dalam banyak skenario klasifikasi, meskipun keunggulannya secara statistik signifikan hanya dalam beberapa perbandingan. LightGBM juga dikenal dengan proses pembelajaran yang cepat dan efisien, terutama pada *dataset* besar. Sementara itu, *Random Forest* salah satu *ensemble* yang paling terkenal karena efektivitas dan kesederhanaannya, tidak selalu menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan metode *boosting* seperti XGBoost dan LightGBM.

Berdasarkan ulasan yang telah dibahas serta kelebihan masing-masing algoritma XGBoost, LightGBM, dan *Random Forest*, penelitian ini akan membandingkan ketiga algoritma tersebut untuk klasifikasi sinyal EEG dalam pengenalan emosi.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menerapkan algoritma *Extreme Gradient Boosting*, *Light Gradient Boosting Machine* dan *Random Forest* untuk klasifikasi sinyal EEG dalam pengenalan emosi?

2. Bagaimana perbandingan hasil klasifikasi *Extreme Gradient Boosting*, *Light Gradient Boosting Machine* dan *Random Forest* untuk klasifikasi sinyal EEG dalam pengenalan emosi?

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui cara menerapkan Algoritma *Extreme Gradient Boosting*, *Light Gradient Boosting Machine*, dan *Random Forest* untuk Klasifikasi Sinyal EEG dalam Pengenalan Emosi.
2. Membandingkan Hasil Klasifikasi *Extreme Gradient Boosting*, *Light Gradient Boosting Machine*, dan *Random Forest* untuk Klasifikasi Sinyal EEG dalam Pengenalan Emosi.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sistem yang dihasilkan dapat digunakan dalam memilih algoritma untuk pengenalan emosi di berbagai bidang seperti kesehatan, terapi psikologis, pendidikan dan interaksi manusia-komputer.
2. Hasil penelitian ini dapat dijadikan rujukan bagi peneliti lain untuk melanjutkan penelitian mengenai sinyal EEG dalam pengenalan emosi.

1.6 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan data nilai sekunder mengenai sinyal EEG yang telah diunduh dalam format .CSV dari situs *Kaggle.com*.

2. Kategori emosi yang akan diklasifikasikan dalam penelitian ini dibatasi pada tiga emosi dasar, yaitu positif, netral dan negatif.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti standar operasional penulisan tugas akhir yang ditetapkan oleh Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya, yakni sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini akan membahas latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II. KAJIAN PUSTAKA

Pada bab ini akan membahas mengenai landasan teori yang mendasari penelitian ini. Tinjauan pustaka yang komprehensif akan dihadirkan, meliputi studi-studi terdahulu yang relevan dengan pengenalan emosi, definisi klasifikasi, serta algoritma *Extreme Gradient Boosting (XGBoost)*, *Light Gradient Boosting Machine (LightGBM)*, dan *Random Forest*.

BAB III. METODELOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan menjelaskan tahapan yang akan diterapkan pada penelitian ini, dengan fokus pada penerapan Algoritma *Extreme Gradient Boosting (XGBoost)*, *Light Gradient Boosting Machine (LightGBM)*, dan *Random Forest*. Setiap tahapan akan dijelaskan secara detail berdasarkan kerangka kerja yang telah ditentukan. Selain itu, bab ini juga akan

membahas perencanaan manajemen proyek untuk memastikan kelancaran pelaksanaan penelitian.

BAB IV. PENGEMBANGAN PERANGKAT LUNAK

Bab ini akan menjelaskan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam mengimplementasikan algoritma *Extreme Gradient Boosting (XGBoost)*, *Light Gradient Boosting Machine (LightGBM)*, dan *Random Forest* dalam pengembangan perangkat lunak.

BAB V. HASIL DAN ANALISIS PENELITIAN

Bab ini akan menyajikan hasil pengujian yang telah dilakukan sesuai dengan rencana yang telah ditetapkan sebelumnya. Analisis terhadap hasil klasifikasi sinyal EEG dalam pengenalan emosi akan menjadi dasar untuk menarik kesimpulan dalam penelitian ini.

BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan menyajikan kesimpulan berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan. Selain itu, akan diberikan sejumlah saran yang diharapkan dapat menjadi landasan bagi penelitian lebih lanjut yang menggunakan algoritma serupa.

1.8 Kesimpulan

Berdasarkan penjelasan di atas, maka dapat disimpulkan dalam penelitian ini telah dibahas mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan untuk klasifikasi sinyal EEG dalam pengenalan emosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhisnawi, M. (2021). Bloom-Quotient Based Name Matching Technique in Content Centric Networks. *Journal of Physics: Conference Series*, 1818(1), 012030. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1818/1/012030>
- Arly, A., Dwi, N., & Andini, R. (2023). Implementasi Penggunaan Artificial Intelligence Dalam Proses Pembelajaran Mahasiswa Ilmu Komunikasi di Kelas A. *Prosiding Seminar Nasional*, 362–374.
- Azmi, S. S., & Baliga, S. (2020). An Overview of Boosting Decision Tree Algorithms utilizing AdaBoost and XGBoost Boosting strategies. *International Research Journal of Engineering and Technology*. www.irjet.net
- Bird, J. J., Faria, D. R., Manso, L. J., Ekárt, A., & Buckingham, C. D. (2019). A deep evolutionary approach to bioinspired classifier optimisation for brain-machine interaction. *Complexity*, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/4316548>
- Capitaine, L., Genuer, R., & Thiébaud, R. (2021). Random forests for high-dimensional longitudinal data. *Statistical Methods in Medical Research*, 30(1), 166–184. <https://doi.org/10.1177/0962280220946080>
- Charbuty, B., & Abdulazeez, A. (2021). Classification Based on Decision Tree Algorithm for Machine Learning. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 2(01), 20–28. <https://doi.org/10.38094/jastt20165>
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016a). XGBoost. *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Chen, T., & Guestrin, C. (2016b). XGBoost: A scalable tree boosting system. *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 13-17-August-2016*, 785–794. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- Chen, X., Yang, Z., & Lou, W. (2019). Fault Diagnosis of Rolling Bearing Based on the Permutation Entropy of VMD and Decision Tree. *IEEE*, 1911–1915.
- Damayanti, F. (2021). *Klasifikasi Sekuens Protein Coronavirus Penyebab Covid-19 Menggunakan Metode Lightgbm Dengan Seleksi Fitur Elastic Net*. Universitas Indonesia.
- Daoud, J. I. (2018). Multicollinearity and Regression Analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, 949(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/949/1/012009>
- Dong, X., Yu, Z., Cao, W., Shi, Y., & Ma, Q. (2020). A survey on ensemble learning. In *Frontiers of Computer Science* (Vol. 14, Issue 2, pp. 241–258). Higher Education Press. <https://doi.org/10.1007/s11704-019-8208-z>

- Fadli, M., & Saputra, R. A. (2023). Klasifikasi Dan Evaluasi Performa Model Random Forest Untuk Prediksi Stroke Classification And Evaluation Of Performance Models Random Forest For StrokePrediction. *Jurnal Teknik*, 12, 72–80. <http://jurnal.umt.ac.id/index.php/jt/index>
- Farid, D. U. A. (2023). *Perbandingan Kinerja Algoritma Random Forest, Xgboost Dan Lightgbm Dalam Klasifikasi Emosi Komentar Reddit*.
- Ferdita Nugraha, A., Aziza, R. F. A., & Pristyanto, Y. (2022). Penerapan metode Stacking dan Random Forest untuk Meningkatkan Kinerja Klasifikasi pada Proses Deteksi Web Phishing. *Jurnal Infomedia*, 7(1), 39. <https://doi.org/10.30811/jim.v7i1.2959>
- Fikri, R., Mushardiyanto, A., Laudza'Banin, M. N., Maureen, K., & Patria, H. (2021). Pengelompokan Kabupaten/Kota di Indonesia Berdasarkan Informasi Kemiskinan Tahun 2020 Menggunakan Metode K-Means Clustering Analysis. *Seminar Nasional Teknik Dan Manajemen Industri*, 1(1), 190–199. <https://doi.org/10.28932/sentekmi2021.v1i1.76>
- Fitra, R. A., Harahap, W. A., Rahman, W. K., William, J., Ps, I. V, Baru, K., Percut, K., Tuan, S., & Serdang, K. D. (2023). Analisis Perbandingan Algoritma Machine Learning untuk Klasifikasi Tingkat Risiko Ibu Hamil. *Student Research Journal*, 1(6). <https://doi.org/10.55606/srjyappi.v1i6.846>
- Guo, R., Guo, H., Wang, L., Chen, M., Yang, D., & Li, B. (2024). Development and application of emotion recognition technology — a systematic literature review. In *BMC Psychology* (Vol. 12, Issue 1). BioMed Central Ltd. <https://doi.org/10.1186/s40359-024-01581-4>
- Guo, Y., Wang, H., Guo, Y., Zhong, M., Li, Q., & Gao, C. (2022). System operational reliability evaluation based on dynamic Bayesian network and XGBoost. *Reliability Engineering & System Safety*, 225, 108622. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108622>
- Heydarian, M., Doyle, T. E., & Samavi, R. (2022). MLCM: Multi-Label Confusion Matrix. *IEEE Access*, 10, 19083–19095. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3151048>
- Houssein, E. H., Hammad, A., & Ali, A. A. (2022). Human emotion recognition from EEG-based brain–computer interface using machine learning: a comprehensive review. In *Neural Computing and Applications* (Vol. 34, Issue 15, pp. 12527–12557). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07292-4>
- Huang, J., Xu, X., & Zhang, T. (2017). Emotion classification using deep neural networks and emotional patches. *2017 IEEE International Conference on*

Bioinformatics and Biomedicine (BIBM), 958–962.
<https://doi.org/10.1109/BIBM.2017.8217786>

- Istiqomah, G., Wahyuni, D., Islam Anak Usia Dini, P., Ilmu Tarbiyah, F., & Raden Fatah Palembang, U. (2023). Pengenalan Emosi Positif dan Emosi Negatif Pada Anak Usia Dini. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 3(1).
- Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q., & Liu, T.-Y. (2017). LightGBM: A Highly Efficient Gradient Boosting Decision Tree. *Curran Associates, Inc.*, 30. <https://github.com/Microsoft/LightGBM>.
- Li, Q. F., & Song, Z. M. (2022). High-performance concrete strength prediction based on ensemble learning. *Construction and Building Materials*, 324. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126694>
- Liang, W., Luo, S., Zhao, G., & Wu, H. (2020). Predicting hard rock pillar stability using GBDT, XGBoost, and LightGBM algorithms. *Mathematics*, 8(5). <https://doi.org/10.3390/MATH8050765>
- Mienye, I. D., & Sun, Y. (2022). A Survey of Ensemble Learning: Concepts, Algorithms, Applications, and Prospects. In *IEEE Access* (Vol. 10, pp. 99129–99149). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3207287>
- Parui, S., Roshan Bajiya, A. K., Samanta, D., & Chakravorty, N. (2019). Emotion Recognition from EEG Signal using XGBoost Algorithm. *2019 IEEE 16th India Council International Conference (INDICON)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/INDICON47234.2019.9028978>
- Ribeiro, M. H. D. M., & dos Santos Coelho, L. (2020). Ensemble approach based on bagging, boosting and stacking for short-term prediction in agribusiness time series. *Applied Soft Computing Journal*, 86. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105837>
- Rosemari, P., Rini, D. P., & Sari, W. K. (2023). Klasifikasi Sinyal EEG Untuk Mengenali Jenis Emosi Menggunakan Deep Learning. *Jurnal Sistem Komputer Dan Informatika (JSON)*, 5(2), 384. <https://doi.org/10.30865/json.v5i2.7172>
- Senjawati, R. T., Djamal, E. C., & Kasyidi, F. (2024). Identifikasi Emosi Melalui Sinyal EEG menggunakan 3D-Convolutional Neural Network. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 12(2), 417. <https://doi.org/10.26760/elkomika.v12i2.417>
- Shu, L., Xie, J., Yang, M., Li, Z., Li, Z., Liao, D., Xu, X., & Yang, X. (2018). A review of emotion recognition using physiological signals. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 18, Issue 7). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s18072074>

- Siregar, S. A., Irmayani, D., & Dar, M. H. (2021). Implementation Of The Rup Method On The Labuhan Batu University Student Activity Unit Information System. *JURNAL INFOKUM*, 9(2). <http://infor.seaninstitute.org/index.php/infokum/index>
- Siuly, S., Li, Y., & Zhang, Y. (2016). *EEG Signal Analysis and Classification*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47653-7>
- Sudarma, M., Ariyani, S., & Wicaksana, P. A. (2021). Implementation of the Rational Unified Process (RUP) Model in Design Planning of Sales Order Management System. *INTENSIF: Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Penerapan Teknologi Sistem Informasi*, 5(2), 249–265. <https://doi.org/10.29407/intensif.v5i2.15543>
- Sun, Y., Li, Z., Li, X., & Zhang, J. (2021). Classifier Selection and Ensemble Model for Multi-class Imbalance Learning in Education Grants Prediction. *Applied Artificial Intelligence*, 35(4), 290–303. <https://doi.org/10.1080/08839514.2021.1877481>
- Wang, J., & Wang, M. (2021). Review of the emotional feature extraction and classification using EEG signals. In *Cognitive Robotics* (Vol. 1, pp. 29–40). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.cogr.2021.04.001>
- Wang, Z., Li, J., Rangaiah, G. P., & Wu, Z. (2022). Machine learning aided multi-objective optimization and multi-criteria decision making: Framework and two applications in chemical engineering. *Computers and Chemical Engineering*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2022.107945>
- Wardhana, I., Musi Ariawijaya, Vandri Ahmad Isnaini, & Rahmi Putri Wirman. (2022). Gradient Boosting Machine, Random Forest dan Light GBM untuk Klasifikasi Kacang Kering. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 6(1), 92–99. <https://doi.org/10.29207/resti.v6i1.3682>
- Yolanda Paramitha, N., Nuryaman, A., Faisol, A., Setiawan, E., Dina Eka Nurvazly, dan, Matematika, J., Mipa, F., Lampung Jl Soemantri Brojonegoro No, U., Lampung, B., Kunci, K., & Bayes, N. (2023). Klasifikasi Penyakit Stroke Menggunakan Metode Naïve Bayes. In *Jurnal Siger Matematika* (Vol. 04, Issue 01). <https://www.kaggle.com/datasets/zzettrkalkpakbal/full-filled->
- Zhang, H. (2020). Expression-EEG Based Collaborative Multimodal Emotion Recognition Using Deep AutoEncoder. *IEEE Access*, 8, 164130–164143. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3021994>
- Zhou, Z.-H. (2021). *Ensemble Learning*. Springer Singapore. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-15-1967-3_8
- Zhuang, J. R., Guan, Y. J., Nagayoshi, H., Muramatsu, K., Watanuki, K., & Tanaka, E. (2019). Real-time emotion recognition system with multiple physiological

signals. *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing*,
13(4). <https://doi.org/10.1299/jamdsm.2019jamdsm0075>