

MODEL KONSEPTUAL PEMANFAATAN POLA SKLERA SEBAGAI BIOMARKER EMOSI DASAR: PENDEKATAN KOMPARATIF DENGAN ANPS DAN EEG

Riyadi Hartono¹, Erna Harfiani², Nabila Nur Izzati³

¹ Program Studi Magister Sains Biomedik, Fakultas Kedokteran, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta, Indonesia,

^{2,3} Program Studi Kedokteran Program Sarjana, Fakultas Kedokteran, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jakarta, Indonesia,

Corresponding author : riyadihartono@pnb.ac.id

Abstrak. Penilaian emosi dasar manusia (basic emotions) merupakan aspek penting dalam evaluasi kesehatan mental dan perilaku. Namun, hingga kini belum tersedia alat ukur yang bersifat non-invasif, cepat, dan dapat diakses luas tanpa memerlukan teknologi neuroimaging mahal. Sclerology—ilmu observasi pola vaskular pada sklera—menawarkan pendekatan visual yang dapat direkam dan dianalisis secara real-time. Dengan bantuan kecerdasan buatan (AI), pola-pola tersebut dapat dievaluasi secara objektif dan dikorelasikan dengan skor ANPS (Affective Neuroscience Personality Scales) dan sinyal EEG. Pola vaskular sklera memiliki potensi kuat sebagai biomarker visual non-invasif untuk mengukur kondisi emosi dasar manusia. Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi potensi pemanfaatan pola sklera sebagai biomarker visual emosi dasar manusia dengan membandingkannya terhadap skor ANPS dan hasil sinyal EEG. Variabel dependen: aktivasi sistem emosi dasar (SEEKING, RAGE, FEAR, CARE, GRIEF, PLAY). Variabel independen: pola vaskular sklera (zona jam), skor ANPS, dan dinamika gelombang EEG (delta, theta, beta, gamma). Penelitian ini menggunakan pendekatan narrative review dan rancangan model konseptual AI. Karena bersifat teoretis, belum ada pengumpulan data aktual. Sklera diusulkan direkam dengan kamera makro dalam pencahayaan terkendali, ANPS digunakan untuk skor emosi dasar (tanpa LUST), dan EEG direkam saat stimulasi emosi. Citra sklera dianalisis dengan CNN, sedangkan ANPS dan EEG menjadi ground truth. Validasi dilakukan dengan cross-validation, confusion matrix, dan korelasi multimodal untuk mengevaluasi akurasi dan konsistensi model. **Novelty:** Model ini merupakan pendekatan pertama yang menyandingkan analisis pola vaskular sklera dengan data psikometrik (ANPS) dan neurofisiologis (EEG) dalam kerangka evaluasi emosi dasar manusia menggunakan kecerdasan buatan.—biometrik visual (sklera), psikometrik (ANPS), dan neurofisiologi (EEG)—dengan metode AI untuk mengidentifikasi emosi dasar manusia. Model ini berpotensi merevolusi asesmen emosi non-invasif yang cepat dan aplikatif dalam bidang psikologi, neurologi, dan kesehatan mental. Penggunaan AI dalam membaca pola vaskular sklera membuka peluang pembuatan sistem skrining emosional portable yang terjangkau dan mudah digunakan. Hasil dari penelitian ini diharapkan menjadi dasar pengembangan alat bantu diagnostik untuk deteksi dini stres, kecemasan, dan gangguan afektif lainnya.

Kata Kunci: Sclerology, ANPS, Emosi Dasar, Kecerdasan Buatan, Machine Learning, Diagnostik Emosi Non-invasif.

Abstract. The assessment of basic human emotions is an important aspect of mental health and behavioral evaluation. However, to date, there is no non-invasive, rapid, and widely accessible measurement tool that does not require expensive neuroimaging technology. Sclerology—the science of observing vascular patterns on the sclera—offers a visual approach that can be recorded and analyzed in real time. With the help of artificial intelligence (AI), these patterns can be objectively evaluated and correlated with ANPS (Affective Neuroscience Personality Scales) scores and EEG signals. Scleral vascular patterns have strong potential as non-invasive visual biomarkers for measuring human basic emotional states. This study aims to explore the potential use of scleral patterns as visual biomarkers of human basic emotions by comparing them with ANPS scores and EEG signal results. Dependent variables: activation of the basic emotion system (SEEKING, RAGE, FEAR, CARE, GRIEF, PLAY). Independent variables: scleral vascular patterns (clock zones), ANPS scores, and EEG wave dynamics (delta, theta, beta, gamma). This study employs a narrative review approach and an AI conceptual model design. As it is theoretical in nature, no actual data collection has been conducted. The sclera is proposed to be recorded using a macro camera under controlled lighting, ANPS is used for basic emotion scoring (excluding LUST), and EEG is recorded during emotional stimulation. Sclera images are analyzed using a CNN, while ANPS and EEG serve as ground truth. Validation is performed using cross-validation, confusion matrix, and multimodal correlation to evaluate the accuracy and consistency of the model. Novelty: This model is the first approach to combine scleral vascular pattern analysis with psychometric (ANPS) and neurophysiological (EEG) data within the framework of human basic emotion evaluation using artificial intelligence. —visual biometrics (sclera), psychometric (ANPS), and neurophysiology (EEG)—with AI methods to identify basic human emotions. This model has the potential to revolutionize fast and practical non-invasive emotion assessment in the fields of psychology, neurology, and mental health. The use of AI in analyzing scleral vascular patterns opens the possibility of developing portable, affordable, and user-friendly emotional screening systems. The results of this research are expected to serve as the foundation for the development of diagnostic tools for the early detection of stress, anxiety, and other affective disorders.

Keywords: Sclerology, ANPS, Basic Emotions, Artificial Intelligence, Machine Learning, Non-invasive Emotional Diagnostics.

1. Pendahuluan

Penelitian emosi dasar manusia selama ini banyak difokuskan pada neuroanatomi (misal: sistem limbik) dan neurofisiologi (EEG/fMRI). Jaak Panksepp mengembangkan Affective Neuroscience Personality Scales (ANPS) untuk mengukur sistem emosi primer seperti SEEKING, RAGE, FEAR, CARE, GRIEF, dan PLAY. Emosi LUST meskipun termasuk dalam sistem afektif primer menurut Panksepp, tidak dimasukkan dalam ANPS karena pertimbangan metodologis dan norma sosial. Di sisi lain, sclerology—ilmu yang mempelajari tanda dan pola pada sklera mata—telah digunakan sebagai alat observasi kondisi emosional dan fisiologis oleh praktisi seperti Leonard Mehlmauer dan Jack Tips. Namun, pendekatan ini masih bersifat observasional dan subyektif. Penting untuk menekankan bahwa pola sklera berpotensi dikembangkan menjadi *biomarker* visual yang mencerminkan kondisi afektif dasar secara cepat, murah, dan non-invasif.

Dengan kemajuan teknologi kecerdasan buatan (AI), khususnya *machine learning* dan *deep learning*, terbuka peluang untuk melakukan validasi objektif atas pola sklera sebagai *biomarker* emosional dengan mengaitkannya dengan skor ANPS dan pola gelombang EEG.

2. Metode Penelitian

Validasi dilakukan dengan *cross-validation*, *confusion matrix*, dan korelasi *multimodal* untuk mengevaluasi akurasi dan konsistensi model (Maheshan et al. 2019; Rajan et al. 2021).

Tulisan ini bersifat konseptual dan menggunakan pendekatan *narrative review* serta perancangan model teoritis integratif berbasis kecerdasan buatan. Tujuan utama dari metode ini adalah menyampaikan sebuah ide baru tentang kemungkinan pemanfaatan pola vaskular sklera sebagai *biomarker* visual dalam pengukuran emosi dasar manusia.

Sebagai skenario hipotetik, proses kerja model yang diusulkan dimulai dari desain pengumpulan data *multimodal*, yaitu: pengambilan citra sklera resolusi tinggi menggunakan kamera makro dalam kondisi pencahayaan terkendali; pengisian kuesioner ANPS untuk mendapatkan skor enam domain emosi dasar (tanpa LUST); dan perekaman sinyal EEG menggunakan elektroda standar saat subjek menjalani stimulasi emosi yang dikontrol secara eksperimental.

Citra sklera akan diproses menggunakan teknik segmentasi zona sklera (*clock-mapping*) dan kemudian diekstraksi ciri vaskularnya menggunakan CNN (Convolutional Neural Network), yang dikenal memiliki keunggulan dalam mengenali pola spasial dan tekstur kompleks pada citra resolusi tinggi. CNN unggul dalam mendeteksi fitur halus seperti garis vaskular sklera yang mungkin tidak kasat mata secara manual karena mampu mengenali kedalaman piksel, arah, dan bentuk melalui lapisan konvolusi bertingkat (Rajan et al. 2024). Data ANPS dan EEG digunakan sebagai *label ground truth*. Proses pembelajaran mesin menggunakan pendekatan *supervised learning*, dan validasi dilakukan dengan metode 5-fold *cross-validation* serta evaluasi menggunakan *confusion matrix*, analisis korelasi lintas modalitas, serta metrik evaluatif seperti F1-score dan AUC.

Karena studi ini bersifat pengantar konseptual, pengumpulan data dan implementasi belum dilakukan, dan akan menjadi bagian dari fase penelitian eksperimental selanjutnya. pertama, pengambilan citra sklera dilakukan menggunakan kamera makro beresolusi tinggi dengan pencahayaan LED putih netral dalam lima arah pandang untuk tiap mata guna mengungkap variasi pola vaskular. Kedua, partisipan mengisi kuesioner ANPS versi Indonesia yang telah divalidasi untuk mendapatkan skor masing-masing domain emosi dasar. Ketiga, dilakukan pencatatan aktivitas otak menggunakan EEG 14–

32 channel saat partisipan menerima rangsangan visual dan audio yang dirancang untuk membangkitkan emosi dasar sesuai kategori ANPS.

Data dari sklera kemudian diolah melalui segmentasi berdasarkan zona jam (*clock-mapping*). Gambar dikonversi menjadi *grayscale* sebelum dilakukan ekstraksi fitur menggunakan jaringan saraf konvolusional (CNN) untuk mengenali pola vaskular dan distribusi vena halus. Sementara itu, data EEG menjalani *preprocessing* meliputi pembersihan artefak, *filter bandpass* 1–45 Hz, dan ekstraksi fitur frekuensi menggunakan pendekatan spektral dan entropi. Data ANPS dinormalisasi ke dalam skala digital untuk dimasukkan sebagai *label* klasifikasi.

Pembelajaran mesin dilakukan dengan model *supervised learning* menggunakan CNN untuk fitur sklera dan *Support Vector Machine (SVM)* /Artificial Neural Network (ANN) sebagai model klasifikasi. ANPS dan EEG berperan sebagai *ground truth*. Validasi model dapat dilakukan dengan metode seperti 5-fold *cross-validation*, evaluasi *confusion matrix*, serta penghitungan korelasi Pearson/Spearman antara skor prediksi dan hasil aktual ANPS/EEG. Evaluasi performa model juga menggunakan F1-score, *AUC*, dan *precision-recall* untuk mengukur kualitas klasifikasi *multi-label*.

3. Kerangka Penelitian

Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi potensi pemanfaatan pola sklera sebagai *biomarker* visual emosi dasar manusia dengan membandingkannya terhadap skor ANPS dan hasil sinyal EEG. Variabel dependen: aktivasi sistem emosi dasar (SEEKING, RAGE, FEAR, CARE, GRIEF, PLAY). Variabel independen: pola vaskular sklera (zona jam), skor ANPS, dan dinamika gelombang EEG (delta, theta, beta, gamma).

3.1. Novelty Penelitian

Model ini merupakan pendekatan awal yang mempergunakan biometrik visual (sklera) dalam kerangka analisis berbasis kecerdasan buatan yang dibandingkan basis data psikometrik (ANPS), dan neurofisiologi (EEG). Pendekatan ini memberikan kontribusi baru dalam bidang psikofisiologi dengan menawarkan jalur integratif antara pengamatan vaskular, data kuantitatif psikometrik, dan sinyal bioelektrik sebagai satu sistem prediktif terhadap status emosi dasar.

3.2. Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini dapat memberikan manfaat antara lain: mengubah metode observasi sclerology menjadi sistem berbasis AI yang objektif dan terstandarisasi, menghasilkan alat skrining emosi non-invasif yang portabel, murah, dan efisien, dan memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi diagnosis dini untuk gangguan afektif berbasis *biomarker* visual.

4. Diskusi dan Konsep Pengembangan

Representasi hubungan teoretis antara zona pola sklera (berdasarkan *clock-mapping*), domain emosi dasar versi ANPS, dan indikasi gelombang EEG dominan yang diasosiasikan dalam literatur neuroafektif. Tabel ini juga melibatkan jenis garis sklera seperti garis paralel, garis penghubung, dan pola bifurkasi yang diamati pada pengambilan citra resolusi tinggi (Panksepp 1998; Mehlmauer 2020; Halderman et al. 2020; Ganepola et al. 2024).

Tabel 1. Pemetaan Zona Sklera Berdasarkan Emosi Dasar, Organ Terkait, dan Korelasi Neurofisiologis

Zona Sklera (Jam)	Organ Terkait	Emosi (ANPS)	Ciri Vaskular Sklera (Jenis Garis)	Gelombang EEG Dominan	Lokasi Dominan Otak
Jam 3–4 kanan	Liver (Hepar)	RAGE (Marah)	Garis merah tajam, konvergen, terkadang paralel	Beta tinggi	Lobus frontal kanan
Jam 10–11 kiri	Paru (Pulmo)	GRIEF (Duka)	Garis melengkung pucat, jarang bercabang	Delta/Theta	Lobus temporal dan parietal kiri
Jam 6–7 inferior	Ginjal (Ren)	FEAR (Takut)	Garis penghubung antar segmen, bercabang lembut	Beta/Theta	Lobus limbik dan temporal
Jam 7–8 kiri	Colon	SEEKING (Motivasi)	Garis paralel samar atau tidak teratur	Gamma/Low Alpha	Prefrontal cortex bilateral
Jam 5–6 medial	Jantung/Thymus	CARE (Afeksi)	Garis halus, tidak bercabang, arah sejajar alami	Alpha	Parietal dan occipital
Jam 11–12 atas	Frontalis otak	PLAY (Sosialitas)	Garis radial berpola spiral atau berbentuk lengkung sinergis	Alpha + Gamma	Dorsolateral prefrontal cortex

Tabel ini digunakan sebagai dasar pelabelan supervisi pada sistem AI dalam memetakan pola vaskular sklera dengan skor emosi dasar ANPS dan pola dominan EEG.

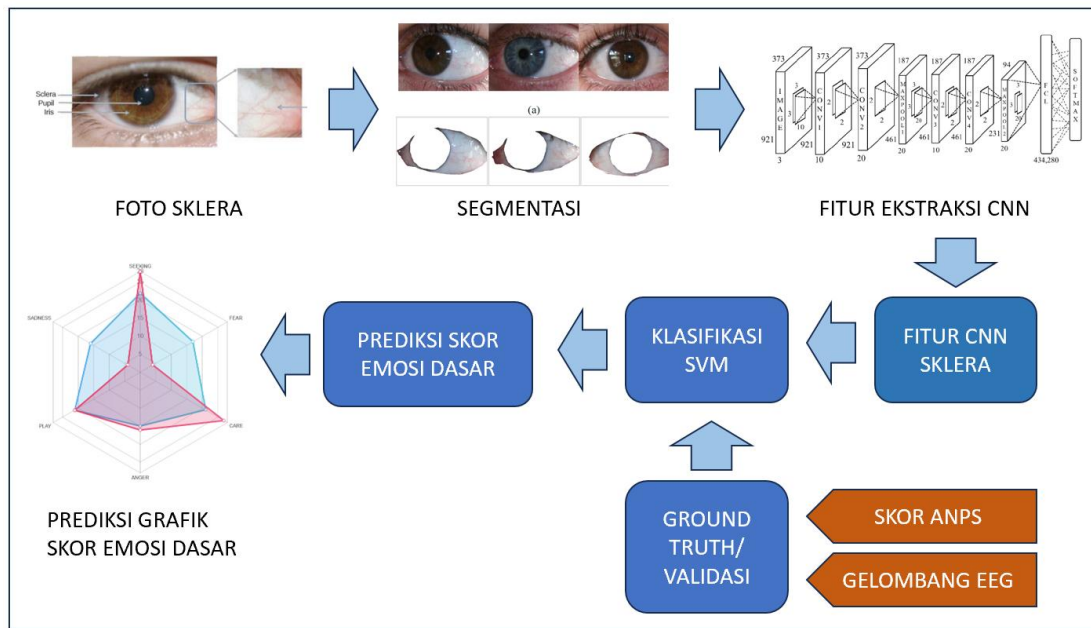
4.1 Arsitektur Sistem Kecerdasan Buatan (AI)

Arsitektur sistem kecerdasan buatan yang diusulkan dalam studi ini dirancang untuk memproses dan mengevaluasi pola vaskular sklera dengan membandingkannya terhadap hasil ANPS dan sinyal EEG. Model ini mengadaptasi kerangka kerja pengenalan iris berbasis CNN (Nguyen et al. 2018), dan dimodifikasi untuk kebutuhan observasi sklera, sejalan dengan pendekatan CNN untuk pengenalan pola sklera yang telah diteliti lebih lanjut (Rajan et al. 2024).

Tahapan dimulai dari segmentasi citra sklera berdasarkan zona waktu (*clock-mapping*), dilanjutkan dengan proses normalisasi spasial agar gambar sklera memiliki dimensi dan orientasi yang seragam. Citra yang telah dinormalisasi kemudian dimasukkan ke dalam *Convolutional Neural Network (CNN)* untuk dilakukan ekstraksi fitur visual seperti pola vaskular, ketebalan garis, dan distribusi bercabang.

Fitur hasil CNN selanjutnya diproses dalam tahap klasifikasi menggunakan model seperti *Support Vector Machine (SVM)* atau *Artificial Neural Network (ANN)* untuk menentukan kemungkinan dominasi emosi dasar yang sedang aktif. Sementara itu, data ANPS dan EEG yang tersedia dari subjek digunakan sebagai *label ground truth* dalam proses *supervised learning*. Akurasi sistem kemudian divalidasi dengan teknik *cross-validation*, penghitungan *confusion matrix*, serta korelasi hasil AI terhadap data ANPS dan EEG sebagai pembanding.

Referensi visual dapat merujuk pada framework Nguyen et al. (2018), dengan penggantian domain iris menjadi sklera.



Gambar 1. Model Prediksi Skor Emosi Dasar Berbasis Citra Sklera Menggunakan CNN dan SVM dengan Validasi Multimodal EEG-ANPS

Diagram dalam Gambar 1 menggambarkan suatu model prediksi skor emosi dasar yang berbasis citra sklera mata, dengan pendekatan berbasis *machine learning* dan integrasi data fisiologis sebagai *ground truth*. Proses diawali dengan pengambilan foto sklera, yaitu bagian putih mata yang mengandung banyak pembuluh darah halus. Foto ini diambil menggunakan kamera makro beresolusi tinggi dalam pencahayaan yang dikontrol, untuk memastikan kualitas gambar yang optimal.

Selanjutnya, citra sklera tersebut diproses melalui tahapan segmentasi, di mana area sklera dipisahkan dari bagian mata lainnya seperti iris dan pupil. Segmentasi ini bertujuan untuk menyoroti area pembuluh darah sklera yang relevan bagi analisis emosi.

Setelah segmentasi, gambar sklera yang telah dibersihkan dianalisis menggunakan CNN (Convolutional Neural Network) untuk melakukan ekstraksi fitur. CNN secara otomatis mengidentifikasi pola-pola pembuluh darah, distribusi warna, atau tekstur yang mungkin memiliki keterkaitan dengan kondisi emosi individu.

Hasil dari proses ekstraksi fitur CNN ini kemudian dijadikan fitur input ke dalam model klasifikasi menggunakan metode SVM (Support Vector Machine) atau alternatifnya *Artificial Neural Network (ANN)*. Tujuannya adalah untuk melakukan prediksi skor emosi dasar, yang mencakup emosi-emosi seperti *SEEKING*, *FEAR*, *CARE*, *ANGER*, *PLAY*, dan *SADNESS*.

Agar hasil prediksi memiliki validitas ilmiah, sistem dilatih dan dievaluasi berdasarkan ground truth yang diperoleh dari dua sumber utama:

1. Skor ANPS (Affective Neuroscience Personality Scales) – sebagai representasi subjektif dari kecenderungan emosi individu.
2. Sinyal EEG (Electroencephalography) – sebagai representasi objektif dari aktivitas otak saat merespons stimulasi emosi.

Kedua sumber ini digunakan dalam proses *supervised learning* untuk melatih model dan juga digunakan dalam proses validasi melalui metode seperti *cross-validation*, *confusion matrix*, dan analisis korelasi multimodal.

Akhir dari sistem ini adalah prediksi skor emosi dasar, yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik radar, memperlihatkan dominansi atau kelemahan masing-masing aspek emosi dasar pada individu tertentu berdasarkan ciri vaskular sklera mereka.

Daftar Pustaka

- [1] Panksepp J. *Affective Neuroscience*. New York: Oxford University Press; 1998.
- [2] Mehlmauer L. *Sclerology: A New View of an Ancient Art*. Grand Medicine Books; 2020.
- [3] Halderman L, Anderson T, Martin J. EEG correlates of ANPS. ETS Research Report Series. 2020.
- [4] Ganepola D, Maduranga MWP, Tilwari V, Karunaratne I. A systematic review of electroencephalography-based emotion recognition of confusion using artificial intelligence. *Signals*. 2024;5(2):244–263.
- [5] Nguyen K, Fookes C, Ross A, Sridharan S. Iris recognition with off-the-shelf CNN features: A *deep learning* perspective. *IEEE Access*. 2018;6:18848–18855.
- [6] He K, Zhang X, Ren S, Sun J. Deep residual learning for image recognition. In: *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*; 2016. p. 770–778.
- [7] Rajan GV, Partheeban N, Vijayalakshmi D. Convolutional Neural Network on the *feature* extraction in sclera recognition. *Afr J Biol Sci*. 2024;6(Si4):3053–3062.
- [8] Maheshan MS, Harish BS, Nagadarshan N. A Convolution Neural Network Engine for Sclera Recognition. *Int J Interact Multimed Artif Intell*. 2019;5(6):52–58. doi:10.9781/ijimai.2019.03.006
- [9] Rajan GV, Vijayalakshmi S, Sabharwal M. Modified CNN based Feature Extraction for Sclera Recognition of Off-Angular Images. *Ann RSCB*. 2021;25(3):2579–2590.