

Ekstraksi Fitur Dan Implementasi Machine Learning Untuk Klasifikasi Jenis Tumor Otak

Monikka Nur Winnarto^{1*}, Mely Mailasari², Annida Purnamawati³

^{1,2,3}Universitas Bina Sarana Informatika

e-mail: ¹monikka.mnt@bsi.ac.id, ²mely.myl@bsi.ac.id, ³annida.npr@bsi.ac.id

Diterima	Direvisi	Disetujui
29-04-2024	02-05-2024	05-06-2024

Abstrak - Tumor otak adalah penyakit mematikan yang bisa menyerang siapa saja. Penyakit ini menempati posisi ke-10 sebagai penyebab kematian pada pria dan wanita. Tumor otak dapat dideteksi melalui pemeriksaan Magnetic Resonance Imaging (MRI). Dengan mengolah gambar yang dihasilkan oleh MRI, metode pendeteksian tumor otak dapat dikembangkan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan tumor, yaitu dengan menggunakan Ekstraksi Fitur dan Pembelajaran Mesin untuk klasifikasi jenis tumor otak. Pada penelitian ini, tahap klasifikasi menjadi tiga langkah yaitu *Pre-processing* berupa tahap untuk mengubah ukuran citra dan ekstraksi fitur untuk mengambil informasi (fitur) dari warna, bentuk dan teksturnya, kemudian melatih data dan pengujian menggunakan metode Machine Learning. Hasil penelitian ini adalah berupa klasifikasi jenis Tumor Otak. Hasil pengujian menggunakan empat metode ekstraksi fitur dan tujuh metode klasifikasi, performa terbaik untuk klasifikasi jenis tumor otak adalah menggunakan Global Feature Exctraction dan klasifikasi Random Forest dengan tingkat akurasi yang baik yaitu sebesar 88%.

Kata Kunci : Ekstraksi Fitur, Machine Learning, Klasifikasi Jenis Tumor Otak

Abstract – *Brain tumor is a deadly disease that can attack anyone. This disease occupies the 10th position as a cause of death in men and women. Brain tumors can be detected through Magnetic Resonance Imaging (MRI) examination. By processing images produced by MRI, brain tumor detection methods can be developed to detect and classify tumors, namely by using Feature Extraction and Machine Learning to classify brain tumor types. In this research, the classification stage is divided into three steps, namely Pre-processing in the form of a stage for changing image size and feature extraction to extract information (features) from color, shape and texture, then training data and testing using Machine Learning methods. The results of this research are in the form of a classification of brain tumor types. The test results used four feature extraction methods and seven classification methods. The best performance for classifying brain tumor types was using Global Feature Extraction and Random Forest classification with a good accuracy level of 88%.*

Keywords: *Feature Extraction, Machine Learning, Classification of Brain Tumor Types*

PENDAHULUAN

Tumor otak adalah penyakit mematikan yang bisa menyerang siapa saja. Penyakit ini berada di peringkat ke-10 sebagai penyebab kematian pada pria dan wanita. Angka kematian akibat tumor otak mencapai 4,25 per 100.000 penduduk per tahun (Suta et al., 2019). Deteksi dini dan klasifikasi jenis tumor otak sangat membantu pasien dalam meningkatkan perawatan, karena penyebaran tumor ke jaringan lain dapat diantisipasi dengan cepat. Dengan perawatan yang tepat, perencanaan, dan diagnosis yang akurat, harapan hidup pasien tumor otak dapat meningkat.

Tumor otak bisa dideteksi melalui pemeriksaan Magnetic Resonance Imaging (MRI). Setelah pemeriksaan, dokter spesialis radiologi akan menganalisis dan menyimpulkan hasil dari citra yang dihasilkan oleh MRI. Salah satu keunggulan MRI adalah kemampuannya untuk mengamati diferensiasi

pada jaringan lunak, seperti "white matter" dan "gray matter", yang dapat terlihat jelas dalam gambar MRI (Febrianti et al., 2020). Dengan memproses citra yang dihasilkan oleh MRI, dapat dikembangkan metode untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan tumor otak.

Pada tahun 2020, Ainani dkk menggunakan 421 citra, dengan 208 citra untuk mengklasifikasikan tipe tumor otak dan 413 citra untuk mengklasifikasikan tumor otak berdasarkan ukuran. Menggunakan ekstraksi fitur tekstur GLCM dan klasifikasi SVM, yang menghasilkan akurasi sebesar 76% (Febrianti et al., 2020).

Fajar, dkk (2019) melakukan ekstraksi fitur untuk klasifikasi citra tumor otak, membedakan antara citra otak normal dan abnormal menggunakan metode naive bayes. Menggunakan 41 citra, menghasilkan 39 dataset dari ekstraksi fitur, dengan 20 data untuk kelas normal dan 19 data untuk kelas abnormal. Hasil

analisis menunjukkan nilai kelas normal sebesar 0,513 dan kelas abnormal sebesar 0,487, dengan akurasi perhitungan mencapai 84,17% (Akbar et al., 2019).

Arti Gujar dan Prof. C. M. Meshram (2018) melakukan klasifikasi gambar untuk mendeteksi kelainan tahap awal menggunakan jaringan saraf dan segmentasi gambar untuk mendeteksi bercak tumor. Pengenalan pola dilakukan dengan jaringan saraf probabilistik yang menggunakan fungsi basis radial, dibantu oleh transformasi curvelet diskrit cepat dan analisis fitur Haralick. Hasil percobaan menunjukkan bahwa sistem ini memberikan akurasi klasifikasi yang lebih baik pada berbagai tahap pengujian sampel dan membutuhkan waktu pemrosesan yang lebih singkat. (Gujar & Meshram, n.d.).

Yousaf, dkk (2020) mengklasifikasikan jenis tumor otak Glioma menjadi derajat tinggi (HGG) dan derajat rendah (LGG) dengan menggunakan ekstraksi ROI serta fitur radiomik tekstur, statistik, dan bentuk. Dengan menggunakan metode KNN, SVM, DT, dan RF, akurasi tertinggi sebesar 76% dicapai menggunakan metode Random Forest (RF) (Yousaf et al., 2020).

Saraswathi Vishlavath dan Deep Gupta (2019) melakukan klasifikasi jenis tumor otak menggunakan dataset yang terdiri dari 3064 gambar T1 dengan kontras yang ditingkatkan dari 233 pasien. Dataset ini mencakup tiga jenis tumor otak: Meningioma (708 gambar), Glioma (1426 gambar), dan Hipofisis (930 gambar). Dengan menggunakan metode RF-PCA, mencapai akurasi validasi sebesar 88,72% dan 85,56% (Saraswathi & Gupta, 2019).

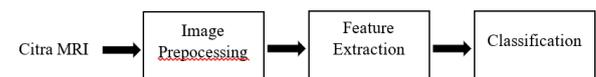
Zhang, dkk (2018) mengklasifikasikan berbagai jenis glioma bermutu tinggi menggunakan T1-weighted MRI dan metode random forest untuk membedakan glioma WHO Grade III dan Grade IV. Mengekstrak fitur diskriminatif berdasarkan tambalan 3D dari 96 gambar MRI pasien yang didiagnosis dengan glioma tingkat tinggi intra-operasi. Hasilnya, memperoleh sensitivitas (SEN) sebesar 75,86%, spesifisitas (SPE) sebesar 34,21%, dan akurasi (ACC) sebesar 59,38% (Zhang et al., 2018).

Penelitian ini menggunakan 3 (tiga) tahapan dalam melakukan klasifikasi jenis tumor otak. Tahapan pertama diawali dengan proses pre-processing, kemudian Ekstraksi Fitur menggunakan empat metode yaitu Histogram Feature Extraction, Hu-Moments Feature Extraction, Haralick Feature Extraction dan Global Feature Extraction yang merupakan gabungan dari ketiga Feature Extraction yang digunakan untuk memperoleh informasi yang terdapat pada citra otak. Hasil ekstraksi feature akan dikenali dan dilakukan klasifikasi dengan metode Machine Learning terbaik dari ketujuh metode yang digunakan yaitu Linear Regression (LR), Linear Discriminant Analysis (LDA), K-Nearest Neighbor (KNN), Decision Tree (CART), Random Forest (RF), Naïve Byes (NB) dan Support Vector Machine

(SVM). Diharapkan bahwa dengan menerapkan metode ekstraksi fitur ini, akan menjadi alat bantu untuk mengklasifikasikan tumor otak ke dalam empat jenis, yaitu Glioma Tumor, Meningioma Tumor, Pituitary Tumor, dan Tanpa Tumor. Dengan menggunakan ekstraksi fitur untuk menggali informasi dari citra dan menerapkan metode klasifikasi dengan Machine Learning, proses klasifikasi tumor otak dapat diimplementasikan dengan menggabungkan kedua pendekatan tersebut, sehingga menghasilkan pengklasifikasi yang lebih unggul.

METODE PENELITIAN

Tahapan pada penelitian ini meliputi tahapan pengambilan dataset berupa citra MRI Brain Tumor. Setelah dilakukan pengambilan dataset tahap berikutnya adalah *Pre-Processing* kemudian *Feature Extraction* menggunakan ekstraksi fitur warna, tekstur dan bentuk. Setelah tahap ekstraksi fitur selesai selanjutnya dilakukan klasifikasi menggunakan algoritma Machine Learning. Tahapan Metode Penelitian seperti gambar 1.



Sumber : Hasil Penelitian (2024)

Gambar 1. Tahapan Metode Penelitian

A. Dataset

Dataset yang digunakan adalah dataset citra MRI Tumor Otak yang diambil dari Kaggle (<https://www.kaggle.com/sartajbhuvaji/brain-tumor-classification-mri>). Dataset ini mengandung data MRI dengan total 1580 citra tumor otak, yang dibagi menjadi folder data training dan folder data testing. Setiap folder memiliki 4 subfolder yang berisi citra jenis tumor otak, yang terdiri dari Glioma Tumor, Meningioma Tumor, Pituitary Tumor, dan Tanpa Tumor. Sample dataset Tumor otak seperti gambar 2.

Nama Kelas	Citra
Glioma Tumor	
Meningioma Tumor	
No Tumor	
Pituitary	

Sumber : Hasil Penelitian (2024)

Gambar 2. Dataset Tumor Otak

B. Pre-Processing

Pada penelitian ini menggunakan dataset sebanyak 1580 citra MRI Tumor Otak. Dataset yang digunakan memiliki tipe warna grayscale dengan dimensi citra yang berbeda-beda, sehingga untuk memudahkan dalam proses selanjutnya semua dimensi citra tumor otak diubah menjadi 500 x 500 piksel. Dari empat kelas jenis tumor otak dibagi menjadi dua jenis data yang meliputi data training dan data testing. Pembagian data training sebesar 90% yaitu 1422 citra dan data pengujian atau testing sebesar 10% yaitu 158 citra dari total keseluruhan data.

C. Feature Extraction

Feature Extraction adalah proses yang menjelaskan informasi dalam suatu pola, sehingga mempermudah klasifikasi pola. Pada proses ekstraksi digunakan untuk mendapatkan karakteristik dalam mengidentifikasi objek atau pola citra (Kusanti & Haris, 2018). Fitur Extraction yang digunakan adalah Fitur Extraction Local yang terdiri dari Histogram Feature Extraction, Hu-Moments Feature Extraction, Haralick Feature Extraction dan Global Feature Extraction yang merupakan gabungan dari ketiga Feature Extraction tersebut.

Feature extraction dengan color histogram melibatkan pengaturan piksel-piksel dalam gambar berdasarkan intensitas warna masing-masing. Distribusi warna pada setiap piksel ditampilkan dalam histogram, yang menggambarkan penyebaran piksel berdasarkan intensitas HSV. Penggunaan histogram sebagai metode ekstraksi fitur didasarkan pada perbedaan distribusi piksel di berbagai gambar. Proses ekstraksi fitur warna dimulai dengan mengubah ruang warna Red Green Blue (RGB) menjadi warna Hue Value Saturation (HSV). Nilai warna Hue Value Saturation (HSV) dari setiap piksel dalam gambar dikelompokkan menjadi 8 kelompok nilai piksel warna (bin). Jumlah piksel dalam setiap kelompok dinormalisasi dengan membaginya dengan hasil perkalian panjang dan lebar gambar (jumlah piksel warna dalam gambar).

Fitur Haralick adalah fitur statistik yang dihitung di seluruh gambar. Pengukuran ini digunakan untuk mendeskripsikan tekstur keseluruhan gambar menggunakan ukuran seperti entropi dan jumlah varians.

Fitur Hu-Moment, atau lebih dikenal sebagai momen invarian Hu, merupakan serangkaian tujuh nilai yang dihitung berdasarkan momen sentral dan tetap tidak berubah dengan transformasi gambar. 6 (enam) mmomen pertama diketahui invarian terhadap translasi, skala, rotasi, dan refleksi. Namun, tanda dari momen ke-7 akan berubah jika gambar direfleksikan.

Pada intinya, momen citra didefinisikan sebagai rata-rata tertimbang dari intensitas piksel dalam citra. Momen citra M_{ij} untuk citra $I(x, y)$ dinyatakan

sebagai jumlah dari intensitas piksel, yang dirumuskan sebagai:

$$M_{ij} = \sum_i \sum_j I(x, y) \quad (1)$$

Pertama, dilakukan penjumlahan intensitas piksel dengan bobot yang ditentukan oleh intensitas masing-masing piksel, independen dari posisi mereka dalam gambar. Dalam citra biner, momen diartikan sebagai jumlah piksel putih atau luas area putih dalam citra. Meskipun dua bentuk memiliki momen yang sama, namun hal ini tidak menjamin kesamaan bentuk. Oleh karena itu, diperlukan pencarian momen yang stabil. Momen sentral, yang tidak berubah dari skala, translasi, dan rotasi, mirip dengan momen citra asli. Hal ini cukup untuk persyaratan pencocokan bentuk yang memiliki kesamaan sebagai berikut:

$$\mu_{ij} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^i (y - \bar{y})^j I(x, y) \quad (2)$$

Fitur momen Hu sering digunakan sebagai deskripsi fitur citra. Setelah memperoleh momen asli dan momen sentral dari posisi dan ukuran objek dalam citra, fitur momen Hu dihitung untuk mengevaluasi perubahan koordinat citra. Dengan menerapkan teori invarian momen wilayah, tujuh fitur momen yang invarian terhadap translasi, rotasi, dan skala dikembangkan, yang dapat menggambarkan bentuk wilayah ruang.

Berikut adalah persamaan untuk tujuh momen:

$$\begin{aligned} h_0 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ h_1 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ h_2 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ h_3 &= (\eta_{30} - \eta_{12})^2 + (\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ h_4 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (3\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ h_5 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] - 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ h_6 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + (\eta_{30} + 3\eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) [3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \end{aligned} \quad (3)$$

D. Random Forest

Random forest (RF) adalah algoritma yang digunakan untuk mengklasifikasikan data dalam jumlah besar. Proses klasifikasi menggunakan random forest melibatkan penggabungan pohon (tree) yang telah dilatih pada sampel data yang tersedia. Penggunaan lebih banyak pohon (tree) cenderung meningkatkan akurasi klasifikasi. Klasifikasi dengan random forest didasarkan pada hasil voting dari tree yang terbentuk, di mana klasifikasi akhir diambil

berdasarkan mayoritas suara dari semua tree yang terlibat. dalam random forest dilanjutkan hingga mencapai dimensi maksimum dari pohon data tersebut. Metode Random forest (RF) adalah salah satu metode klasifikasi yang akurat digunakan dalam melakukan prediksi, bisa menangani inputan variabel yang sangat besar jumlahnya tanpa overfitting, dan membantu menghilangkan korelasi antara pohon keputusan seperti karakteristik ensemble methods (Nuklianggraita et al., 2020). Algoritma Random Forest memiliki beberapa keunggulan, termasuk kemampuan untuk menghasilkan kesalahan yang relatif kecil, kinerja klasifikasi yang sangat baik, kemampuan untuk menangani data pelatihan dalam jumlah besar secara efisien (Primajaya & Sari, 2018).

Random Forest (RF) adalah metode yang dapat meningkatkan akurasi hasilnya dengan menghasilkan simpul anak untuk setiap node secara acak. Metode ini digunakan untuk membangun pohon keputusan yang terdiri dari root node, internal node, dan leaf node dengan memilih atribut dan data secara acak berdasarkan aturan yang telah ditetapkan. Root node merupakan simpul teratas atau akar dari pohon keputusan. Internal node adalah simpul yang bercabang, di mana setiap node memiliki minimal dua output dan satu input. Sedangkan leaf node atau terminal node adalah simpul terakhir yang hanya memiliki satu input dan tidak memiliki output. Pembentukan pohon keputusan dimulai dengan menghitung nilai entropy untuk menentukan tingkat ketidakmurnian atribut dan menghitung nilai information gain.

Untuk menghitung nilai entropy digunakan rumus sebagai berikut:

$$Entropy(Y) = -\sum_i p(c|Y) \log_2 p(c|Y)$$

Untuk menghitung information gain digunakan rumus sebagai berikut:

Information Gain (Y, a)

$$= Entropy(Y) - \sum_{ve\ values(a)} \frac{|Y_v|}{|Y_a|} Entropy(Y_v)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metode penelitian yang telah diuraikan, terdapat empat tahap dalam mengklasifikasikan tumor otak yaitu pengumpulan dataset, pre-processing, feature xtraction dan klasifikasi. Dataset tumor otak yang digunakan sejumlah 1580 citra dari keseluruhan dataset tumor otak yang diperoleh dari Kaggle yang telah dipecah ke dalam empat kelas yaitu Giloma Tumor, Meningioma Tumor, Pituitary Tumor dan Tanpa Tumor. Dataset yang digunakan memiliki tipe warna Grayscale dengan dimensi citra yang berbeda-beda. Untuk memudahkan proses klasifikasi selanjutnya dilakukan Pre-processing dengan menyamakan semua dimensi citra tumor otak menjadi 500 x 500 piksel. Kemudian data dibagi menjadi dua jenis, yaitu data training dan data testing. Pembagian data untuk

proses training sebesar 90% yaitu 1422 citra dan data untuk proses pengujian atau testing sebesar 10% yaitu 158 citra.

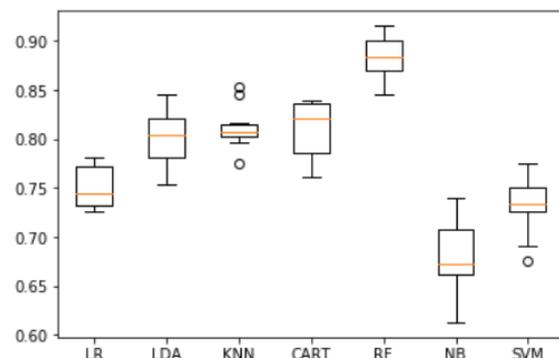
Sebelum dilakukan proses klasifikasi untuk mengetahui fitur yang paling tepat digunakan agar menghasilkan performa terbaik maka dilakukan eksperimen dengan menggunakan empat metode feature extraction yaitu Histogram-Color Feature Extraction, Hu-Moment Feature Extraction, Haralick Feature Exctraction dan Global Feature Extraction yang merupakan gabungan dari ketiga feature extraction tersebut. Pada percobaan Histogram Color feature extraction dimensi citra diubah menjadi satu dimensi dengan ukuran 512 piksel, pada percobaan menggunakan Hu-moment feature extraction dimensi citra diubah menjadi satu dimensi dengan ukuran 7 piksel, pada Haralick feature extraction dimensi citra diubah menjadi satu dimensi dengan ukuran 13 piksel dan pada percobaan menggunakan Global Ekstraksi Feature untuk dimensi citra diubah ke dalam satu dimensi dengan ukuran 532 piksel.

Sebelum memutuskan metode klasifikasi terbaik yang digunakan untuk klasifikasi tumor otak, tahapan klasifikasi dilakukan dengan menguji beberapa metode klasifikasi yaitu Linear Regression (LR), Linear Discriminant Analysis (LDA), K-Nearest Neighbor (KNN), Decision Tree (CART), Random Forest (RF), Naïve Byes (NB) dan Support Verctor Machine (SVM). Tabel 1 dan Gambar 3 menunjukkan hasil perbandingan akurasi dari ke tujuh metode klasifikasi dengan menunggakan Global Feature Exctraction.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Akurasi Metode Klasifikasi

Metode	Akurasi
LR	74%
LDA	80%
KNN	81%
CART	81%
RF	88%
NB	67%
SVM	73%

Sumber: Hasil Penelitian (2024)



Sumber: Hasil Penelitian (2024)

Gambar 3. Subplot Perbandingan Hasil Akurasi Metode Klasifikasi

Dari hasil tersebut metode LR menghasilkan akurasi sebesar 74%, LDA sebesar 80%, KNN sebesar 81%, CART sebesar 81%, NB sebesar 67%, SVM sebesar 73% dan Random Forest memiliki performa tertinggi untuk klasifikasi tumor otak dengan akurasi sebesar 88%.

Setelah diketahui bahwa metode Random Forest menghasilkan akurasi tertinggi menggunakan Global Feature Extraction maka selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan tiga Feature Extraction lainnya yaitu Histogram-Color Feature Extraction, Hu-Moment Feature Extraction, Haralick Feature Extraction untuk mengetahui metode feature extraction terbaik dalam klasifikasi jenis tumor otak menggunakan metode Random Forest. Tabel III.2 menyajikan hasil perbandingan akurasi menggunakan 4 feature extraction dengan metode klasifikasi Random Forest.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Akurasi Menggunakan Feature Extraction dengan Metode Random Forest

Metode	Accuracy
Histogram Color Feature Extraction	81%
Hu-Moments Fature Extraction	68%
Haralick Feature Extraction	86%
Global Feature Extraction	88%

Sumber : Hasil Penelitian (2024)

Dari hasil pada Tabel 2, klasifikasi jenis tumor otak menggunakan metode Random Forest dengan feature extraction Histogram Color menghasilkan akurasi sebesar 81%, dengan feature extraction Hu-Moments sebesar 68%, dengan Haralick feature extraction sebesar 86% dan dengan Global feature extraction sebesar 88%. Sehingga berdasarkan penjelasan sebelumnya untuk Performa terbaik dalam melakukan klasifikasi jenis tumor otak adalah menggunakan Global Feature Extraction dengan metode klasifikasi Random Forest yang menghasilkan akurasi sebesar 88%. Tabel 3 merupakan hasil confusion matrik dari klasifikasi jenis tumor otak menggunakan algoritma Random Forest dengan Global Feature Extraction.

Tabel 3. Confusion Matrix

	Glioma Tumor	Meningioma Tumor	No Tumor	Pituitary Tumor
Glioma Tumor	100	16	0	3
Meningioma Tumor	4	101	6	7
No Tumor	4	7	90	6
Pituitary Tumor	8	1	0	117

Sumber: Hasil Penelitian (2024)

Berdasarkan hasil confusion matrik menunjukkan bahwa jenis tumor otak dapat dikenali dengan baik

meskipun terdapat beberapa kesalahan pengenalan dari masing-masing jenis tumor otak. Dari beberapa hasil yang telah dijabarkan, bahwa Global Ekstraksi Feature dan Klasifikasi Random Forest untuk Klasifikasi jenis tumor otak merupakan performa terbaik dengan akurasi sebesar 88% dimana metode ini dapat mengklasifikasikan jenis tumor otak dengan baik.

KESIMPULAN

Hasil penelitian pada klasifikasi jenis Tumor Otak menggunakan 7 (Tujuh) metode Machine Learning dan 4 (Empat) metode Ekstraksi Feature menunjukkan bahwa akurasi tertinggi diperoleh dengan menggunakan Global Feature Extraction dengan metode Klasifikasi Random Forest yang menghasilkan akurasi sebesar 88%. Metode yang digunakan dapat mengklasifikasikan jenis tumor otak dengan baik dan tepat berdasarkan beberapa sampel yang diuji.

REFERENSI

- Akbar, F., Rais, A. N., Sobari, I. A., Zuama, R. A., & Rudiarto, B. (2019). Analisis Performa Algoritma Naive Bayes Pada Deteksi Otomatis Citra Mri. *JITK (Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Komputer)*, 5(1), 37–42. <https://doi.org/10.33480/jitk.v5i1.586>
- Febrianti, A. S., Sardjono, T. A., & Babgei, A. F. (2020). Klasifikasi Tumor Otak pada Citra Magnetic Resonance Image dengan Menggunakan Metode Support Vector Machine. *Jurnal Teknik ITS*, 9(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i1.51587>
- Gujar, A., & Meshram, P. C. M. (n.d.). *Brain Tumor Extraction using Genetic Algorithm*. 33–39.
- Kusanti, J., & Haris, N. A. (2018). Klasifikasi Penyakit Daun Padi Berdasarkan Hasil Ekstraksi Fitur GLCM Interval 4 Sudut. *Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT*, 3(1), 1–6. <https://doi.org/10.30591/jpit.v3i1.669>
- Nuklianggraita, T. N., Adiwijaya, A., & Aditsania, A. (2020). On the Feature Selection of Microarray Data for Cancer Detection based on Random Forest Classifier. *Jurnal Infotel*, 12(3), 89–96. <https://doi.org/10.20895/infotel.v12i3.485>
- Primajaya, A., & Sari, B. N. (2018). Random Forest Algorithm for Prediction of Precipitation. *Indonesian Journal of Artificial Intelligence and Data Mining*, 1(1), 27. <https://doi.org/10.24014/ijaidm.v1i1.4903>
- Saraswathi, V., & Gupta, D. (2019). Classification of Brain Tumor using PCA-RF in MR Neurological Images. *2019 11th International Conference on Communication Systems and Networks, COMSNETS 2019, 2061*, 440–443. <https://doi.org/10.1109/COMSNETS.2019.871>

- 1010
- Suta, I. B. L. M., Hartati, R. S., & Divayana, Y. (2019). Diagnosa Tumor Otak Berdasarkan Citra MRI (Magnetic Resonance Imaging). *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 18(2). <https://doi.org/10.24843/mite.2019.v18i02.p01>
- Yousaf, S., Anwar, S. M., RaviPrakash, H., & Bagci, U. (2020). *Brain Tumor Survival Prediction using Radiomics Features*. 1–9. <http://arxiv.org/abs/2009.02903>
- Zhang, L., Zhang, H., Rekik, I., Gao, Y., Wang, Q., & Shen, D. (2018). Malignant brain tumor classification using the random forest method. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics): Vol. 11004 LNCS*. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97785-0_2