

Klasifikasi Tumor Otak Menggunakan Ekstraksi Fitur HOG dan Support Vector Machine

Tika Adilah M¹, Qudsiah Nur Azizah²

¹Teknologi Informasi, Universitas Bina Sarana Informatika

²Sistem Informasi, Universitas Bina Sarana Informatika

e-mail: ¹tika.tam@bsi.ac.id, ²qudsiah.qna@bsi.ac.id

Diterima	Direvisi	Disetujui
27-04-2022	10-05-2022	14-06-2022

Abstrak - Tumor Otak merupakan penyakit yang mematikan dan dapat menyerang siapa saja. Tumor otak menempati urutan ke-10 sebagai penyebab kematian baik pada pria maupun wanita. Tumor pada otak dapat dideteksi melalui pemeriksaan Magnetic Resonance Imaging (MRI). Dengan mengolah citra yang dihasilkan oleh alat MRI dapat dikembangkan metode pendeteksian tumor otak yang mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan jenis tumor tersebut. Deteksi dini dan otomatis ini akan sangat membantu dokter dan juga pasien yang terkena tumor otak yaitu dalam peningkatan perawatan. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mendeteksi jenis Tumor otak dengan menggunakan ekstraksi fitur Histogram of Oriented Gradient (HOG) dan Support Vector Machine (SVM). Dalam penelitian ini, proses klasifikasi dilakukan dalam tiga langkah, Pre-processing yang mengubah ukuran citra, ekstraksi fitur yang mengambil informasi (fitur), kemudian diikuti dengan melatih data dan dilakukan pengujian pada SVM. Hasil dari penelitian ini adalah untuk mengklasifikasikan jenis Tumor Otak. Dari hasil pengujian klasifikasi dengan SVM, didapatkan tingkat akurasi yang cukup baik sebesar yaitu 91%.

Kata Kunci: Tumor Otak, Ekstraksi Fitur, HOG, SVM.

Abstract - Brain tumor is a deadly disease and can affect anyone. Brain tumors are the 10th leading cause of death in both men and women. Tumors in the brain can be detected through Magnetic Resonance Imaging (MRI). By processing the image generated by the MRI tool, a brain tumor detection method can be developed that is able to detect and classify the type of tumor. This early and automatic detection will greatly assist doctors and patients with brain tumors in improving treatment. The main purpose of this study is to detect the type of brain tumor using the Histogram of Oriented Gradient (HOG) and Support Vector Machine (SVM) feature extraction. In this study, the classification process is carried out in three steps, Pre-processing which changes the image size, feature extraction which retrieves information (features), then followed by training the data and testing on SVM. The result of this study is to classify the types of Brain Tumors. From the results of the classification test with SVM, obtained a fairly good level of accuracy of 91%.

Keywords: Brain Tumor, Feature Extraction, HOG, SVM.

PENDAHULUAN

Tumor Otak merupakan penyakit yang mematikan dan dapat menyerang siapa saja. Tumor otak menempati urutan ke-10 sebagai penyebab kematian baik pada pria maupun wanita. Angka mortalitas (jumlah kematian) akibat tumor otak adalah 4,25 per 100.000 penduduk per tahun (Suta, Hartati, & Divayana, 2019). Dengan mendeteksi dini tumor otak dan mengklasifikasikan jenis tumor otak akan sangat membantu bagi pasien yang terkena tumor otak yaitu dalam peningkatan perawatan, karena sifat tumor dapat menyebar dan menyerang ke jaringan lain dapat diantisipasi dengan cepat. Dengan perawatan yang tepat, perencanaan, dan diagnosa

yang akurat akan dapat meningkatkan harapan hidup pasien tumor otak (Wang, Yang, Chen, & Wang, 2017).

Tumor pada otak dapat dideteksi melalui pemeriksaan Magnetic Resonance Imaging (MRI). Setelah pasien menjalani proses pemeriksaan, dokter spesialis radiologi akan menganalisis dan mengambil kesimpulan dari citra yang dihasilkan oleh alat medis tersebut (Zhang et al., 2018). Dengan mengolah citra yang dihasilkan oleh alat MRI dapat dikembangkan metode pendeteksian tumor otak yang mampu mendeteksi dan mengklasifikasikan tumor tersebut (Febrianti, Sardjono, & Babgei, 2020). Penelitian mengenai klasifikasi tumor otak telah banyak dilakukan. Dalam penelitian (Febrianti et al.,

2020) pada tahun 2020 melakukan penelitian Menggunakan 421 citra dengan pembagian 208 citra untuk mengklasifikasikan berdasarkan tipe tumor otak dan 213 untuk mengklasifikasikan tumor otak berdasarkan ukuran tumor menggunakan ekstraksi fitur GLCM dan klasifikasi SVM menghasilkan akurasi sebesar 76%.

Dalam (Akbar, Rais, Sobari, Zuama, & Rudiarto, 2019) pada tahun 2019 melakukan penelitian yang bertujuan untuk proses klasifikasi citra tumor otak, antara citra otak normal dengan abnormal dengan menggunakan metode Naive Bayes. Didapatkan 39 citra hasil ekstraksi fitur dengan 2 class, normal sebanyak 20 data dan abnormal 19 data. Hasil akurasi penghitungan sebesar 84.17%. Pada (Latha, Sreekanth, Akash, Dinesh, & Kumar, 2020) melakukan penelitian menggunakan metode KNN dan SVM untuk mengklasifikasikan MRI otak normal dengan terkena tumor. Dataset yang digunakan sebanyak 3064 citra dimana 708 meningioma, 1426 glioma dan 930 Pituitary. Pada metode KNN menghasilkan akurasi sebesar 85.2% sedangkan pada metode SVM menghasilkan akurasi 90.75%.

Pada penelitian (Astuti, 2019) melakukan klasifikasi tumor otak menggunakan metode Data Wavelet Transform (DWT) untuk ekstraksi fitur dan untuk klasifikasi menggunakan metode adaptive neighborhood neural network, dengan jumlah dataset sebanyak 32 yang terdiri dari 24 citra abnormal dan 8 citra normal. Menghasilkan akurasi sebesar 87.5% dalam (Saraswathi & Gupta, 2019) mengklasifikasikan jenis tumor otak menggunakan Dataset tumor otak sejumlah 3064 Gambar TI dengan kontras yang ditingkatkan dari 233 pasien dengan tiga jenis tumor otak dimana Meningioma (708), Glioma (1426) dan Pituitary (930) menggunakan RF-PCA memperoleh akurasi validasi sebesar 88.72% dan 85.56%.

Pada penelitian ini, digunakan tiga tahapan yang akan membantu proses mengklasifikasi tumor otak. Tahapan pertama yaitu pre-processing, kemudian dilanjutkan dengan ekstraksi fitur citra MRI dengan menggunakan HOG sebagai proses untuk mengambil informasi pada citra otak. Hasil ekstraksi fitur akan dikenali dan diklasifikasikan dengan metode SVM. Dengan menggunakan metode dari ekstraksi fitur ini diharapkan dapat menjadi alat bantu untuk mengklasifikasikan tumor otak ke dalam empat jenis yaitu Glioma Tumor, Meningioma Tumor, Pituitary Tumor dan Tanpa Tumor. Dengan menerapkan ekstraksi fitur yang dapat mengambil informasi dari citra serta dengan metode klasifikasi SVM maka sistem deteksi tumor otak dapat diimplementasikan dengan menggunakan gabungan dua metode tersebut untuk menghasilkan pengklasifikasi yang lebih baik.

Makalah ini disusun sebagai berikut. Penelitian terkait akan dibahas pada "Tinjauan Literatur". Metode yang diusulkan dijelaskan di bagian "Metode Penelitian" secara lebih rinci.

Kemudian hasil eksperimen dibahas dan dianalisis di bagian "Hasil dan Pembahasan". Terakhir, kesimpulan makalah ini disajikan pada bagian "Kesimpulan".

TINJAUAN LITERATUR

1. Tumor Otak

Tumor otak adalah pertumbuhan sel otak yang abnormal di dalam atau disekitar otak secara tidak wajar dan tidak terkendali. Tumor otak dibagi menjadi dua yaitu tumor otak primer dan sekunder. Tumor otak primer merupakan pertumbuhan sel yang tidak normal dan tidak terkontrol yang berasal dari sel otak itu sendiri. Terdapat beberapa jenis tumor otak primer, yaitu Glioma, Meningioma, Medulloblastoma. Sedangkan tumor otak sekunder merupakan tumor yang menyebar ke otak dari kanker tubuh bagian yang lain (Yohannes, Sari, & Feristyani, 2019).

2. Pre-processing

Pengolahan citra digital merupakan suatu bentuk pemrosesan atau pengolahan sinyal dengan masukan beberapa citra (image) dan ditransformasikan menjadi citra lain sebagai keluarannya dengan menggunakan Teknik-teknik tertentu. Input dari pengolahan citra adalah citra, sedangkan outputnya adalah citra hasil pengolahan (Febrianti et al., 2020).

3. Ekstraksi Fitur

Ekstraksi Fitur menjelaskan informasi yang terkandung dalam suatu pola sehingga tugas mengklasifikasikan pola menjadi mudah. Ekstraksi fitur yang digunakan adalah Histogram Of Oriented Gradient (HOG). HOG merupakan bentuk dari lokal objek dan dinilai yang digunakan dari intenditas gradien untuk mengekstraksi fitur yang digunakan pada computer vision dan image processing. HOG memiliki keunggulan, yaitu mampu menangkap tepi atau struktur gradien yang sangat karakteristik dari bentuk sederhana (Yohannes et al., 2019).

4. Support Vector Machine (SVM)

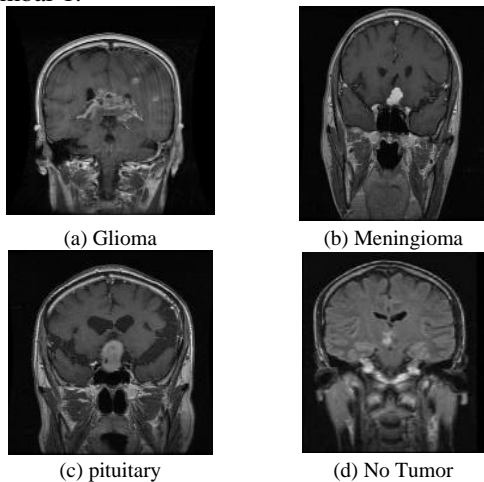
SVM pertama kali diperkenalkan oleh Vapnik pada tahun 1992 sebagai rangkaian harmonis konsep-konsep unggulan dalam bidang pattern recognition. SVM adalah metode machine learning yang bekerja atas prinsip Structural Risk Minimization (SRM) dengan tujuan menemukan hyperplane terbaik yang memisahkan dua buah kelas pada input space (Andrian, Purwanto, & Mardiyanto, 2017). Konsep SVM dapat dijelaskan secara sederhana sebagai usaha mencari hyperplane terbaik yang berfungsi sebagai pemisah dua buah kelas pada input space. Pattern yang merupakan anggota dari dua buah kelas: +1 dan -1 dan berbagi alternatif garis pemisah (discrimination boundaries). Margin adalah jarak antara hyperplane tersebut dengan pattern terdekat

dari masing-masing kelas. Pattern yang paling dekat ini disebut sebagai support vector. Usaha untuk mencari lokasi hyperplane ini merupakan inti dari proses pembelajaran pada SVM (Wahid, Anggraeny, & Nugroho, 2020).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengklasifikasi tumor otak berdasarkan ekstraksi ciri. Tumor otak diidentifikasi menjadi 3 kelas Glioma Tumor, Meningioma Tumor, Pituitary Tumor.

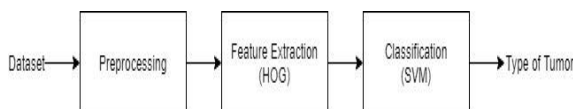
Contoh jenis tumor otak dapat dilihat pada Gambar 1.



Sumber: Kaggle (2020)

Gambar 1. Gambar original tumor otak: (a) Glioma Tumor (b) Meningioma Tumor, (c) Pituitary Tumor dan (d) No Tumor.

Langkah awal penelitian ini dimulai dengan menginputkan sebuah citra, kemudian citra akan masuk ke proses *preprocessing* yaitu citra pertama – tama diubah menjadi *grayscale* dan membentuk matriks, lalu citra tersebut diekstraksi menggunakan metode *Histogram of Oriented Gradients* (HOG) yaitu dengan menghitung nilai gradien setiap piksel. Hasil dari proses ekstraksi fitur, citra diklasifikasikan dengan menggunakan metode SVM. Hasil dari pengklasifikasiannya akan menghasilkan bahwa apakah citra yang diinputkan termasuk tumor otak atau bukan.



Sumber: Penelitian (2022)

Gambar 2. Metode Penelitian

1. Dataset

Dataset mengenai Brain Tumor diperoleh dari Kaggle (<https://www.kaggle.com/sartajbhuvaji/brain-tumor>

[classification-mri](#)). Dataset *Brain Tumor* berisi data MRI yang terdiri dari 3064 File gambar tumor otak yang telah dipecah menjadi folder data training dan folder data testing. Setiap folder memiliki 4 sub folder yang terdiri dari citra jenis brain tumor diantaranya Glioma Tumor, Meningioma Tumor, Pituitary Tumor dan Tanpa Tumor.

2. Histogram of Oriented Gradients (HOG)

Dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa metode HOG cocok dijadikan *deskriptor* untuk pencarian gambar berbasis sketsa. Metode HOG banyak digunakan pada *computer vision*. HOG adalah *deskriptor* berbasis *window* yang mendeteksi pada titik *interest*. Metode ini menghitung nilai gradien dalam daerah tertentu pada suatu citra. Setiap citra memiliki karakteristik yang ditunjukkan oleh distribusi gradien yang diperoleh dengan membagi citra ke dalam daerah kecil yang disebut *cell*. Tiap *cell* disusun dari sebuah *histogram* dari sebuah gradien. Kombinasi dari *histogram* ini dijadikan sebagai deskriptor yang mewakili sebuah obyek. Gambar 3 menunjukkan hasil ekstraksi fitur menggunakan HOG.



Sumber: Penelitian (2020)

Gambar 3. Hasil ekstraksi fitur menggunakan HOG

Tahap awal dari metode HOG adalah menghitung nilai gradien citra dihitung menggunakan.

$$|G| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2}$$

Dimana I adalah citra *graylevel*. I_x merupakan matrik terhadap sumbu-x dan I_y merupakan matrik terhadap sumbu-y. I_x dan I_y dapat dihitung dengan

$$I_x = I * D_x, I_y = I * D_y$$

D_x adalah *mask* $[-1 \ 0 \ 1]$, sedangkan D_y adalah *mask* $[-1][0][1]$

masing-masing dihitung dengan cara konvolusi. Kemudian gradien ditransformasi ke dalam kordinat sumbu dengan sudut diantara 0° sampai 180° yang disebut orientasi gradien. Orientasi gradien (\emptyset) dapat dihitung dengan

$$\emptyset = \arctan \frac{I_x}{I_y}$$

Tahap selanjutnya adalah melakukan perhitungan *histogram* dari orientasi gradien tiap *cell*. Setiap piksel dalam sebuah *cell* mempunyai nilai *histogram* sendiri-sendiri berdasarkan nilai yang dihasilkan dalam perhitungan gradien yang kemudian dilakukan normalisasi pada setiap blok. *Cell* memiliki ukuran 8x8 piksel pada sebuah citra. Sedangkan blok memiliki ukuran 2x2 *cell*.

Nilai normalisasi fitur blok didapat dari rumus dibawah ini. Fitur blok dinormalisasi untuk mengurangi efek perubahan kecerahan obyek pada satu blok. Variabel *b* merupakan nilai blok fitur dan variabel *e* merupakan bilangan positif yang bernilai kecil untuk mencegah pembagian dengan 0.

$$b = \frac{b}{\sqrt{b^2 + e}}$$

Nilai normalisasi tiap blok digabungkan menjadi satu vektor menjadi fitur vektor HOG. Kemudian fitur vektor HOG dilakukan normalisasi. Normalisasi dilakukan melalui rumus dibawah ini. Variabel *h* merupakan nilai fitur HOG dan variabel *e* merupakan bilangan positif yang bernilai kecil untuk mencegah pembagian dengan 0 (Randa, et al., 2016).

$$h = \frac{h}{\sqrt{||h||^2 + e}}$$

3. Support Vector Machine

Konsep SVM dapat dijelaskan secara sederhana sebagai usaha mencari *hyperplane* terbaik yang berfungsi sebagai pemisah dua buah kelas pada *input space*. SVM berbeda dengan *neural network* yang berusaha mencari *hyperplane* pemisah antar kelas. *Hyperplane* merupakan suatu pemisah dari 2 kelas data yang berbeda, pada 1 dimensi *hyperplane* disebut titik, pada 2 dimensi disebut garis, pada 3 dimensi disebut bidang, dan untuk dimensi yang lebih tinggi hanya disebut *hyperplane* saja. Prinsip dasar SVM adalah pengklasifikasi linier, dan selanjutnya dikembangkan agar dapat bekerja pada permasalahan nonlinier.

Klasifikasi data untuk menentukan kelas bergantung terhadap posisi data tersebut dari *hyperplane*. Proses pelatihan dan klasifikasi menggunakan model SVM dilakukan dengan *inner product* antara dua vektor data (*x*) menggunakan satu fungsi *kernel K*. *Linier* dan *radial basis function* (RBF) merupakan fungsi *kernel* yang digunakan pada Penelitian ini. Kedua fungsi *kernel* tersebut dapat dituliskan sebagai berikut [6]:

a. Kernel Linier

$$K(x_i, x_j) = x_i^T \cdot x_j$$

b. Kernel RBF

$$K(x_i, x_j) = \exp(-\gamma ||x_i - x_j||^2)$$

Klasifikasi dilakukan menggunakan salah satu fungsi *kernel* pada fungsi pengambilan keputusan. Proses klasifikasi membutuhkan data berupa vektor penyangga (*x_i*), kelas vektor penyangga (*y_i*), dan pengali lagrangian (*a_i*) hasil dari proses pelatihan. Fungsi pengambilan keputusan untuk mengetahui kelas suatu data adalah sebagai berikut [6]:

$$f(x_d) = \text{sgn} \sum_{i=1}^n a_i y_i K(x_i, x_d) + b$$

$$0 \leq a_i \leq C$$

Dengan *a_i* merupakan pengali lagrangian dengan nilai yang dibatasi oleh parameter *C*, yaitu *trade-off* antara margin pada *hyperplane* dengan kesalahan klasifikasi. Semakin besar nilai *C* maka akan meningkatkan tingkat kesalahan saat klasifikasi. Sebaliknya semakin kecil nilai *C* akan menurunkan tingkat kesalahan saat klasifikasi. Jika fungsi pengambilan keputusan menghasilkan nilai >0, maka data yang diujikan berada pada kelas 1. Jika fungsi pengambilan keputusan menghasilkan nilai <0, maka data yang diujikan berada pada kelas 2. Nilai parameter *C* atau *γ* pada fungsi *kernel* dapat dicari menggunakan metode validasi silang *grid search*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan beberapa jenis pengujian untuk mengetahui hasil dari metode yang digunakan. Pengujian pertama dilakukan dengan ekstraksi fitur grayscale. Berdasarkan hasil pengujian tersebut diketahui bahwa SVM dengan kernel Linear memiliki nilai akurasi lebih baik di dalam pengujian dengan nilai akurasi 81%.

Perbandingan hasil pengujian performa dari metode SVM dengan kernel RBF dan Linear pada fitur grayscale dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Performa SVM dengan Kernel RBF dan Linear

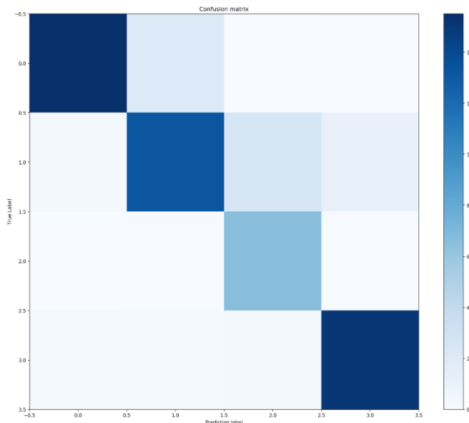
Metode	Akurasi
SVM kernel RBF	0.6463414634146342
SVM kernel linear	0.8153310104529616

Sumber: penelitian (2022)

Pengujian kedua dilakukan dengan ekstraksi fitur HOG pada algoritma SVM dengan kernel RBF

dan linear. Fitur HOG diekstraksi dari gambar pelatihan dengan pixel 256 x 256. Pertama-tama pada tahap training, dilakukan ekstraksi fitur menggunakan HOG dari gambar training. kemudian hasilnya akan digunakan untuk membuat prediksi menggunakan classifier. Fitur HOG yang diekstrak ini digunakan untuk melatih pengklasifikasi. Hasilnya dievaluasi menggunakan gambar set pengujian, dan untuk mengukur keakuratan pengklasifikasi digunakan confusion matriks. Ukuran sel yang digunakan untuk fitur HOG adalah [14 14]. Dan kemudian fitur ini diberikan ke SVM multikelas untuk ditraining. Terakhir, pengujian dilakukan pada gambar di set pengujian.

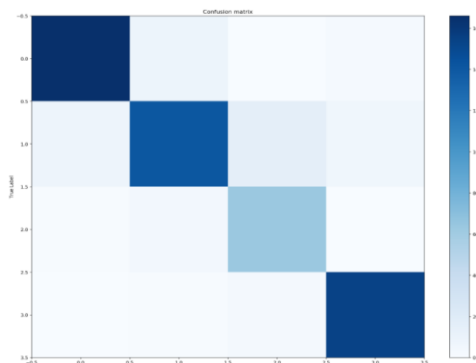
Hasil pengujian dengan menggunakan ekstraksi fitur HOG pada algoritma SVM dengan kernel RBF mendapatkan nilai akurasi 87%. Gambar 4 menunjukkan confusion matriks dari penggunaan ekstraksi fitur HOG pada algoritma SVM dengan kernel RBF.



Sumber: Penelitian (2022)

Gambar 4. Confusion matriks dari penggunaan ekstraksi fitur HOG pada algoritma SVM dengan kernel RBF.

Sedangkan pengujian dengan menggunakan ekstraksi fitur HOG pada algoritma SVM dengan kernel linear yang mendapatkan nilai akurasi 91%. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 5.



Sumber: Penelitian (2022)

Gambar 5. Confusion matriks dari penggunaan ekstraksi fitur HOG pada algoritma SVM dengan kernel Linear.

Tabel 2 menunjukkan hasil perbandingan dari empat percobaan yang telah dilakukan.

Tabel 2. Perbandingan Performa SVM dengan Kernel RBF dan Linear

metode	Akurasi
SVM kernel RBF + greyscale	0.6463414634146342
SVM kernel linear+ greyscale	0.8153310104529616
SVM kernel RBF + HOG	0.8780487804878049
SVM kernel Linear + HOG	0.9128919860627178

Sumber: penelitian (2022)

Dari hasil komparasi dapat disimpulkan bahwa metode SVM dengan kernel linear+HOG mendapat hasil terbaik karena memperoleh Akurasi paling tinggi yaitu 0.91%.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa klasifikasi brain tumor dapat dilakukan menggunakan pengolahan citra digital. Identifikasi ini menghasilkan nilai akurasi tertinggi mencapai 91% dengan ekstraksi fitur HOG dan diklasifikasikan dengan menggunakan *Support Vektor Machine* dengan kernel Linear. Kedepannya penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan jenis klasifikasi lain.

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>
- Andrian, M. Y., Purwanto, D., & Mardiyanto, R. (2017). Penerjemahan Bahasa Isyarat Indonesia Menggunakan Kamera pada Telepon Genggam Android. *Jurnal Teknik ITS*, 6(1), 221–224. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v6i1.21981>
- Astuti, L. W. (2019). Ekstrasi Fitur Citra MRI Otak Menggunakan Data Wavelet Transform (DWT) untuk Klasifikasi Penyakit Tumor Otak. *Jurnal Ilmiah Informatika Global*, 10(2), 80–86. <https://doi.org/10.36982/jig.v10i2.854>
- 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.v9i1.5158>

- Latha, R. S., Sreekanth, G. R., Akash, P., Dinesh, B., & Kumar, S. D. (2020). Brain tumor classification using SVM and KNN models for smote based MRI images. *Journal of Critical Reviews*, 7(12), 1–4. <https://doi.org/10.31838/jcr.07.12.01>
- 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.2019.8711010>
- 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>
- Wahid, R. R., Anggraeny, F. T., & Nugroho, B. (2020). Implementasi Metode Extreme Learning Machine untuk Klasifikasi Tumor Otak pada Citra Magnetic Resonance Imaging. *Prosiding Seminar Nasional Informatika Bela Negara*, 1, 16–20.
- Wang, M., Yang, J., Chen, Y., & Wang, H. (2017). The multimodal brain tumor image segmentation based on convolutional neural networks. *2017 2nd IEEE International Conference on Computational Intelligence and Applications, ICCIA 2017, 2017-Janua*, 336–339. <https://doi.org/10.1109/CIAPP.2017.8167234>
- Yohannes, Y., Sari, Y. P., & Feristyani, I. (2019). Klasifikasi Wajah Hewan Mamalia Tampak Depan Menggunakan k-Nearest Neighbor Dengan Ekstraksi Fitur HOG. *Jurnal Teknik Informatika Dan Sistem Informasi*, 5(1), 84–97. <https://doi.org/10.28932/jutisi.v5i1.1584>
- 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)*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-97785-0_2