

Analisis Perbandingan Kernel Morfologi Citra Otak Ditinjau dari Nilai PSNR**Retno Devita¹, Sumijan²**

retno_devita@upiypk.ac.id, sumijan@upiypk.ac.id

Universitas Putra Indonesia "YPTK" Padang

Informasi Artikel

Diterima : 27 Feb 2024

Direview : 13 Mar 2024

Disetujui : 1 Mei 2024

Kata Kuncicitra, morfologi kernel
11, morfologi kernel 13,
PSNR, tumor otak**Abstrak**

Image processing banyak digunakan diberbagai bidang kehidupan diantaranya dibidang kedokteran untuk mendiagnosa penyakit. Salah satu penyakit yang menggunakan image processing adalah tumor otak. Tumor otak merupakan penyakit yang sangat membahayakan manusia yang menyerang organ otak. Pada penelitian ini, membandingkan morfologi citra otak dengan menggunakan kernel 11 dan kernel 13. Data yang digunakan ada 5 citra otak hasil CT-Scan yang diproses menjadi 45 citra otak. Metode yang digunakan adalah metode morfologi dilasi, erosi, closing dan opening. Citra otak diproses menggunakan morfologi kernel 11 dan kernel 13 kemudian akan dibandingkan nilai citranya menggunakan nilai MSE, RMSE dan PSNR. Hasil penelitian citra otak yang tertinggi didapat dari kernel 11 yaitu metode closing dengan nilai MSE=453.634.918, RMSE=21.298.707 dan PSNR=21.563739 dB. Nilai terendah didapat dari kernel 13 metode dilasi dengan nilai MSE=9.101.720.394, RMSE=95.402.937 dan PSNR=8.539569 dB. Kesimpulanya, nilai kernel 11 lebih bagus hasilnya dibandingkan dengan kernel 13 jika ditinjau dari nilai PSNR.

Keywordsbrain Tumor, core
morphology 11, core
morphology 13, image, PSNR**Abstract**

Image processing is widely used in various fields of life including in the field of medicine to diagnose diseases. One of the diseases that use image processing is a brain tumor. Brain Tumor is a very dangerous disease that attacks the human brain organs. In this study, comparing the morphology of brain images using kernel 11 and kernel 13. The Data used there are 5 brain images of CT-Scan results are processed into 45 brain images. The method used is morphological method of dilation, erosion, closing and opening. Brain images processed using kernel 11 and kernel 13 Morphology will then be compared with the value of the image using the value of MSE, RMSE and PSNR. The highest brain image obtained from kernel 11 is the closing method with the value of MSE=453,634,918, RMSE=21,298,707 and PSNR=21,563,739 dB. The lowest value obtained from the kernel 13 dilation method with the value of MSE=9,101,720,394, RMSE=95,402,937 and PSNR=8,539,569 dB. In conclusion, the value of kernel 11 is better than kernel 13 when viewed from the PSNR value.

A. Pendahuluan

Pemrosesan gambar adalah peningkatan data gambar untuk mengurangi distorsi gambar yang tidak diinginkan atau untuk menambahkan beberapa fitur gambar untuk diproses lebih lanjut, yang sangat diperlukan untuk mengurangi efek distorsi gambar yang terdapat pada perangkat[1]. Penelitian pencitraan medis telah menghasilkan pengembangan teknik diagnostik seperti computerized tomography (CT), pencitraan resonansi magnetik (MRI), dan USG[2]. Tumor Otak merupakan salah satu penyakit paling mematikan dan memerlukan deteksi dini untuk pengobatan. Gambar pindaian sebagian besar digunakan untuk diagnosis otak tumor[3].

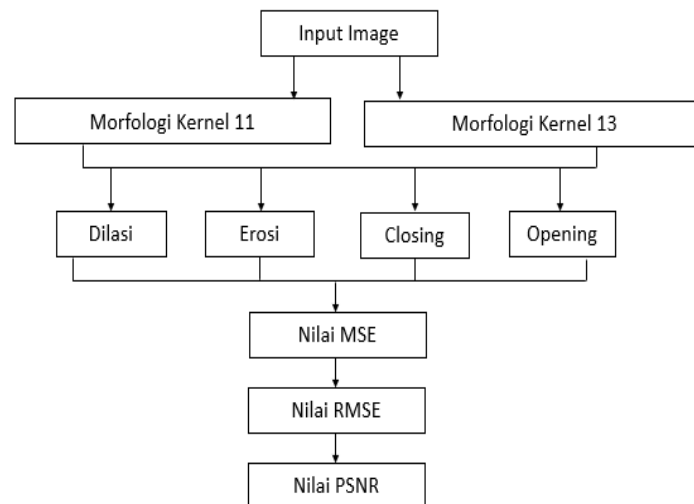
Otak adalah bagian penting dari keseluruhan sistem saraf karena dapat mengontrol dan mengoordinasikan keseluruhan tubuh[4]. Tumor otak telah menjadi salah satu penyakit paling umum di dunia. Ini adalah salah satu penyebab utama meningkatnya angka kematian baik pada orang dewasa maupun anak-anak[5].

Beberapa penelitian yang berhubungan dengan morfologi dilasi, erosi, closing dan opening diantaranya penelitian yang menyatakan untuk memperbaiki struktur objek, dilakukan teknik morfologi seperti penjarangan, penebalan, dan penandaan objek dapat digunakan. Teknik pengolahan citra morfologi didasarkan pada beberapa operasi yang disebut dilasi, erosi, closing dan opening untuk proses ekstraksi ciri [6], [7], [8].

Penelitian berikutnya menggunakan metode morfologi dilasi, erosi, closing dan opening dalam proses diagnosis tumor otak[9], [10], [11]. Penelitian berikutnya metode morfologi digunakan dalam mendeteksi tumor otak pada pasien[12], [13], [14]. Penelitian berikutnya menggunakan metode morfologi dilasi dan erosi untuk mendeteksi tumor otak[15].

B. Metode Penelitian

Penelitian ini memperkenalkan pendekatan baru untuk morfologi kernel 11 dan kernel 13. Metode morfologi yang digunakan adalah dilasi, erosi, closing dan opening[16],[17], [18], [19] kemudian citra hasil kernel 11 dan kernel 13 akan dihitung nilai Mean Square Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE), dan Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR). Gambar 1 di bawah ini menunjukkan kerangka penelitian dari penelitian ini:



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Input Image

Pada tahapan ini akan dimasukan citra tumor otak ke dalam proses penentuan nilai terbaik dari morfologi kernel 11 dan kernel 13. Citra yang digunakan proses ini ada 5 citra tumor otak yang diambil dari data yang tersedia di Rumah Sakit Umum Pusat M. Djamil Padang.

Morfologi Kernel 11 dan Kernel 13

Citra tumor otak yang dari input image akan diolah menggunakan morfologi kernel 11 dan kernel 13. Metode yang digunakan adalah dilasi, erosi, closing dan opening. Masing-masing metode memiliki fungsi yang berbeda-beda dan akan ditentukan sesuai kebutuhan dari pengolahan yang diinginkan. Ditinjau dari ukuran dan detail objek, otak manusia memiliki struktur kompleks yang dapat terdiri dari berbagai fitur dengan skala yang berbeda. Kernel 11 dapat mempertahankan detail yang halus pada otak dibandingkan kernel 13. Pada operasi morfologi seperti opening dan closing, penggunaan kernel 11 sangat membantu untuk mengurangi noise dalam gambar otak dibandingkan kernel 13.

Nilai MSE, RMSE dan PSNR

Nilai MSE, RMSE dan PSNR dibutuhkan untuk menentukan kualitas dari citra yang dipilih. MSE adalah ukuran kesalahan rata-rata antara dua set data[20], RMSE adalah akar kuadrat dari MSE[20] dan PSNR adalah ukuran yang umum digunakan untuk mengukur kualitas citra yang telah diproses atau dikompresi[21]. Semakin kecil nilai MSE dan RMSE maka nilai PSNR semakin bagus. Nilai PSNR yang tinggi dari citra yang dipilih menentukan kualitas citra yang bagus.

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} [f(i,j) - g(i,j)]^2 \quad (1)$$

Dimana :

m dan n adalah dimensi citra yang akan diproses

$f(i,j)$: Nilai pixelcitra asli pada koordinat (i,j)

$g(i,j)$:Nilai pixelcitra hasil perbaikan pada koordinat (i,j) .

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} [f(i,j) - g(i,j)]^2}$$

(2)

Dimana :
m dan n adalah dimensi citra yang akan diproses
 $f(i,j)$: Nilai pixelcitra asli pada koordinat (i,j)
 $g(i,j)$:Nilai pixelcitra hasil perbaikan pada koordinat (i,j) .

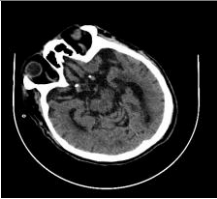

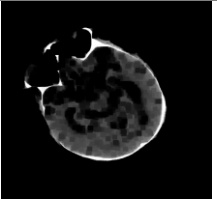
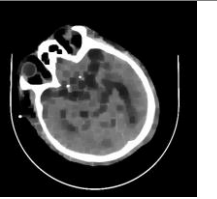
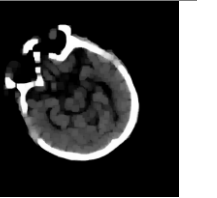
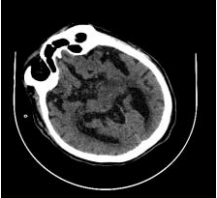
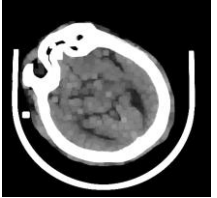
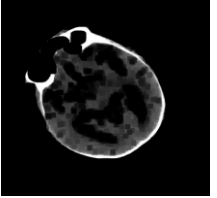
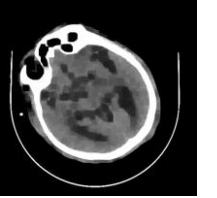
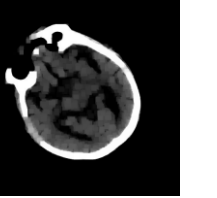

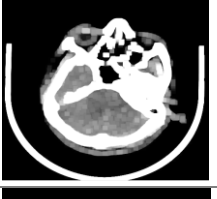
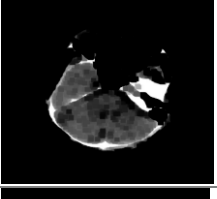
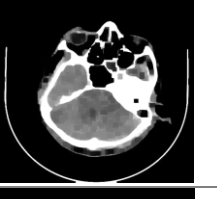


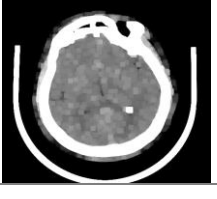
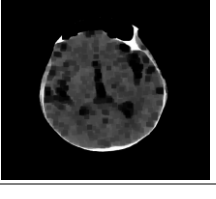
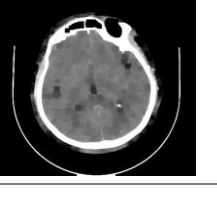

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE}$$


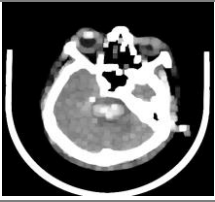
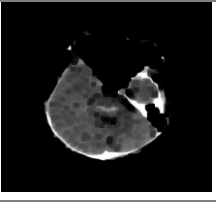
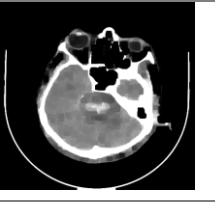

(3)

C. Hasil dan Pembahasan

Tahapan ini akan menampilkan proses yang terjadi pada morfologi kernel 11, morfologi kernel 13 dan menghitung nilai citra dari hasil yang didapat dengan morfologi dilasi, erosi, closing dan opening melalui metode MSE, RMSE dan PSNR. Kemudian akan dibandingkan nilai MSE, RMSE dan PSNR dari setiap gambar yang yang diperoleh dari morfologi kernel 11 dan morfologi kernel 13.

Tabel 1. Morfologi Kernel 11



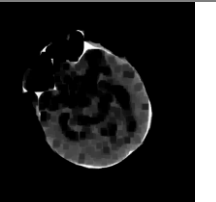
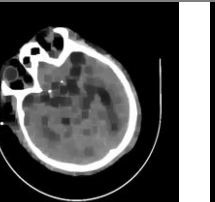
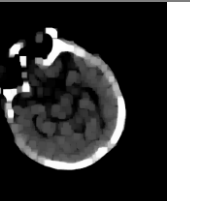
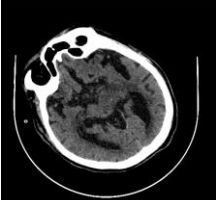
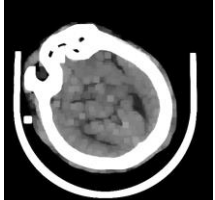
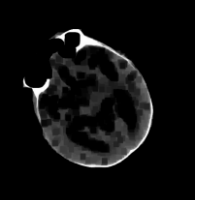
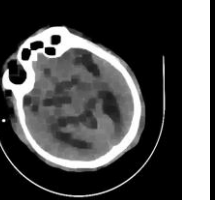
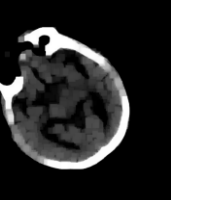

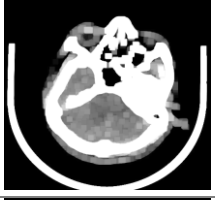
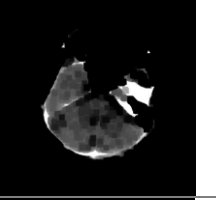
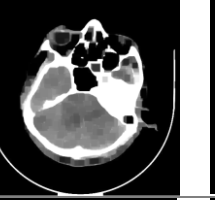
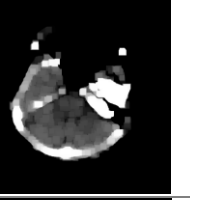

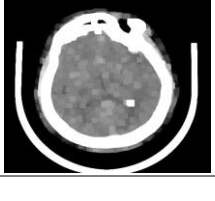
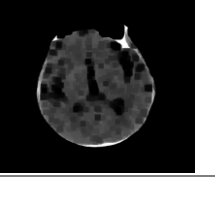
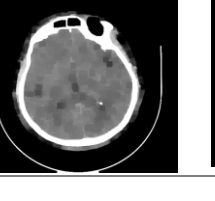
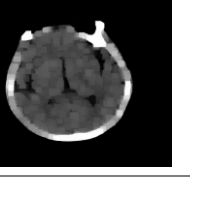
| No | Citra | Kernel 11 | | | |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| | | Dilasi | Erosi | Closing | Opening |
| 1 |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |

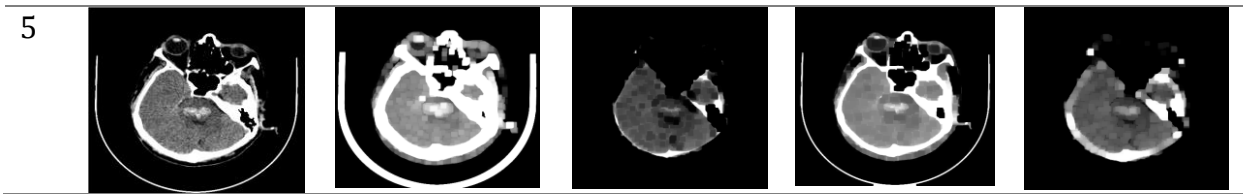
| No | Citra | Kernel 11 | | | |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| | | Dilasi | Erosi | Closing | Opening |
| 5 |  |  |  |  |  |

Berdasarkan Tabel 1. ditampilkan morfologi kernel 11 dengan proses dilasi, erosi, closing dan opening dari citra tumor otak pasien. Citra yang dihasilkan dengan dilasi yaitu mengisi lubang kecil dalam objek, menghubungkan objek yang terpisah, atau memperjelas tepi objek. Erosi, menghilangkan noise kecil atau mengurangi ukuran objek tanpa mengubah bentuknya secara signifikan. Closing, untuk menutupi celah kecil dalam objek atau menghilangkan noise kecil di dalam objek. Opening, untuk memisahkan objek yang bertumpuk atau menghilangkan gangguan kecil sebelum melakukan analisis lebih lanjut.

Kernel 11 pada citra otak memiliki dimensi yang lebih kecil dalam mempertimbangkan piksel dalam area yang lebih kecil di sekitar piksel referensi. Kernel yang lebih kecil cenderung memberikan efek yang lebih lokal atau terlokalisasi.

Tabel 2. Morfologi Kernel 13

| No | Citra | Kernel 13 | | | |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| | | Dilasi | Erosi | Closing | Opening |
| 1 |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |



Tabel 2. menampilkan morfologi kernel 13 dengan proses dilasi, erosi, closing dan opening dari citra tumor otak pasien. Citra yang dihasilkan dengan dilasi, mengisi lubang kecil dalam objek, menghubungkan objek yang terpisah, atau memperjelas tepi objek. Erosi, menghilangkan noise kecil atau mengurangi ukuran objek tanpa mengubah bentuknya secara signifikan. Closing, untuk menutupi celah kecil dalam objek atau menghilangkan noise kecil di dalam objek. Opening, untuk memisahkan objek yang bertumpuk atau menghilangkan gangguan kecil sebelum melakukan analisis lebih lanjut.

Kernel 13 memiliki dimensi yang lebih lebih besar dan dalam mempertimbangkan piksel dalam area yang lebih besar di sekitar piksel referensi. Kernel yang lebih besar tidak cenderung memberikan efek yang lebih lokal atau terlokalisasi.

Tabel 3. Nilai MSE, RMSE dan PSNR Morfology Kernel 11

| Citra | Morfologi | MSE | RMSE | PSNR |
|---------|-------------------|---------------|------------|--------------|
| Citra 1 | Dilasi Kernel 11 | 6.228.501.938 | 78.920.859 | 10.186968 dB |
| Citra 1 | Erosi Kernel 11 | 3.900.790.184 | 62.456.306 | 12.219278 dB |
| Citra 1 | Closing Kernel 11 | 507.532.410 | 22.528.480 | 21.076166 dB |
| Citra 1 | Opening Kernel 11 | 1.304.834.614 | 36.122.495 | 16.975249 dB |
| Citra 2 | Dilasi Kernel 11 | 6.166.210.606 | 78.525.223 | 10.230620 dB |
| Citra 2 | Erosi Kernel 11 | 3.915.663.296 | 62.575.261 | 12.202750 dB |
| Citra 2 | Closing Kernel 11 | 453.634.918 | 21.298.707 | 21.563739 dB |
| Citra 2 | Opening Kernel 11 | 1.285.574.856 | 35.854.914 | 17.039830 dB |
| Citra 3 | Dilasi Kernel 11 | 7.630.392.918 | 87.352.120 | 9.305335 dB |
| Citra 3 | Erosi Kernel 11 | 4.736.351.322 | 68.821.155 | 11.376365 dB |
| Citra 3 | Closing Kernel 11 | 730.789.715 | 27.033.123 | 19.492879 dB |
| Citra 3 | Opening Kernel 11 | 2.309.222.500 | 48.054.370 | 14.496146 dB |
| Citra 4 | Dilasi Kernel 11 | 5.743.867.466 | 75.788.307 | 10.538760 dB |
| Citra 4 | Erosi Kernel 11 | 3.613.797.676 | 60.114.871 | 12.551165 dB |
| Citra 4 | Closing Kernel 11 | 518.746.014 | 22.775.996 | 20.981256 dB |
| Citra 4 | Opening Kernel 11 | 1.376.467.445 | 37.100.774 | 16.743144 dB |
| Citra 5 | Dilasi Kernel 11 | 6.886.012.321 | 82.982.000 | 9.751126 dB |
| Citra 5 | Erosi Kernel 11 | 4.124.013.477 | 64.218.482 | 11.977603 dB |
| Citra 5 | Closing Kernel 11 | 612.947.281 | 24.757.772 | 20.256572 dB |
| Citra 5 | Opening Kernel 11 | 1.927.501.469 | 43.903.320 | 15.280856 dB |

Berdasarkan Tabel 3 ditampilkan nilai MSE, RMSE dan PSNR morfology kernel 11 dari hasil masing-masing citra. Hasil penelitian citra otak dari kernel 11

yaitu nilai tertinggi didapat dari metode closing dengan nilai MSE=453.634.918, RMSE=21.298.707, PSNR=21.563739 dB dan nilai terendah didapat dari metode dilasi dengan nilai MSE=7.630.392.918, RMSE=87.352.120 dan PSNR= 9.305335 dB.

Hasil yang didapatkan diatas menyatakan metode closing menghasilkan nilai PSNR yang lebih tinggi untuk citra otak pada pasien 2 dan menghasilkan nilai terendah pada metode dilasi untuk citra otak pada pasien 3.

Tabel 4. Nilai MSE, RMSE dan PSNR Morfology Kernel 13

| Citra | Morfologi | MSE | RMSE | PSNR |
|---------|-------------------|---------------|------------|--------------|
| Citra 1 | Dilasi Kernel 13 | 7.468.008.614 | 86.417.641 | 9.398756 dB |
| Citra 1 | Erosi Kernel 13 | 4.482.828.518 | 66.953.928 | 11.615282 dB |
| Citra 1 | Closing Kernel 13 | 674.224.506 | 25.965.833 | 19.842758 dB |
| Citra 1 | Opening Kernel 13 | 1.602.301.735 | 40.028.761 | 16.083361 dB |
| Citra 2 | Dilasi Kernel 13 | 7.395.495.815 | 85.997.069 | 9.441131 dB |
| Citra 2 | Erosi Kernel 13 | 4.520.539.375 | 67.234.956 | 11.578901 dB |
| Citra 2 | Closing Kernel 13 | 635.510.380 | 25.209.331 | 20.099577 dB |
| Citra 2 | Opening Kernel 13 | 1.549.868.423 | 39.368.368 | 16.227855 dB |
| Citra 3 | Dilasi Kernel 13 | 9.101.720.394 | 95.402.937 | 8.539569 dB |
| Citra 3 | Erosi Kernel 13 | 5.233.433.270 | 72.342.472 | 10.942937 dB |
| Citra 3 | Closing Kernel 13 | 1.046.923.534 | 32.356.198 | 17.931654 dB |
| Citra 3 | Opening Kernel 13 | 2.690.422.779 | 51.869.286 | 13.832598 dB |
| Citra 4 | Dilasi Kernel 13 | 6.859.434.383 | 82.821.702 | 9.767921 dB |
| Citra 4 | Erosi Kernel 13 | 4.108.735.142 | 64.099.416 | 11.993722 dB |
| Citra 4 | Closing Kernel 13 | 718.967.731 | 26.813.574 | 19.563710 dB |
| Citra 4 | Opening Kernel 13 | 1.710.158.718 | 41.354.065 | 15.800439 dB |
| Citra 5 | Dilasi Kernel 13 | 8.273.820.698 | 90.960.545 | 8.953743 dB |
| Citra 5 | Erosi Kernel 13 | 4.592.981.270 | 67.771.537 | 11.509857 dB |
| Citra 5 | Closing Kernel 13 | 743.460.155 | 27.266.466 | 19.418227 dB |
| Citra 5 | Opening Kernel 13 | 2.276.286.285 | 47.710.442 | 14.558535 dB |

Berdasarkan Tabel 4 ditampilkan nilai MSE, RMSE dan PSNR morfology kernel 13 dari hasil masing-masing citra. Hasil penelitian citra otak dengan kernel 13 yaitu nilai tertinggi didapat dari metode closing dengan nilai MSE= 635.510.380, RMSE= 25.209.331 dan PSNR= 20.099577 dB dan nilai terendah didapat dari metode dilasi dengan nilai MSE=9.101.720.394, RMSE=95.402.937 dan PSNR=8.539569 dB.

Hasil yang didapatkan diatas menyatakan metode closing menghasilkan nilai PSNR yang lebih tinggi untuk citra otak pada pasien 3 dan menghasilkan nilai terendah pada metode dilasi untuk citra otak pada pasien 3.

D. Simpulan

Dari hasil yang didapat dari citra yang menggunakan morfologi dilasi, erosi, closing dan opening didapat hasil terbaik dari menggunakan nilai MSE, RMSE dan PSNR. Hasil penelitian citra otak dari kernel 11 yaitu nilai tertinggi didapat dari metode closing dengan nilai MSE=453.634.918, RMSE=21.298.707, PSNR=21.563739 dB dan nilai terendah didapat dari metode dilasi dengan nilai MSE=7.630.392.918, RMSE=87.352.120 dan PSNR= 9.305335 dB. Hasil penelitian citra otak dengan kernel 13 yaitu nilai tertinggi didapat dari metode closing dengan nilai MSE= 635.510.380, RMSE= 25.209.331 dan PSNR= 20.099577 dB dan nilai terendah didapat dari metode dilasi dengan nilai MSE=9.101.720.394, RMSE=95.402.937 dan PSNR=8.539569 dB. Penggunaan kernel kernel 11 lebih baik jika dibandingkan kernel 13 pada otak.

E. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada ketua yayasan Pendidikan Tinggi Komputer padang Dr. Zerni Melmusi, MM., AK., CA., yang memberikan dukungan penuh untuk penelitian ini.

F. Referensi

- [1] C. Mungkala, "Enhance Watershed Segmentation for Primary Medical Imaging," vol. 13, no. 1, hal. 7–18, 2023.
- [2] M. V. Gopalachari, M. Kolla, R. K. Mishra, dan Z. Tasneem, "Design and Implementation of Brain Tumor Segmentation and Detection Using a Novel Woelfel Filter and Morphological Segmentation," *Complexity*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/6985927.
- [3] R. Chaturvedi dan R. K. Tiwari, "A Hybrid Approach for Morphological Study of Brain Tumors in MRI Images," no. May, hal. 1672–1676, 2023, [Daring]. Tersedia pada: www.irjet.net
- [4] D. Saida dan P. Premchand, "Brain Tumor Identification using Dilated U-Net based CNN," *International Journal of Computers, Communications and Control*, vol. 17, no. 6, 2022, doi: 10.15837/ijccc.2022.6.4929.
- [5] R. D. Sarreb dan A. D. Elgaber, "DETECTION AND EXTRACTION OF HUMAN BRAIN TUMOR FROM MRI IMAGE USING IMAGE PROCESSING," no. 8, hal. 22–34, 2022.
- [6] A. Aleid, K. Alhussaini, R. Alanazi, M. Altwaimi, O. Altwijri, dan A. S. Saad, "Artificial Intelligence Approach for Early Detection of Brain Tumors Using MRI Images," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 13, no. 6, 2023, doi: 10.3390/app13063808.
- [7] I. Kalbande dan A. Bodkhe, "EasyChair Preprint Detection of Brain Tumor Using Machine Learning," 2022.
- [8] F. Khan, Y. Gulzar, S. Ayoub, M. Majid, M. S. Mir, dan A. B. Soomro, "Least square-support vector machine based brain tumor classification system with multi model texture features," *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, vol. 9, no. December, 2023, doi: 10.3389/fams.2023.1324054.
- [9] F. Jafari, A. Nadeem, dan Q. uz Zaman, "Evaluation of Metamorphic Testing for Edge Detection in MRI Brain Diagnostics," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 17, 2022, doi: 10.3390/app12178684.

-
- [10] I. Haq, N. Ullah, T. Mazhar, M. A. Malik, dan I. Bano, "A Novel Brain Tumor Detection and Coloring Technique from 2D MRI Images," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 11, 2022, doi: 10.3390/app12115744.
 - [11] K. M. Pai, "Region Detection and Segmentation of Brain Hemorrhage using Algorithmic Approach of Image Processing," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2161, no. 1, 2022, doi: 10.1088/1742-6596/2161/1/012070.
 - [12] S. S. Thakur dan R. S. Yadav, "DESIGN AND DEVELOPMENT OF BRAIN TUMOR DETECTION ALGORITHM IN MATLAB," no. 12, hal. 229–234, 2023.
 - [13] S. Singh dan V. Saxena, "Interpolation Method for Identification of Brain Tumor from Magnetic Resonance Images," *International Journal of Engineering and Manufacturing*, vol. 13, no. 2, hal. 40–51, 2023, doi: 10.5815/ijem.2023.02.05.
 - [14] M. . PRUDHVIRAJ, "Brain Tumor Detection," *Interantional Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, vol. 07, no. 12, hal. 1–10, 2023, doi: 10.55041/ijsrem27721.
 - [15] S. Shinde, R. Patil, S. Kadam, dan Y. Gurav, "Segmentation and Detection of Brain Tumor Cell Nuclei in MRI Images using Machine Learning," vol. 45, no. 01, 2022.
 - [16] N. K. Ibrahim, A. H. Al-Saleh, dan A. S. A. Jabar, "Texture and pixel intensity characterization-based image segmentation with morphology and watershed techniques," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 31, no. 3, hal. 1464–1477, 2023, doi: 10.11591/ijeecs.v31.i3.pp1464-1477.
 - [17] Sunil Bhutada, Nakerakanti Yashwanth, Puppala Dheeraj, dan Kethavath Shekar, "Opening and closing in morphological image processing," *World Journal of Advanced Research and Reviews*, vol. 14, no. 3, hal. 687–695, 2022, doi: 10.30574/wjarr.2022.14.3.0576.
 - [18] T. Yesmin, H. Lohiya, dan P. P. Acharjya, "Detection and Segmentation of Brain Tumor by Using Modified Watershed Algorithm and Thresholding to Reduce Over-Segmentation," *Proceedings of IEEE InC4 2023 - 2023 IEEE International Conference on Contemporary Computing and Communications*, no. April, 2023, doi: 10.1109/InC457730.2023.10262891.
 - [19] "Matlab Assisted Surface Morphologies of Pure and Doped ZnO Using Image Processing and Photocatalytic Degradation," *Periodico*, vol. 91, no. 3, hal. 92–103, 2022, doi: 10.37896/pd91.3/9138.
 - [20] Y. Pourasad dan F. Cavallaro, "A novel image processing approach to enhancement and compression of x-ray images," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 13, 2021, doi: 10.3390/ijerph18136724.
 - [21] C. Thangaraj dan D. Easwaramoorthy, "Generalized fractal dimensions based comparison analysis of edge detection methods in CT images for estimating the infection of COVID-19 disease," *European Physical Journal: Special Topics*, vol. 231, no. 18–20, hal. 3717–3739, 2022, doi: 10.1140/epjs/s11734-022-00651-1.