

## DETEKSI TEPI UNTUK INDIKASI TUMOR OTAK MENGGUNAKAN METODE SOBEL DAN *MORPHOLOGICAL OPERATIONS* BERDASARKAN CITRA *MAGNETIC RESONANCE IMAGING*

Page | 179

Oscar Adriyanto<sup>1</sup>, Halim Agung<sup>2</sup>

<sup>12</sup>Universitas Bunda Mulia, Jakarta Utara

<sup>1</sup>oscar.adriyanto@gmail.com, <sup>2</sup>hagung@bundamulia.ac.id

**Abstrak**— *Tumor otak merupakan penyebab kematian kedua di dunia pada kasus anak-anak usia dibawah 20 tahun, para ilmuwan dan peneliti mengembangkan aplikasi untuk mengindaksi tumor otak dengan berdasarkan citra Magnetic Resonance Imaging. Pada aplikasi ini metode yang dipakai adalah sobel dan morphological operations. Berdasarkan Penelitian yang dilakukan pada pendeteksian tepi tumor otak dengan berdasarkan citra Magnetic Resonance Imaging, metode sobel dapat mengurangi noise yang terdapat pada citra mri dan dapat melokalisasi tepian citra Magnetic Resonance Imaging dengan baik. Penelitian ini dapat menyimpulkan bahwa metode sobel sudah sesuai untuk pendeteksian tepi tetapi masih ada beberapa noise yang tidak terproses, dengan hasil pengujian citra mri tumor otak dari 30 gambar pengujian mempunyai persentase 60%, sedangkan untuk penggunaan deteksi tepi metode sobel sebesar 62,11%.*

**Kata Kunci** -Tumor Otak, *Magnetic Resonance Imaging*, Sobel, *Morphological Operations*.

**Abstract** —*Brain tumors are the second leading cause of death in the world in children under 20, scientists and researchers are developing applications to react brain tumors based on magnetic resonance imaging images. In this application the method used is sobel and morphological operations. Based on research conducted on brain tumor edge detection based on magnetic resonance imaging image, sobel method can reduce the noise contained in the image mri and can localize the edge of the image of Magnetic Resonance Imaging well. This research can conclude that the sobel method is suitable for edge detection but there is still some unprocessed noise, with the results of the brain imaging of 30 test images have 60% percentage, while for the use of edge detection method of 62.11%.*

**Keywords** - Brain tumor, *Magnetic Resonance Imaging*, Sobel, *Morphological Operations*.

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan Ilmu Biomedikal Telah Mendorong Banyak Penelitian Dilakukan Untuk Menghasilkan Alat Bantu Diagnosa Berbasis Komputer. Salah satunya yaitu Pendeteksian Tumor Otak Dengan Menggunakan Citra Hasil Mri. Pemeriksaan Mri Bertujuan Mengetahui Karakteristik Morpologik (Lokasi, Ukuran, Bentuk, Perluasan Dan Lain-Lain).

Tumor Otak Primer Adalah Tumor Yang Tumbuh Langsung Dari Jaringan Intrakranial, Baik Dari Otak Itu Sendiri, Central Nervus System, Maupun Selaput Pembungkus Otak (Selaput Meningen) (American Brain Tumor Association (Abta), 2012).

Tumor Otak Merupakan Penyebab Kematian Kedua Pada Kasus Kanker Yang Terjadi Pada Anak-Anak Yang Berusia Dibawah 20 Tahun. Tumor Otak Juga Merupakan Penyebab Kematian Yang Kedua Dari Semua Kasus Kanker Yang Terjadi Pada Pria Berusia 20-39 Tahun. Selain Itu Tumor Otak Merupakan Penyebab Kematian Nomor Lima Dari Seluruh Pasien Kanker Pada Wanita Yang Berusia 20-39 Tahun (Abta, 2012). Tumor Otak Terus Mengalami Peningkatan Insidensi Atau Frekuensi Selama Satu Dekade Terakhir Di Beberapa Negara.

Dalam penelitian ini penulis memaparkan dua penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan yang diteliti tentang deteksi tepi tumor otak berdasarkan citra *magnetic resonance imaging*. Indra (2016) dalam penelitiannya yang berjudul "Pendeteksian Tepi Objek Menggunakan Metode Gradien " memaparkan bahwa pada tahap melakukan ekstraksi ciri faktor yang sangat penting adalah kemampuan untuk mendeteksi keberadaan tepi di dalam citra. Pada penelitian ini citra masukan yang digunakan berupa abu-abu (*grayscale*). Citra yang diuji menggunakan 3 cara yaitu metode gradien citra, prewitt, sobel. Cara kerja dari metode gradien terdiri dari gradien horizontal arah x menghasilkan tepi objek berupa garis vertikal dan diagonal dari citra input, gradien arah vertikal y menghasilkan tepi objek berupa garis horizontal dan diagonal dari citra input sedangkan total gradien merupakan gabungan dari gradien arah x dan gradien arah y sedangkan cara kerja dari untuk metode gradien Prewitt dan Sobel, pemilteran dilakukan secara parsial dengan arah yang berlawanan dengan arah fungsi turunan pertama, bila pemilteran dilakukan dalam arah y maka turunan pertama dari hasil pemilteran dilakukan dalam arah x. Pendeteksian tepi menggunakan gradien Prewitt dan

Sobel merupakan hasil gabungan dari konvolusi gradien Prewitt/Sobel arah x dengan gradien Prewitt/Sobel arah y. Simpulan yang didapat dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pendeteksian tepi menggunakan gradien Sobel lebih tajam dibandingkan dengan gradien Prewitt dan gradien citra.

Chudasama, D. Patel, T. Joshi, Shubham. Prajapati, G.I. (2015) dalam penelitiannya yang berjudul "*Image Segmentation using Morphological Operations*" memaparkan bahwa Teknik morfologi memverifikasi gambar dengan template kecil yang disebut structuring element. Elemen penataan ini diterapkan ke semua lokasi yang mungkin dari gambar input dan menghasilkan keluaran ukuran yang sama. Basis operasi morfologi adalah dilasi, erosi, *opening*, *closing* dinyatakan dalam logika AND, OR notasi dan dijelaskan dengan analisis yang ditetapkan. Simpulan yang didapat dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa segmentasi menggunakan operator dasar morphology juga dapat mengsegmentasikan gambar, metode ini lebih sederhana dan mudah daripada segmentasi yang lain.

## II. LANDASAN TEORI

### A. Tumor Otak

Tumor otak adalah jaringan sel otak yang tumbuh dan berkembang tidak terkontrol karena alasan tertentu. Tumor otak yang berada di dalam kepala akan mengganggu fungsi normal otak, serta akan meningkatkan tekanan pada otak. Sehingga mengakibatkan sebagian jaringan otak akan mengalami kemunduran, akan mendesak rongga tengkorak, hingga menyebabkan kerusakan jaringan saraf. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) membagi tipe tumor otak sebanyak 120 jenis dengan kriteria tumor otak didasarkan pada anaplasia. Anaplasia adalah cara pertumbuhan sel tumor dimana semakin rendah derajat anaplasia mengindikasikan pertumbuhan tumor lebih lambat (Priyawati et al,2015).

### B. Magnetic Resonance Imaging

*MRI* ditemukan pada tahun 1969 oleh Raymond V. Damadian untuk melihat struktur tubuh manusia. Kinerja sederhananya adalah pasien berada di daerah medan magnet yang kuat sehingga menyebabkan proton-proton molekul air dalam tubuh menjadi selaras sesuai dengan medan magnet. Selanjutnya pulsa frekuensi radio masuk dan memaksa proton tersebut pindah atau keluar dari titik *equilibrium*. Ketika pulsa frekuensi radio tersebut dihentikan, proton kembali ke titik *equilibrium* dan menghasilkan sinyal sinusoidal pada frekuensi yang sama dengan medan magnet. Kumparan frekuensi radio atau resonator di dalam scanner mendeteksi sinyal dan menghasilkan citra MRI (Priyawati et al, 2015).

### C. Deteksi Tepi

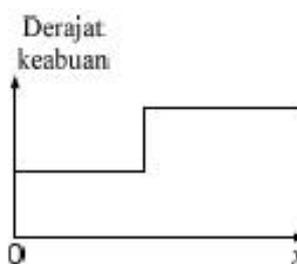
Deteksi tepi sangat berperan dalam menentukan algoritma untuk deteksi ciri, segmentasi, dan analisis gerak. Pada suatu citra kontinu (tak-tercuplik), suatu transisi intensitas yang tajam antara piksel-piksel bertetangga bisa dianggap suatu tepi karena komponen-komponen frekuensi tinggi didahului dengan pencuplikan, setiap pasangan piksel dengan intensitas berbeda bisa dianggap sebagai bagian tepi yang potensial. Deteksi tepi merupakan topik penting dalam pengolahan citra. Tepi memberikan porsi yang signifikan atas informasi yang dikandung dalam citra, sehingga berguna untuk mengekstraksi ciri-ciri atas citra lengkap. Suatu peta tepi memiliki kompleksitas yang sangat tereduksi dengan tetap mempertahankan struktur penting yang ada pada citra aslinya (Zhou et al, 2011). Terdapat banyak metode untuk menghasilkan citra-citra tepi, diantaranya seperti berikut:

- Deteksi tepi melalui gradien spasial citra
- Deteksi tepi dengan gradien pertama
- Deteksi tepi dengan gradien arah
- Deteksi tepi dengan cara geser dan selisih citra
- Deteksi tepi dengan gradien kedua (Laplacian)
- Deteksi segmen-segmen garis
- Alihragam Hough*
- Operator Canny
- Peruntan Kontur (*Contour Following*)

Tepi adalah perubahan nilai intensitas derajat keabuan yang mendadak (besar) dalam jarak yang singkat. Terdapat tiga macam tepi di dalam citra digital, yaitu:

#### 1. Tepi Curam

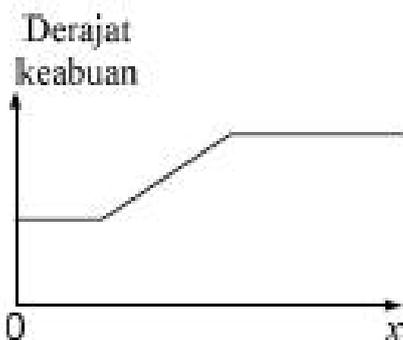
Tepi curam adalah tepi dengan perubahan intensitas yang tajam. Gambar 1 menunjukkan deteksi tepi tipe tepi curam.



Gbr. 1 Tepi Curam (Winamo, 2011).

#### 2. Tepi Landai

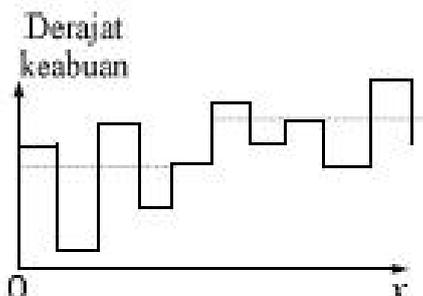
Tepi landai yaitu tepi dengan sudut arah yang kecil. Tepi landai dapat dianggap terdiri dari sejumlah tepi-tepi lokal yang lokasinya berdekatan. Gambar 2 menunjukkan deteksi tepi tipe landai.



Gbr.2 Tepi Landai (Winarno, 2011).

### 3. Tepi yang mengandung derau

Umumnya tepi yang terdapat pada aplikasi visi komputer mengandung derau. Operasi peningkatan kualitas citra dapat dilakukan terlebih dahulu sebelum pendeteksian tepi. Gambar 3 menunjukkan deteksi tepi tipe curam dengan derau (Winarno, 2011).



Gbr.3 Tepi Derau (Winarno, 2011)

### D. Algoritma Sobel

Deteksi tepi operator Sobel diperkenalkan oleh Irwin Sobel pada tahun 1970. Operator ini berbentuk matrik 3x3. Persamaan 8, matrik operator Sobel arah sumbu x, persamaan 9, matrik operator Sobel arah sumbu y dan Persamaan 10, gradien Sobel (Indra, 2016).

$$G(x) = \begin{matrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{matrix}$$

$$G(y) = \begin{matrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{matrix}$$

$$GS = |G_x * 1| + |G_y * 1|$$

Gbr. 4 Fungsi Gradien Sobel (Indra, 2016)

### E. Morphological Operations

Morfologi adalah studi tentang bentuk dan struktur dari perspektif ilmiah. Filter morfologi terbentuk dari operasi morfologi dasar. Elemen penataan adalah terutama diperlukan untuk operasi morfologi. Operasi morfologi beroperasi pada dua gambar, penataan elemen dan gambar *input*. Penataan elemen adalah

gambar kecil yang digunakan untuk menyelidiki gambar masukan pada area tertentu.

Dua utama operasi morfologi adalah erosi dan pelebaran di mana erosi hasil penipisan objek dalam gambar dianggap dan pelebaran menghasilkan penebalan objek dalam gambar. Dilasi menggunakan nilai tertinggi dari semua piksel dalam area dari gambar input yang didefinisikan oleh penataan elemen dan erosi menggunakan nilai terendah dari semua piksel di area gambar *input*. *Morphological* mempunyai dua dasar *operator*: erosi dan dilasi, pembukaan dan penutupan adalah dua *operator* yang diturunkan dalam hal erosi dan dilasi (Joseph et al, 2014).

#### a. Dilasi

Dilasi adalah salah satu operator dasar dalam matematika morfologi. Ini diterapkan pada citra biner tetapi juga bisa diterapkan ke gambar *grayscale*. Dilasi mengambil dua bagian sebagai data. Yang pertama adalah gambar *input* dilatasi dan kedua adalah elemen penataan juga dikenal sebagai inti.

Dengan bantuan elemen penataan ini hanya itu menentukan berapa banyak gambar akan dilasi. Itu definisi dilasi matematika dapat sebagai berikut:

$$A \oplus B = \{x | (B)_x \cap A \neq \emptyset\}$$

Gbr. 5 Dilasi Operator (Chudasama et al, 2015)

#### b. Erosi

Erosi juga merupakan salah satu operator dasar dalam matematika morfologi. Erosi menyebabkan benda menyusut atau menjadi tipis dalam ukuran. Erosi pada dasarnya mengikis batas-batas latar depan yang menyebabkan area piksel tersebut menyusut ukuran dan lubang dari area tersebut menjadi lebih besar. Erosi seperti Dilasi yang sama mengambil dua bagian sebagai data. Yang pertama adalah gambar *input* akan terkikis dan kedua adalah penataan elemen. Dengan bantuan elemen penataan ini hanya itu menentukan berapa banyak gambar akan terkikis. Itu definisi erosi matematika dapat sebagai berikut:

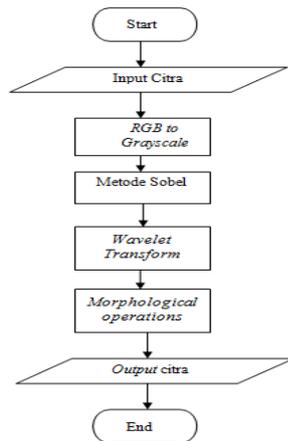
$$A \ominus B = \{x | (B)_x \cap A^c \neq \emptyset\}$$

Gbr. 6 Erosi Operator (Chudasama et al, 2015)

## III. METODE PENELITIAN

Aplikasi yang dibuat pada penelitian ini terdiri atas tiga bagian, dimana pengumpulan citra magnetic resonance imaging tumor otak dan tidak tumor, penggunaan metode sobel dan penandaan tumor otak dengan morphological operations pada citra magnetic resonance imaging.

A. Flowchart Sistem

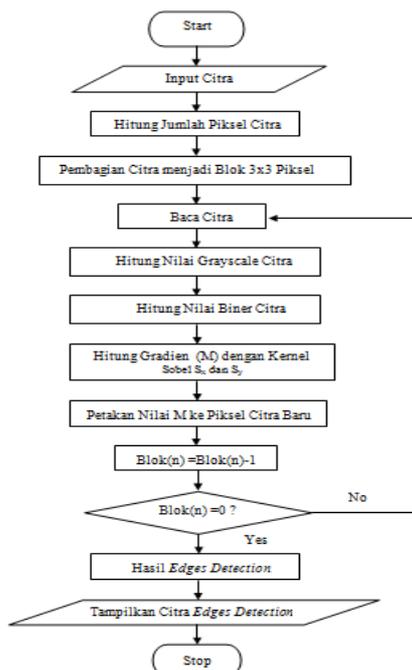


Gbr. 7 Flowchart Sistem

Sesuai dengan Gbr.4, sistem dibuat sedemikian untuk melihat proses kerja sistem dengan menggunakan metode *sobel*. Proses dari sistem dimulai dari :

1. *Browse* gambar yang akan diproses.
2. *RGB to Grayscale* membutuhkan proses perubahan citra dari yang RGB menjadi *grayscale*.
3. Selanjutnya citra yang sudah diubah menjadi *Grayscale* dapat diproses menggunakan metode *Sobel*.
4. Setelah metode *sobel* yang digunakan maka dilanjutkan ke *wavelet transform*, yang berfungsi untuk dekomposisi citra ke level dekomposisi tertentu.
5. *Morphological Operations* dapat menampilkan bagian yang terserang tumor.

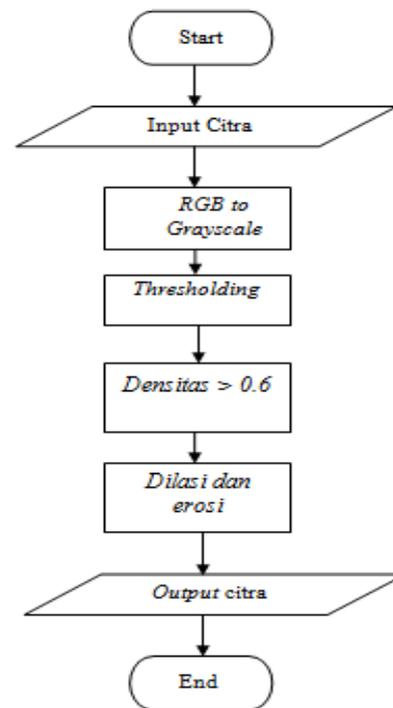
B. Flowchart Sobel



Gbr. 8 Flowchart Sobel

Gbr.5 adalah *flowchart* untuk menggunakan metode *sobel*. Pada citra *input*, dilakukan pembacaan nilai *pixel* untuk pembentukan matriks *grayscale* dan biner. Proses perhitungan *gradient* dilakukan pada matriks citra 3 x 3 *pixel* dengan kernel Sobel  $S_x$  dan  $S_y$ . Hasil perhitungan *gradient* dipetakan ke *pixel* pada matriks citra baru sebagai citra hasil *Edges Detection*. Citra hasil dari *edges detection* akan tampil dan akan dibandingkan dengan citra normal yang sebelum menggunakan metode *sobel*.

C. Flowchart Morphological Operations



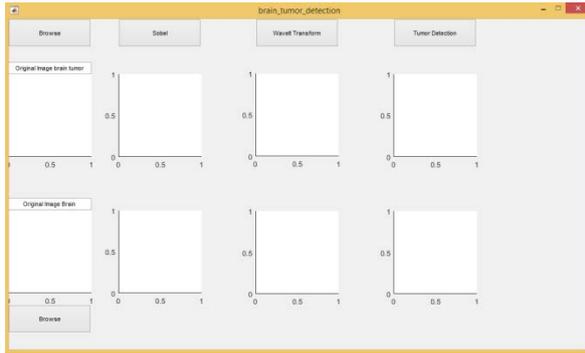
Gbr. 9 Flowchart Morphological Operations

Gbr.6 adalah *flowchart Morphological operations*. Pada citra *input*, dilakukan pembacaan nilai *pixel* untuk pembentukan matriks *grayscale* dan biner. Setelah proses *grayscale* dilakukan *thresholding* pada citra tersebut, nilai densitas pada area yang ditentukan tidak kurang dari 0.6, lalu dilakukan proses dilasi dan erosi pada citra tersebut. Hasil dari citra tersebut akan muncul pada tampilan program dan menandakan letak dimana ada nya tumor pada citra *magnetic resonance imaging*.

IV. PEMBAHASAN

A. Implementasi Antarmuka

Tampilan utama aplikasi pendeteksian indikasi tumor otak menggunakan metode *sobel* dan *morphological operations* adalah sebagai berikut:

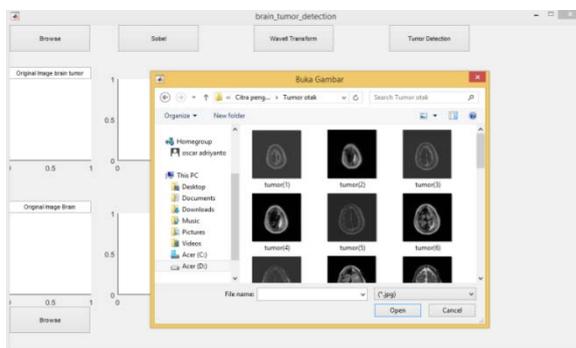


Gbr. 10 Tampilan Utama

Pada Gbr. 7 merupakan tampilan utama ketika program dijalankan. Halaman utama pada program deteksi tepi tumor otak, terdapat berbagai *button* yang mempunyai fungsi berbeda-beda. mulai dari *button browse*, *sobel*, *wavelet transform*, *Detection Tumor*.berikut fungsi dari masing-masing *button* diatas:

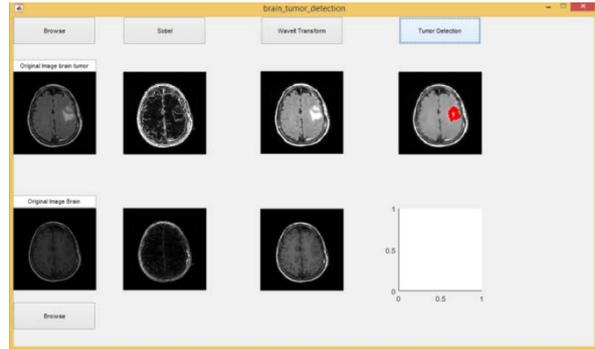
- a. *Browse*  
*Button browse* berfungsi untuk mengambil *file* citra dari *folder* yang disimpan.
- b. *Sobel*  
*Button Sobel* mempunyai fungsi sebagai salah satu metode yang mendeteksi tepi dengan cara mengurangi *noise* yang ada pada citra asli.
- c. *Wavelet Transform*  
*Button Wavelet Transform* mempunyai fungsi sebagai Dekomposisi citra digital menggunakan *Discrete Wavelet Transform* dilakukan dengan cara mengambil koefisien *wavelet* dari citra tersebut.
- d. *Detection Tumor*  
*Button Detection Tumor* untuk memberitahukan tumor yang terdeteksi pada citra tersebut

Tampilan *Button Browse* mengambil *image* dari folder yang disimpan di komputer.



Gbr. 11 Proses Pengambilan gambar Mri

Tampilan akhir dari program pendeteksi tepi tumor otak menggunakan metode *sobel* dan *morphological operations* sebagai berikut:



Gbr. 12 Tampilan penggunaan metode *sobel* dan *morphological operations*

**B. Implementasi metode *sobel***

Penggunaan metode *sobel* pada *button Sobel* digunakan untuk mendeteksi tepi *image* yang sudah di *browse*, dengan cara menentukan arah nilai *x* dan *y*, dengan menggabungkan koordinat *x* dan *y*.

Nama File	Sobel
Original Image brain tumor	
Original Image Brain	
Tumor(16).jpeg	

Gbr. 13 Hasil penggunaan metode *sobel*

kernel *sobel* 3x3 :

$$\begin{Bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{Bmatrix} \quad \begin{Bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{Bmatrix}$$

$M_x$

$M_y$

Matriks B dengan size 4x4 :

$$\begin{Bmatrix} 1 & 2 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 3 \\ 2 & 4 & 1 & 5 \\ 2 & 1 & 2 & 0 \end{Bmatrix} \rightarrow \begin{Bmatrix} 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 0 \\ 2 & 4 & 1 \end{Bmatrix}$$

Kerel 3x3

Mencari nilai direksi x *derivative* baris pertama dikurangi baris ke tiga dari kernel 3x3.

$$mx = (z_7 + 2z_8 + z_9) - (z_1 + 2z_2 + z_3)$$

$$mx = (2+(2*4)+1) - (1+(2*2)+2) = 4$$

Mencari nilai direksi y *derivative* kolom pertama dikurangi kolom ke tiga dari kernel 3x3.

$$my = (z_3 + 2z_6 + z_9) - (z_1 + 2z_4 + z_7)$$

$$my = (2+(2*0)+1) - (1+(2*1)+2) = -2$$

Menentukan gradient

$$mx^2 = 16 \quad my^2 = 4$$

$$\Delta f = [16 + 4]^{1/2} = (20)^{1/2} = 4,4721$$

Hasil dari total *gradient* berupa dalam bentuk citra.

### C. Keberhasilan Metode

Dalam pengujian aplikasi ini akan digunakan 3sample citra uji, yang masing – masing memiliki bentuk yang berbeda. Gambar ini dipilih untuk melihat keakuratan dari metode Sobel.

Nama File	Sobel	Wavelet Transform	Tumor Detection	Hasil
Original Image brain tumor				Terdeteksi
Original Image Brain				
Tumor(9).jpeg				

Original Image brain tumor				Tidak Terdeteksi
Original Image Brain				
Tumor(5).jpeg				
Original Image brain tumor				Terdeteksi
Original Image Brain				
Tumor(16).jpeg				

Gbr. 14 Sample pengujian pendeteksi tumor otak MRI

Dalam pengujian aplikasi ini akan digunakan 30 citra uji, yang masing – masing memiliki bentuk yang berbeda. Tabel hasil 30 pengujian citra sebagai berikut:

Tabel I  
Hasil persentase hasil citra uji

Jumlah Gambar	Jumlah Terdeteksi	Jumlah Tidak Terdeteksi	Persentase
30	18	12	60%

Pada Tabel.1 ditunjukkan hasil pengujian pendeteksian tumor otak dari citra *mri* yang sudah di olah menjadi *grayscale* lalu digunakan metode sobel. Pada pengujian ini tingkat keberhasilan sebesar 60%.

Tabel II  
Hasil persentase hasil citra uji

Nilai Gradient Sobel	Jumlah Terdeteksi	Jumlah Tidak Terdeteksi	Persentase
4.4721	24.85%	37.26%	62.11%

Perhitungan dari persentase hasil metode sobel sebagai berikut:

$$\frac{\text{Nilai gradient} \times 100\%}{\text{Jumlah citra}}$$

Untuk Total Persentase keberhasilan deteksi tepi dengan menggunakan metode sobel sebesar 62.11%.

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Aplikasi ini dapat menerapkan metode sobel dalam sebuah sistem pendeteksian indikasi tumor otak berdasarkan citra *magnetic resonance imaging*.
2. Penggunaan metode sobel cukup baik untuk mendeteksi citra yang tidak mengandung *noise*, sedangkan bila citra mengandung *noise* penggunaan metode sobel kurang sesuai karena *noise* masih terdeteksi.
3. Hasil penelitian terhadap citra tumor otak *mri* berhasil terdeteksi dengan persentase 60% dari total citra uji sebanyak 30 citra *mri* , untuk pendeteksian tepi menggunakan metode sobel sebesar 62.11%.

### B. Saran

1. Pendeteksian tepi untuk indikasi tumor otak menggunakan metode sobel perlu ditambahkan untuk jenis tumor yang terdapat agar penelitian lebih sempurna.
2. Dapat dikembangkan pendeteksian tepi indikasi tumor otak dengan menggunakan metode lain, misalnya metode *canny*, *support vending machine*, *segmentation and feature extraction*.

### **REFERENSI**

- [1] American Brain Tumor Association (ABTA). 2012. *About Brain Tumors a Primer for Patients and Caregivers*. Chicago : ABTA. Pp. 76 – 78.
- [2] Chudasama, D. Patel, T. Joshi, Shubham. Prajapati, G.I. 2015. *Image Segmentation using Morphological Operations*. *Information Technology*. Vol.117. No 18, ISSN : 0975-8887.
- [3] Dolly, Indra. 2016. Pendeteksian Tepi Objek Menggunakan Metode Gradien. *Teknik Informatika*, Vol.8. No 2, ISSN: 2087-1716.
- [4] Joseph, R. Paul, Singh, C. Senthil. Manikandan, M. 2014. Brain Tumor MRI Image Segmentation and Detection in Image Processing. *Electronic and Communication Engineering*. Vol.03. Issue.01, eISSN : 2319-1163
- [5] Priyawati, D. Soesanti, I. Hidayah, I. 2015. Kajian Pustaka Metode Segmentasi Citra pada MRI Tumor Otak. *Prosiding SNST VI, 2015, Semarang, Indonesia*. Hal. 207-215, ISBN: 978-602-99334-4-4.
- [6] Winarno, Edy. 2011. Aplikasi Deteksi Tepi pada *Realtime video* menggunakan Algoritma *Canny Detection*. *Teknik Informatika*, Vol.16. No.1. Hal.44-49, ISSN : 08549524.
- [7] Zhou, Ping, Wenjun, YE. Yaojie, Xia. Qi, Wang. 2011. An Improved Canny Algorithm for Edge Detection. *School of Computer and Information Engineering*, DOI:10.1109/WCSE.2009.718.