



TESIS - KI142501

IMAGE THRESHOLDING BERDASARKAN INDEX OF FUZZINESS DAN FUZZY SIMILARITY MEASURE

GULPI QORIK OKTAGALU PRATAMASUNU
NRP 5113 201 021

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Agus Zainal Arifin S.Kom., M.Kom.
Anny Yuniarti, S.Kom., M.Comp.Sc.

PROGRAM MAGISTER
JURUSAN TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015



THESIS - KI142501

IMAGE THRESHOLDING BASED ON INDEX OF FUZZINESS AND FUZZY SIMILARITY MEASURE

GULPI QORIK OKTAGALU PRATAMASUNU
NRP 5113 201 021

SUPERVISORS

Dr. Agus Zainal Arifin S.Kom., M.Kom.
Anny Yuniarti, S.Kom., M.Comp.Sc.

MAGISTER PROGRAM
DEPARTMENT OF INFORMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2015

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Komputer (M.Kom)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh

GULFI SYARIK OKTAGALI PRATAMASUNI
NRP. 5113 208 021

Dengan judul:
IMAGE THRESHOLDING BERDASARKAN INDEK OF FUZZINESS
DAN FUZZY SIMILARITY MEASURE

Tanggal Ujian : 7 Juli 2015
Periode Wisuda : 2014 Genap

Ditunjuk oleh

Dr. Agus Zainal Arifin, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19722009 190512 3 001



(Pembimbing I)

Amy Yudianti, S.Kom., M.Comput.Sc.
NIP. 19810622 200501 2 002



(Pembimbing II)

Dr. Eng. Nurik Nurani, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19710428 199412 2 001



(Pembimbing II)

Dr. Eng. Chantia Fardillah, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19751120 2000 12 2 003



(Pembimbing II)

Dial. Agus Nurrahman, S.Kom., M.Sc.
NIP. 61



(Pembimbing III)



Direktur Akademik dan Penunjang

Dr. H. I. Suk Suprijanto, M.T.

NIP. 1950-09-01 199002 1 001

IMAGE THRESHOLDING BERDASARKAN INDEX OF FUZZINESS DAN FUZZY SIMILARITY MEASURE

Nama : Gulpi Qorik Oktagalu Pratamasunu
NRP : 5113 201 021
Pembimbing : Dr. Agus Zainal Arifin, S.Kom., M.Kom.
Ko-pembimbing : Anny Yuniarti, S.Kom., M.Comp.Sc.

ABSTRAK

Image thresholding merupakan proses yang penting pada beberapa aplikasi pemrosesan citra. Hasil *thresholding* yang buruk sering terjadi karena adanya derau dan pencahayaan yang tidak seragam pada citra. Beberapa metode telah diusulkan untuk mengatasi masalah ini dengan mengasumsikan citra sebagai *fuzzy set*. Namun, metode *image thresholding* yang penentuan *threshold*-nya hanya memperhatikan fungsi keanggotaan *fuzzy set* saja tidak selalu menghasilkan *threshold* yang optimal karena tidak memperhatikan bentuk histogram. Oleh karena itu, pada penelitian ini diusulkan metode *image thresholding* dengan penentuan *threshold* berdasarkan similaritas antar *gray level* menggunakan *fuzzy similarity measure* yang mempertimbangkan fungsi keanggotaan *fuzzy set* dan bentuk histogram.

Pada penelitian ini, *fuzzy region* pada histogram ditentukan secara otomatis berdasarkan *index of fuzziness* terbesar pada setiap *gray level*. Kemudian histogram dibagi menjadi tiga daerah yaitu daerah gelap, *fuzzy region*, dan daerah terang. Setiap anggota *fuzzy region* diklasifikasikan kedalam dua daerah lainnya menggunakan *fuzzy similarity measure*.

Uji coba dilakukan pada citra sintetis berderau dan citra natural. Performa *thresholding* dievaluasi menggunakan *misclassification error*. Rata-rata nilai *misclassification error* mencapai 6,20% pada citra sintetis berderau dan 6,85% pada citra natural. Hasil uji coba menunjukkan bahwa metode yang diusulkan tahan terhadap derau dan efektif digunakan pada citra berderau dan citra natural.

Kata kunci: *Image Thresholding, Index of Fuzziness, Fuzzy Similarity Measure*

IMAGE THRESHOLDING BASED ON INDEX OF FUZZINESS AND FUZZY SIMILARITY MEASURE

By : Gulpi Qorik Oktagalu Pratamasunu
Student Identity Number : 5113 201 021
Supervisor : Dr. Agus Zainal Arifin, S.Kom., M.Kom.
Co-supervisor : Anny Yuniarti, S.Kom., M.Comp.Sc.

ABSTRACT

Image thresholding is an important task in several image processing applications. Bad thresholding results often occur because of the noise and non-uniform illumination on the image. Several methods have been proposed to overcome this problem by assuming the image as fuzzy sets. However, fuzzy image thresholding method based on fuzzy membership function cannot guarantee the optimal threshold selection, because it does not consider the shape of histogram. Therefore, in this study we propose a new method to threshold the image according to the similarity between gray levels using fuzzy similarity measure that considers fuzzy membership function and shape of histogram.

In this study, the fuzzy region in the histogram is determined by calculating the largest index of fuzziness at each gray level. Then the histogram is divided into three regions, namely the dark region, fuzzy region, and the bright region. Each member of the fuzzy region is classified into the other two region using fuzzy similarity measure.

Proposed method is evaluated using syntetic images with noises and natural images. The thresholding performance will be measured using misclassification error. Average value of misclassification error on syntetic images with noises and natural images are 6.20% and 6.85% respectively. Experiment results illustrate the robustness and effectiveness of the proposed method.

Keywords: *Image Thresholding, Index of Fuzziness, Fuzzy Similarity Measure*

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya, sehingga tesis berjudul “*Image Thresholding Berdasarkan Index of Fuzziness dan Fuzzy Similarity Measure*” dapat terselesaikan. Selama proses pengerjaan tesis, penulis telah mendapat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Secara khusus, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

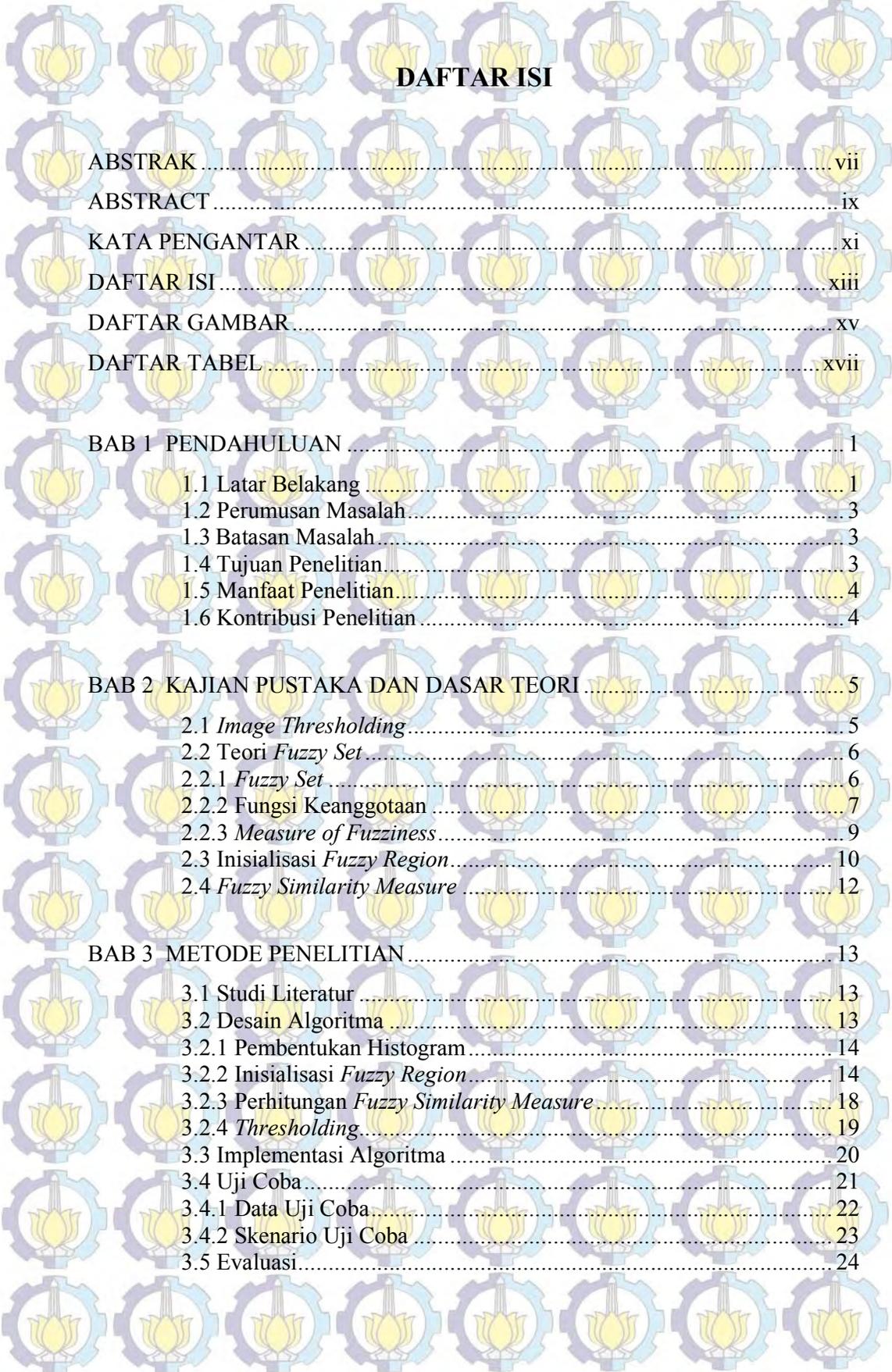
1. Bapak Dr. Agus Zainal Arifin, S.Kom., M.Kom. selaku Pembimbing I dan Ibu Anny Yuniarti, S.Kom., M.Comp.Sc. selaku Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktu untuk membimbing penulis dengan segala saran.
2. Dr. Eng. Nanik Suciati, S.Kom., M.Kom., Dr. Eng. Chastine Faticah, S.Kom., M.Kom., dan Dini Adni Navastara, S.Kom., M.Sc. selaku penguji tesis.
3. Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T. selaku Direktur program Pascasarjana ITS, Waskitho Wibisono, S.Kom., M.Eng. Ph.D selaku Ketua Program Pascasarjana Teknik Informatika, dan Ir. FX. Arunanto, M.Sc selaku dosen wali penulis serta para dosen yang telah membagikan ilmu dalam perkuliahan.
4. Olief Imandira Ratu Farisi, S.Pd., M.Si., yang berperan sebagai tim editor dalam menyempurnakan buku tesis ini.
5. Umi Hj. Tutik Islamiyah, Abi Drs. H. Sunarno, M.M., Mama Luluk Ilmiati, dan Papa Salman Farisi atas doa, dukungan, dan kepercayaan yang tiada henti.
6. Kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dirjen Dikti) yang telah memberikan bantuan beasiswa penuh kepada penulis selama menempuh studi pascasarjana melalui program Beasiswa Pendidikan Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN).
7. Para staf dan teman-teman di Jurusan Teknik Informatika ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari masih adanya keterbatasan dan kekurangan dalam tesis ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan tesis. Harapan penulis, semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penelitian di Indonesia. Amin.

Tesis ini, penulis persembahkan untuk Khaizuran Afkar Khawarizmi.

Surabaya, Juli 2015

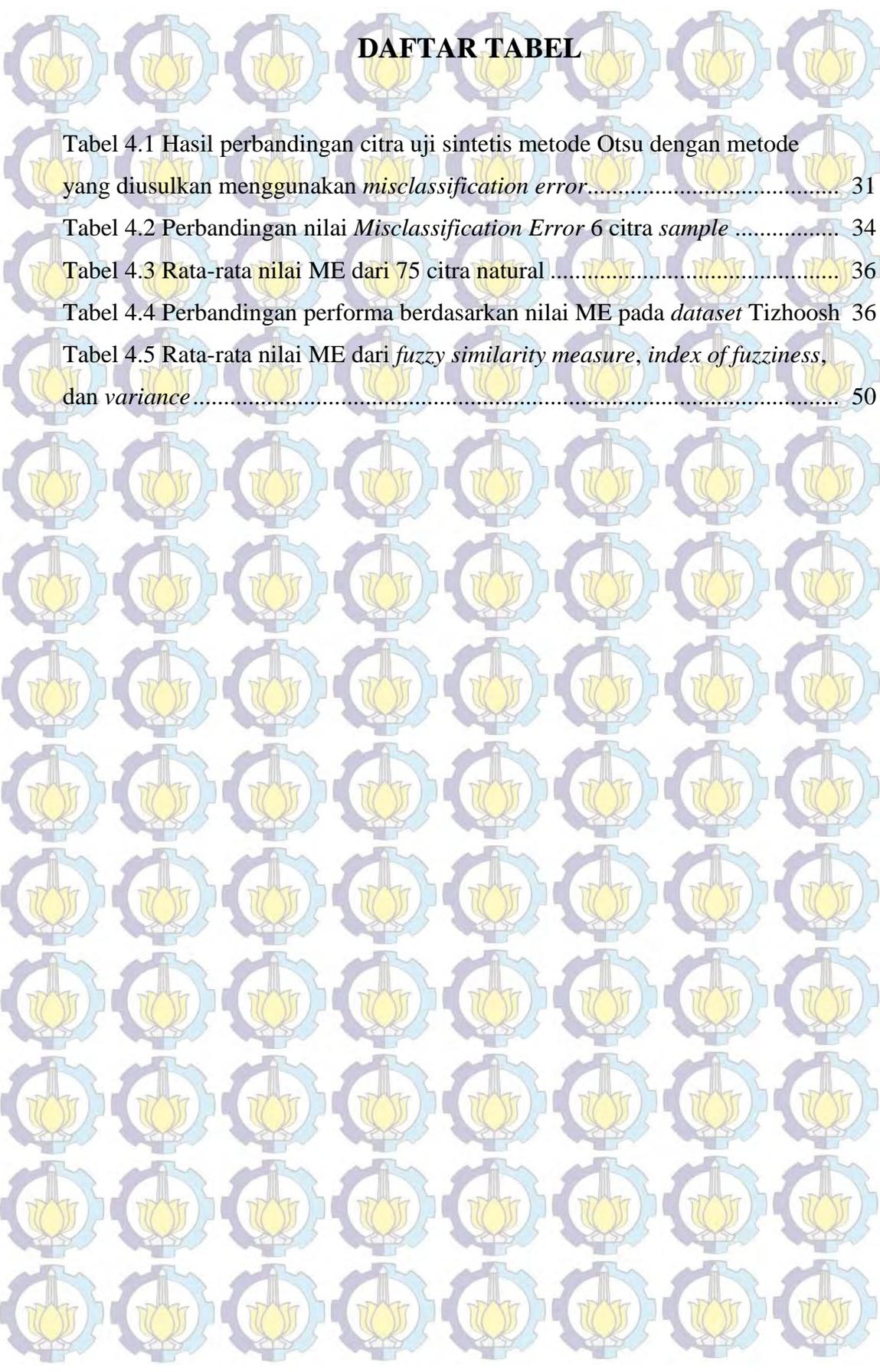
Gulpi Qorik Oktagalu Pratamasunu



DAFTAR ISI

ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Kontribusi Penelitian	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	5
2.1 <i>Image Thresholding</i>	5
2.2 Teori <i>Fuzzy Set</i>	6
2.2.1 <i>Fuzzy Set</i>	6
2.2.2 Fungsi Keanggotaan	7
2.2.3 <i>Measure of Fuzziness</i>	9
2.3 Inisialisasi <i>Fuzzy Region</i>	10
2.4 <i>Fuzzy Similarity Measure</i>	12
BAB 3 METODE PENELITIAN	13
3.1 Studi Literatur	13
3.2 Desain Algoritma	13
3.2.1 Pembentukan Histogram	14
3.2.2 Inisialisasi <i>Fuzzy Region</i>	14
3.2.3 Perhitungan <i>Fuzzy Similarity Measure</i>	18
3.2.4 <i>Thresholding</i>	19
3.3 Implementasi Algoritma	20
3.4 Uji Coba	21
3.4.1 Data Uji Coba	22
3.4.2 Skenario Uji Coba	23
3.5 Evaluasi	24

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Implementasi	25
4.1.1 Pembentukan Histogram Citra	25
4.1.2 Pencarian <i>Fuzzy Region</i> Berdasarkan <i>Index of Fuzziness</i>	26
4.1.3 <i>Thresholding</i> Berdasarkan <i>Fuzzy Similarity Measure</i>	27
4.2 Hasil Uji Coba	29
4.2.1 Hasil Uji Coba Citra Sintetis	29
4.2.2 Hasil Uji Coba Citra <i>Natural</i>	33
4.3 Pembahasan	38
 BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	 55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	57



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil perbandingan citra uji sintetis metode Otsu dengan metode yang diusulkan menggunakan <i>misclassification error</i>	31
Tabel 4.2 Perbandingan nilai <i>Misclassification Error</i> 6 citra <i>sample</i>	34
Tabel 4.3 Rata-rata nilai ME dari 75 citra natural	36
Tabel 4.4 Perbandingan performa berdasarkan nilai ME pada <i>dataset</i> Tizhoosh	36
Tabel 4.5 Rata-rata nilai ME dari <i>fuzzy similarity measure, index of fuzziness, dan variance</i>	50

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan alasan yang melatarbelakangi penelitian, rumusan masalah dan batasan masalah yang digunakan, tujuan-tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, dan manfaat yang diharapkan dari penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

Segmentasi citra adalah proses yang sangat penting bagi beberapa aplikasi pemrosesan citra. Kesalahan penentuan satu atau lebih elemen citra sebagai objek atau *background* bisa menyebabkan perbedaan hasil dari suatu sistem. Hingga saat ini, penelitian untuk menemukan metode segmentasi yang dapat menghasilkan citra tersegmentasi dengan kesalahan yang sedikit masih tetap dilakukan. Salah satu metode segmentasi citra yang paling sederhana dan mudah diimplementasikan adalah *thresholding*.

Pada proses *thresholding*, suatu nilai *threshold* dipilih untuk mengklasifikasi *pixels* dalam citra ke dalam objek atau *background* berdasarkan nilainya (Guo, dkk, 2014). Penentuan nilai *threshold* yang paling optimal dibutuhkan untuk menghindari kesalahan penentuan objek dan *background* dari citra. Akurasi segmentasi dari metode ini bergantung pada proses penentuan *threshold* yang berdasarkan pada histogram *gray level* citra.

Citra yang ideal memiliki histogram dengan lembah yang memisahkan dua puncak. Daerah lembah tersebut merupakan tempat terbaik untuk menemukan nilai *threshold* untuk histogram citra *bimodal* karena kedua puncak merepresentasikan *pixels* objek dan *background*. Namun, untuk citra yang tidak memiliki lembah pemisah yang jelas, hasil segmentasi metode *thresholding* menjadi kurang optimal.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut dengan mengusulkan metode *thresholding* berdasarkan sifat statistik dari histogram citra. Otsu (1979) memanfaatkan *between-class variance* untuk menentukan daerah dimana objek dan *background* dari suatu citra dapat dipisahkan secara optimal. Arifin dan Asano (2006) menggunakan *inter-class variance* dan *intra-class*

variance untuk melakukan *thresholding* citra dengan menerapkan analisis *hierarchal clustering*. Namun, adanya beberapa faktor yang mengganggu pada citra seperti pencahayaan yang tidak seragam, ambiguitas *gray level*, dan derau dapat mengganggu proses penentuan *threshold*.

Penggunaan teori *fuzzy set* pada proses *thresholding* diusulkan untuk mengatasi masalah tersebut. Huang dan Wang (1995) mengusulkan metode *thresholding* berdasarkan teori *fuzzy set*. *Yager's Measure* dan *entropy* berdasarkan *Shanon's function* digunakan untuk menentukan *measure of fuzziness* dari suatu histogram. *Threshold* yang optimal dapat ditemukan dengan meminimalkan fungsi kriteria yang berdasarkan nilai *measure of fuzziness* tersebut. Namun, untuk citra yang memiliki *multimodal* histogram, metode dengan fungsi kriteria dapat menghasilkan hasil yang tidak memuaskan karena dapat terjebak pada situasi lokal minimum.

Tobias dan Seara (2002) mengusulkan pendekatan untuk histogram *thresholding* berdasarkan similaritas antar *gray level* untuk mengatasi masalah tersebut. Metode ini membandingkan similaritas setiap anggota *gray level* pada *fuzzy region* menggunakan *index of fuzziness* dengan beberapa *gray level* dalam *cluster* objek dan *background* yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan cara ini, lokal minimum dapat dihindari saat penentuan *threshold* untuk citra yang memiliki histogram *multimodal*. Namun, penentuan awal *cluster* objek dan *background* yang masih dilakukan secara manual oleh peneliti membuat hasil *thresholding* bersifat subjektif.

Untuk mengatasi masalah tersebut, Lopes, dkk (2010) mengusulkan metode histogram *thresholding* otomatis yang merupakan pengembangan dari metode Tobias dan Seara (2002). Metode ini mengoptimasi penentuan *fuzzy region* berdasarkan perhitungan *pixels* minimal yang harus dimiliki oleh *cluster* objek dan *background*. Dengan perhitungan *pixels* minimal, *fuzzy region* dapat ditentukan secara otomatis. Namun, metode ini tidak menjamin dapat memilih *fuzzy region* yang efektif untuk semua jenis citra, misalnya citra dengan distribusi histogram yang tidak seimbang atau citra dengan kontras yang rendah. Selain itu, perhitungan similaritas yang hanya memperhitungkan fungsi keanggotaan *fuzzy* saja tidak dapat menjamin pemilihan *threshold* yang optimal karena dilakukan tanpa

memperhatikan bentuk dari histogram citra. Oleh karena itu, dibutuhkan metode *image thresholding* berdasarkan similaritas antar *gray levels* berbasis *fuzzy* dengan penentuan *fuzzy region* yang otomatis dengan penentuan *threshold* yang memperhatikan fungsi keanggotaan *fuzzy* dan bentuk dari histogram.

Pada penelitian ini, diusulkan metode *thresholding* citra berdasarkan *index of fuzziness* dan *fuzzy similarity measure* antar *gray level* pada histogram citra. *Index of fuzziness* digunakan untuk menentukan *fuzzy region* yang efektif secara otomatis, kemudian *threshold* yang optimal ditentukan dengan menghitung *fuzzy similarity measure* untuk setiap *gray level* yang terdapat pada *fuzzy region*.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, perumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana cara menentukan *fuzzy region* dari suatu citra secara otomatis berdasarkan *index of fuzziness*?
2. Bagaimana cara menentukan *threshold* yang optimal dari *fuzzy region* berdasarkan *fuzzy similarity measure*?

1.3 Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang akan diselesaikan, maka dalam penelitian ini masalah akan dibatasi pada citra yang akan diuji adalah citra abu-abu yang terdiri dari berbagai objek pada kehidupan sehari-hari.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan metode *image thresholding* berbasis *fuzzy* dengan penentuan *fuzzy region* yang efektif secara otomatis berdasarkan *index of fuzziness* dengan penentuan *threshold* berdasarkan *fuzzy similarity measure*.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan metode untuk menentukan *fuzzy region* yang efektif secara otomatis berdasarkan *index of fuzziness* dan melakukan *thresholding* citra berdasarkan *fuzzy similarity measure*.

1.6 Kontribusi Penelitian

Kontribusi dari penelitian ini adalah mengusulkan metode *image thresholding* berbasis *fuzzy* dengan penentuan *fuzzy region* yang efektif secara otomatis berdasarkan *index of fuzziness* dengan penentuan *threshold* berdasarkan *fuzzy similarity measure*.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

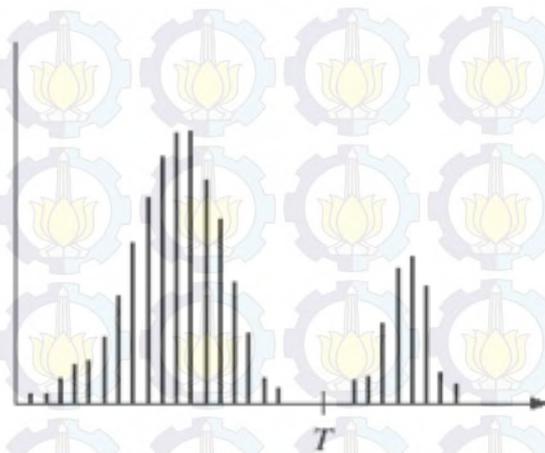
Pada bab ini akan diuraikan mengenai konsep dasar tentang teori yang akan digunakan dalam penelitian ini. Pemaparan tersebut meliputi penjelasan tentang *image thresholding*, teori *fuzzy set*, inisialisasi *fuzzy region*, dan *fuzzy similarity measure*.

2.1 Image Thresholding

Image thresholding adalah proses mengubah citra berderajat keabuan menjadi citra biner atau hitam putih sehingga objek dan *background* dari citra dapat dipisahkan secara jelas. Proses ini dilakukan dengan memilih suatu nilai sebagai batas antara daerah objek dan *background*. Hasil dari *image thresholding* biasanya digunakan dalam proses ekstraksi fitur, pengenalan pola, dan klasifikasi objek. Oleh karena itu, performa metode *image thresholding* sangatlah penting karena akan memengaruhi hasil akhir dari suatu sistem pemrosesan citra.

Secara umum, pemilihan *threshold* dapat dikategorikan ke dalam dua metode, yaitu metode lokal dan global (Lopes, dkk, 2010). Metode global hanya menggunakan satu nilai *threshold* untuk melakukan proses *thresholding*, sedangkan metode lokal membagi citra menjadi beberapa bagian dan memilih nilai *threshold* yang tepat untuk masing-masing bagian. Metode global mudah diimplementasikan dan memiliki waktu komputasi yang cepat sehingga lebih banyak digunakan dalam aplikasi pemrosesan citra (Lopes, dkk, 2010).

Penentuan nilai *threshold* secara global dapat ditentukan berdasarkan histogram dari citra, karena dari suatu histogram dapat diketahui frekuensi kemunculan relatif dari intensitas citra pada citra digital tersebut. Untuk citra dengan objek yang mudah dipisahkan dengan *background*, terdapat lembah yang memisahkan dua puncak dalam histogram. Lembah ini merupakan tempat yang tepat untuk penentuan *threshold* dari citra tersebut (Tobias, 2002). Penentuan *threshold* berdasarkan histogram citra ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Histogram *thresholding*

Setelah nilai *threshold* yang dapat membagi dua puncak tersebut ditemukan, langkah selanjutnya adalah mengekstraksi objek dari citra tersebut. Dengan mengganti warna *pixels* disebelah kiri nilai *threshold* pada histogram menjadi hitam dan mengganti warna *pixels* disebelah kanan nilai *threshold* pada histogram menjadi putih, akan didapatkan citra biner yang dapat memisahkan objek dengan *background*. Untuk citra $f(x, y)$ dan nilai *threshold* T maka citra hasil *threshold* dapat dibentuk melalui persamaan

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{jika } f(x, y) \geq T \\ 0 & \text{jika } f(x, y) < T \end{cases} \quad (2.1)$$

2.2 Teori Fuzzy Set

Dalam subbab ini akan diuraikan penjelasan tentang *fuzzy set*, fungsi keanggotaan, dan beberapa *measure of fuzziness* yang telah digunakan dalam *image thresholding*.

2.2.1 Fuzzy Set

Fuzzy set adalah suatu himpunan dimana tidak ada batasan yang jelas apakah suatu elemen termasuk dalam himpunan tersebut atau tidak (Tobias dan Seara, 2002). Setiap anggota dalam *fuzzy set* memiliki derajat nilai keanggotaan yang menentukan potensi anggota tersebut dapat masuk ke dalam suatu *fuzzy set*. *Fuzzy set* adalah pengembangan dari logika klasik yang memodelkan segala hal

dengan istilah *boolean* (ya dan tidak, 0 dan 1). Dimana dalam *fuzzy set* nilai kebenaran *boolean* digantikan dengan suatu nilai tingkat kebenaran yang biasa disebut dengan nilai derajat keanggotaan. Untuk himpunan semesta X , x_i adalah anggota dari X maka *fuzzy set* A dapat didefinisikan sebagai berikut

$$A = \{(x_i, \mu_A(x_i)) | x_i \in X\} \quad (2.2)$$

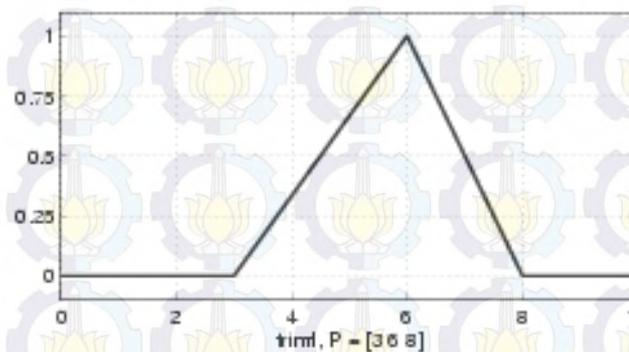
dengan μ_A adalah fungsi keanggotaan *fuzzy set* A dan $\mu_A(x_i)$ adalah derajat keanggotaan anggota x_i pada *fuzzy set* A .

Nilai $\mu_A(x_i)$ menentukan kemungkinan anggota x_i termuat pada *set* A yang nilainya terletak pada rentang $[0, 1]$. Jika x_i adalah elemen didalam himpunan A , maka $\mu_A(x_i) = 1$. Sedangkan jika x_i bukanlah elemen didalam himpunan A , maka $\mu_A(x_i) = 0$. Nilai fungsi keanggotaan yang lebih besar (mendekati 1) menunjukkan bahwa x_i mempunyai derajat keanggotaan yang lebih kuat (Zimmermann, 2000).

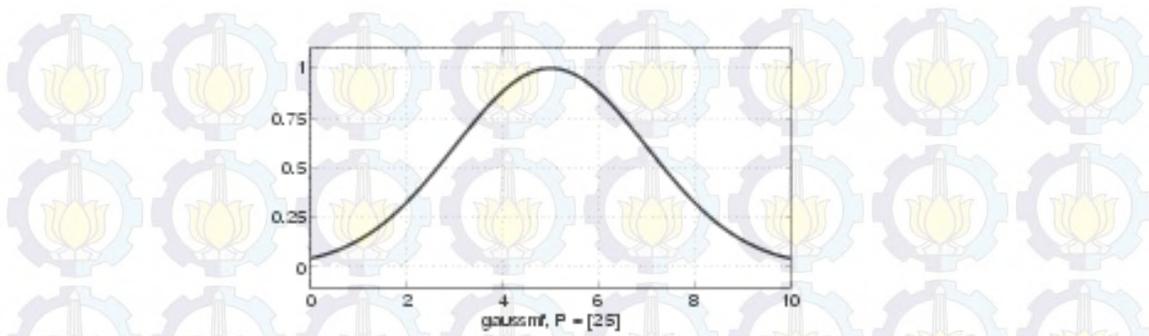
2.2.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan adalah fungsi yang digunakan untuk memetakan derajat keanggotaan setiap anggota dalam suatu *fuzzy set*. Fungsi keanggotaan ini yang akan menentukan karakteristik dari derajat keanggotaan setiap anggota pada *fuzzy set*. Penentuan fungsi keanggotaan biasanya didefinisikan oleh pakar berdasarkan pengetahuan atau intuisinya (Tizhoosh, 2005).

Secara umum fungsi keanggotaan dapat dibedakan menjadi beberapa kategori berdasarkan karakteristik garis yang membentuknya. Sebagai contoh, fungsi keanggotaan yang dibentuk menggunakan garis lurus adalah fungsi keanggotaan yang paling mudah pembentukannya. Fungsi keanggotaan *triangular* yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 termasuk dalam kategori ini.



Gambar 2.2 Fungsi keanggotaan *triangular*



Gambar 2.3 Fungsi keanggotaan berdasarkan distribusi *Gaussian*

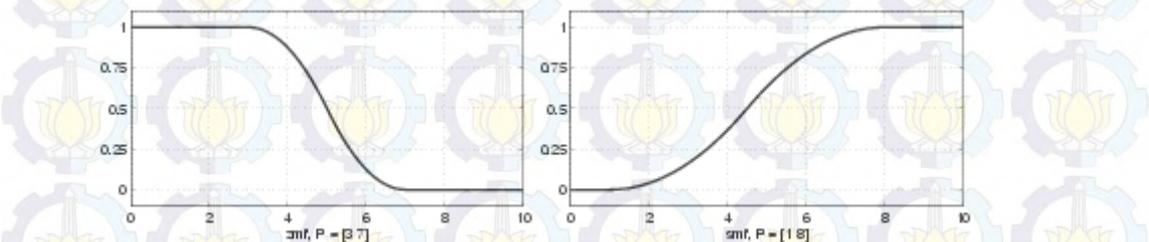
Fungsi keanggotaan lainnya dibentuk berdasarkan kurva distribusi *Gaussian*. Fungsi keanggotaan ini merepresentasikan *fuzzy set* dalam bentuk distribusi *Gaussian* yang ditunjukkan pada Gambar 2.3. Fungsi keanggotaan berdasarkan fungsi *sigmoidal* dapat digunakan sebagai pengganti fungsi keanggotaan berdasarkan distribusi *Gaussian* pada kasus tertentu yang membutuhkan fungsi keanggotaan yang tidak simetris.

Tobias dan Seara (2002) menggunakan fungsi keanggotaan *Z* dan *S* untuk merepresentasikan *fuzzy subset background* dan objek secara terpisah. Fungsi keanggotaan ini dibentuk berdasarkan kurva polinomial dan dibentuk menyerupai huruf *Z* dan huruf *S* yang didefinisikan

$$\mu_{A_S}(x) = S(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < a \\ 2 \left\{ \frac{x-a}{c-a} \right\}^2, & a \leq x \leq b \\ 1 - 2 \left\{ \frac{x-c}{c-a} \right\}^2, & b < x \leq c \\ 1, & x > c \end{cases} \quad (2.3)$$

$$\mu_{A_Z}(x) = Z(x; a, b, c) = 1 - S(x; a, b, c). \quad (2.4)$$

Fungsi keanggotaan *Z* dan *S* ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Fungsi keanggotaan *Z* dan *S*

2.2.3 Measure of Fuzziness

Penentuan seberapa samar suatu *fuzzy set* sering menjadi masalah ketika suatu citra direpresentasikan ke dalam *fuzzy set*. Penentuan ini dapat dilakukan dengan menganalisis fungsi keanggotaan *fuzzy set* tersebut. Jika fungsi keanggotaannya datar, maka sangatlah samar. Sebaliknya, jika fungsi keanggotaannya curam, maka *fuzzy set* tersebut sangat jelas keanggotaannya. Semakin samar suatu *fuzzy set*, maka semakin besar ketidakpastian di dalamnya yang menyebabkan semakin sulitnya proses penentuan *threshold* pada *image thresholding*.

Measure of fuzziness adalah ukuran yang ditujukan untuk mengatasi masalah tersebut. *Measure of fuzziness* mengestimasi rata-rata ambiguitas dari suatu *fuzzy set* yang terdefinisi dengan jelas. *Fuzziness* dari suatu *crisp set* seharusnya bernilai nol diukur menggunakan sebarang ukuran, karena tidak terdapat ambiguitas dalam penentuan apakah suatu elemen termasuk dalam *set* atau tidak.

Beberapa pendekatan telah diusulkan untuk mengukur derajat *fuzziness* dari suatu *fuzzy set* (Pal dan Bezdek, 1994). Dua pendekatan yang biasa digunakan adalah pengukuran *entropy* berdasarkan fungsi Shannon dan *measure of fuzziness Yager* (Huang dan Wang, 1995). Tobias dan Seara (2002) menggunakan *measure of fuzziness* yang diusulkan oleh Kaufmann yaitu *index of fuzziness* untuk menentukan seberapa samar suatu *fuzzy set*.

Dengan menggunakan *index of fuzziness*, kepadatan suatu *fuzzy set* dibandingkan dengan *ordinary set* terdekatnya dapat dihitung. Semakin kecil jarak suatu *fuzzy set* dengan *ordinary set* terdekatnya, semakin kecil nilai *index of fuzziness*-nya. Semakin kecil nilai *index of fuzziness*, semakin sulit untuk memisahkan *fuzzy set* tersebut karena setiap anggota di dalamnya memiliki kesamaan yang besar. Untuk *fuzzy set* A , *ordinary set* terdekat A^* , n banyak anggota dalam A , μ_A fungsi keanggotaan A , dan penentu bentuk kurva k , *index of fuzziness* dari A dihitung berdasarkan persamaan

$$\psi(A) = \frac{2}{n^{\frac{1}{k}}} \left[\sum_{i=1}^n (\mu_A(x_i) - \mu_A^*(x_i))^k \right]^{\frac{1}{k}} \quad (2.5)$$

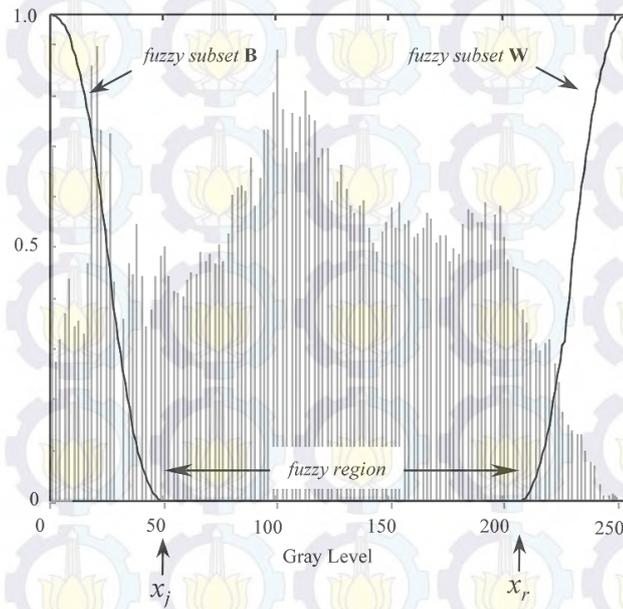
Sedangkan menurut Tizhoos (2005), nilai *linear index of fuzziness* (γ) berdasarkan pendekatan Kaufmann untuk *gray level* maksimum L , *gray level* g , dan jumlah *pixels* dalam citra N , dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$\gamma_A = \frac{2}{N} \sum_{g=0}^{L-1} h(g) \times \min[\mu_A(g), 1 - \mu_A(g)] \quad (2.6)$$

Fungsi minimum dalam persamaan (2.6) digunakan untuk mendapatkan nilai *index of fuzziness* yang seimbang untuk setiap *gray level*, karena fungsi keanggotaan yang digunakan hanya satu. Jika fungsi minimum ini ditiadakan maka nilai *index of fuzziness* pada satu sisi *gray level* lebih besar daripada sisi yang lain.

2.3 Inisialisasi Fuzzy Region

Fuzzy region adalah daerah dalam histogram yang berada di antara *fuzzy subset* objek dan *background*. *Fuzzy region* tidak bisa diklasifikasikan secara langsung ke dalam *subset* objek atau *background* karena pada daerah tersebut terdapat *threshold* yang optimal. Ukuran *fuzzy region* akan mempengaruhi banyaknya anggota awal *subset* objek dan *background* yang disebut *initial seed*. Semakin besar *fuzzy region*, semakin kecil *initial seed* yang membuat *subset* objek dan *background* kurang representatif. Sedangkan semakin kecil *fuzzy region* akan berakibat semakin kecilnya pilihan *threshold* yang dapat dipilih. Ilustrasi mengenai *fuzzy region*, *fuzzy subset* objek, dan *fuzzy subset background* dalam histogram, ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Penentuan *fuzzy region* (Tobias, 2002)

Penentuan *fuzzy region* dapat dilakukan dengan beberapa cara. Dalam penelitiannya, Tobias (2002) menentukan *fuzzy region* secara manual berdasarkan bentuk dari histogram citra yang akan di-*threshold*. Hal ini dilakukan agar *initial seed* dapat merepresentasikan *fuzzy subset* objek dan *background*, serta terdapat pilihan yang cukup untuk menentukan *threshold* dari *fuzzy region*. Namun, penentuan secara manual ini akan membuat hasil *thresholding* menjadi subjektif. Selain itu, metode penentuan *threshold* seperti ini akan sulit diterapkan pada sekelompok citra yang sangat banyak.

Lopes, dkk (2010) mengusulkan metode untuk menentukan *fuzzy region* secara otomatis. Metode ini dilakukan dengan membatasi jumlah *pixels* minimal yang harus dimiliki setiap *initial seed*. *Pixels* minimal ditentukan dengan mengalikan $P1$ dengan jumlah *pixels* pada *gray level* 0 hingga 127 untuk *background*, dan 128 hingga 256 untuk objek. Untuk *initial seed background* B_{seed} , *initial seed* objek O_{seed} , dan intensitas histogram ke- i adalah $h(x_i)$, *pixels* minimum untuk masing-masing *initial seed* dihitung berdasarkan persamaan

$$MinPix_{B_{seed}(O_{seed})} = P1 \sum_{i=0(128)}^{127(255)} h(x_i) \quad (2.7)$$

dengan $P1$ ditentukan berdasarkan penurunan nilai statistik dari tiga puluh citra yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Dari penelitian tersebut, didapatkan nilai $P1$ adalah 39.64%.

2.4 Fuzzy Similarity Measure

Fuzzy similarity measure adalah ukuran kedekatan antaranggota pada suatu *fuzzy set*. Dengan pengukuran ini, dapat diketahui seberapa dekat anggota suatu *fuzzy set* dengan anggota lain yang berada di dalamnya. Ukuran ini dapat dimanfaatkan untuk menentukan keanggotaan suatu elemen terhadap beberapa *fuzzy set* yang ada. Elemen tersebut adalah milik dari *fuzzy set* yang memiliki *fuzzy similarity measure* terbesar karena kesamaan yang dimiliki oleh *fuzzy set* tersebut paling besar.

Perhitungan *fuzzy similarity measure* dapat dilakukan dengan memanfaatkan beberapa *measure of fuzziness* yang telah diusulkan. *Index of fuzziness* dapat digunakan untuk menentukan seberapa *fuzzy* suatu *fuzzy set* dengan membandingkan *fuzzy set* tersebut dengan *near-crisp set*-nya. *Entropy* juga dapat digunakan untuk menentukan seberapa dekat elemen dalam suatu *fuzzy set*. Semakin besar nilai *measure of fuzziness* dalam suatu *fuzzy set*, semakin besar jarak antaranggota di dalamnya. Semakin besar jarak antaranggota dalam suatu *fuzzy set*, kemungkinan *fuzzy set* tersebut dapat dipisahkan semakin besar.

BAB 3 METODE PENELITIAN

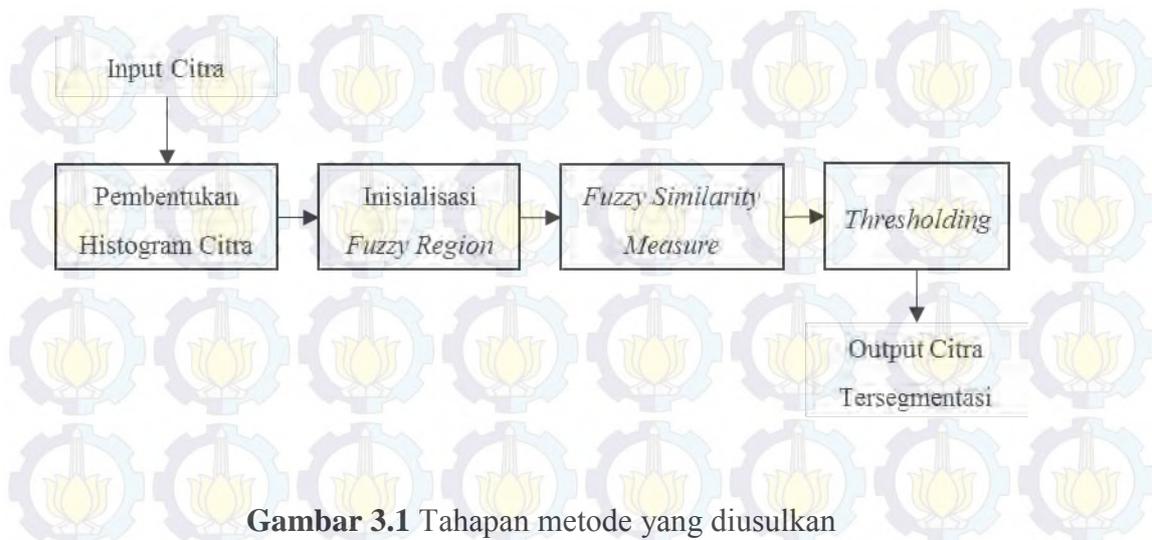
Untuk mencapai tujuan yang diharapkan dalam penelitian ini, terdapat beberapa langkah yang akan dilakukan. Langkah-langkah yang dilakukan adalah (i) studi literatur, (ii) desain algoritma, (iii) implementasi algoritma, (iv) uji coba, dan (v) evaluasi.

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori dasar tentang *fuzzy set* dan penggunaannya dalam *image thresholding*. Dengan mempelajari berbagai pendekatan yang digunakan pada *image thresholding* menggunakan teori *fuzzy set*, didapatkan kelebihan dan kelemahan setiap pendekatan. Kontribusi penelitian didapatkan dengan membentuk suatu metode *image thresholding* baru yang terinspirasi oleh berbagai pendekatan yang memiliki banyak kelebihan dan menutupi kekurangannya dengan teori dasar pendekatan lainnya. Studi literatur dilakukan dari penelitian-penelitian sebelumnya tentang teori *fuzzy set*, *image thresholding*, dan *image thresholding* yang berdasarkan pada teori *fuzzy set*. Penelitian tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan pendekatan yang digunakan agar keterangan dari setiap pendekatan mudah didapatkan.

3.2 Desain Algoritma

Setelah melakukan studi literatur, langkah selanjutnya adalah merancang algoritma *image thresholding* yang diusulkan berdasarkan *index of fuzziness* dan *fuzzy similarity measure*. Secara garis besar, algoritma untuk melakukan *image thresholding* tersebut dapat dibagi menjadi empat tahap yaitu, (i) Pembentukan Histogram, (ii) Inisialisasi *Fuzzy Region*, (iii) Perhitungan *Fuzzy Similarity Measure*, (iv) *Thresholding*. Adapun bagan dari metode yang diusulkan digambarkan pada Gambar 3.1. Setiap tahap tersebut akan dijelaskan lebih detail pada subbab berikut.



Gambar 3.1 Tahapan metode yang diusulkan

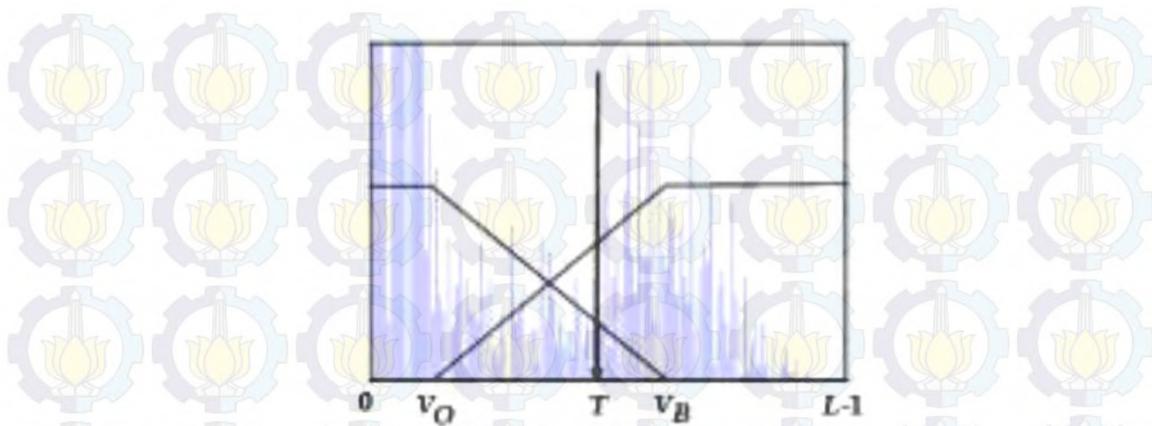
3.2.1 Pembentukan Histogram

Pada tahap ini, citra yang akan diproses dikonversi terlebih dahulu ke dalam citra abu-abu dan kemudian dilakukan pembentukan histogram. Histogram citra terdiri dari persebaran nilai-nilai intensitas *pixel* dari suatu citra atau pada bagian tertentu dari citra. Semua tahapan selanjutnya dari metode yang diusulkan berdasarkan pada histogram karena dari suatu histogram dapat diketahui frekuensi kemunculan relatif dari intensitas citra pada citra tersebut.

3.2.2 Inisialisasi *Fuzzy Region*

Setelah histogram citra didapatkan, langkah selanjutnya adalah inisialisasi *fuzzy region* yang memisahkan *fuzzy subset* objek dan *background*. Untuk menentukan *fuzzy region* dari suatu histogram, perlu diketahui letak dan ukuran *fuzzy region* tersebut. Pada histogram *bimodal* yang ideal, *fuzzy region* adalah daerah diantara kedua puncak yang merepresentasikan *background* dan objek.

Penentuan *fuzzy region* yang efektif dapat dilakukan dengan mencari daerah yang memiliki *measure of fuzziness* terbesar dan terletak diantara daerah *background* dan objek. Tetapi, ukuran dari *fuzzy region* sangat sulit untuk ditentukan tanpa bantuan manusia. Selain itu, untuk histogram yang tidak ideal letak *background* dan objek tidak bisa ditentukan dengan mudah.



Gambar 3.2 Konsep histogram *thresholding* Arifin dan Asano (2005)

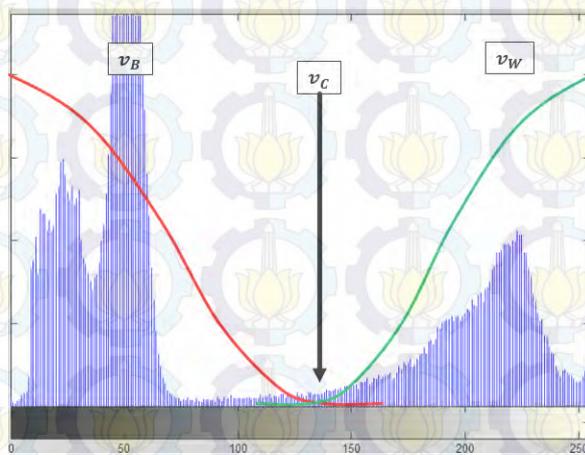
Dalam penelitian ini, masalah tersebut akan diatasi dengan memanfaatkan konsep histogram *thresholding* yang diusulkan oleh Arifin dan Asano (2005) yang digambarkan pada Gambar 3.2. Dalam penelitian tersebut, diasumsikan bahwa suatu titik *threshold* dapat membagi histogram menjadi dua daerah, daerah diantara nilai tengah dari daerah objek (v_O) dan nilai tengah dari daerah *background* (v_B) memiliki derajat keanggotaan objek dan *background* yang saling bertolak belakang. Dengan kata lain, daerah tersebut adalah daerah dengan derajat keanggotaan yang samar atau *fuzzy*. Semakin *fuzzy* suatu daerah dalam histogram, maka nilai *index of fuzziness* akan semakin besar. Berdasarkan konsep ini, maka pencarian *fuzzy region* dapat dilakukan dengan menempatkan suatu titik v_C dan menghitung *index of fuzziness* disetiap *gray level*.

Pergantian ukuran dan letak *fuzzy region* yang direpresentasikan dengan titik v_C akan mengakibatkan berubahnya *fuzzy set* daerah gelap (B) dan daerah terang (W). Oleh karena itu, fungsi keanggotaan kedua daerah tersebut (μ_B dan μ_W) perlu diperbarui seiring dengan perubahan nilai v_C . Perhitungan nilai μ_B dan μ_W dapat dihitung berdasarkan persamaan

$$\mu_B(g) = Z\left(g; 0, \frac{0 + v_C}{2}, v_C\right) \quad (3.1)$$

$$\mu_W(g) = S\left(g; v_C, \frac{v_C + L}{2}, L\right). \quad (3.2)$$

Penentuan fungsi keanggotaan tersebut menggunakan perhitungan *S-function* untuk μ_W dan perhitungan *Z-function* untuk μ_B yang dihitung berdasarkan persamaan (2.3) dan persamaan (2.4). Nilai μ_B akan bernilai maksimum jika berada pada *gray level* minimum dan akan bernilai minimum pada titik v_C . Hal ini juga berlaku sebaliknya, nilai μ_W akan bernilai maksimum jika berada pada *gray level* maksimum dan bernilai minimum pada titik v_C . Penentuan fungsi keanggotaan ini ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Penentuan fungsi keanggotaan histogram

Untuk mendapatkan daerah dengan nilai *index of fuzziness* (γ_T) terbesar, perhitungan nilai *index of fuzziness* dilakukan pada setiap perubahan titik tengah v_C . Nilai ini bisa didapatkan dengan mengalikan nilai *index of fuzziness* dari *fuzzy set* daerah gelap (B) dan *daerah terang* (W). *Index of fuzziness* untuk *fuzzy set* daerah gelap (γ_B) dan *index of fuzziness* untuk *fuzzy set* daerah terang (γ_W) ditentukan menggunakan persamaan (3.3) dan (3.4).

Persamaan (3.3) dan (3.4) didapatkan berdasarkan perhitungan *index of fuzziness* menurut Tizhoosh (2005) pada persamaan (2.6). Fungsi minimum sengaja dihilangkan karena pada perhitungan *index of fuzziness* (γ_T) digunakan dua fungsi keanggotaan yang nilainya saling berlawanan, sehingga perhitungan nilai *index of fuzziness* (γ_T) seimbang disetiap *gray levels* tanpa menggunakan fungsi minimum. Nilai *index of fuzziness* (γ_T) pada setiap titik v_C , dapat dihitung menggunakan persamaan (3.5).

$$\gamma_B = \frac{2}{N} \sum_{g=0}^{L-1} h(g) \times \mu_B(g) \quad (3.3)$$

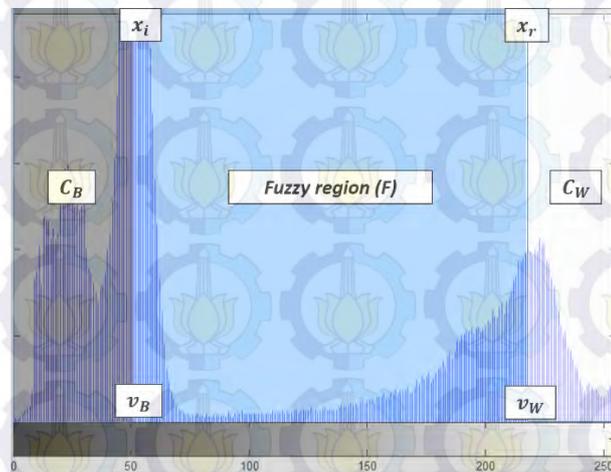
$$\gamma_W = \frac{2}{N} \sum_{g=0}^{L-1} h(g) \times \mu_W(g) \quad (3.4)$$

$$\gamma_T = \gamma_B \cdot \gamma_W \quad (3.5)$$

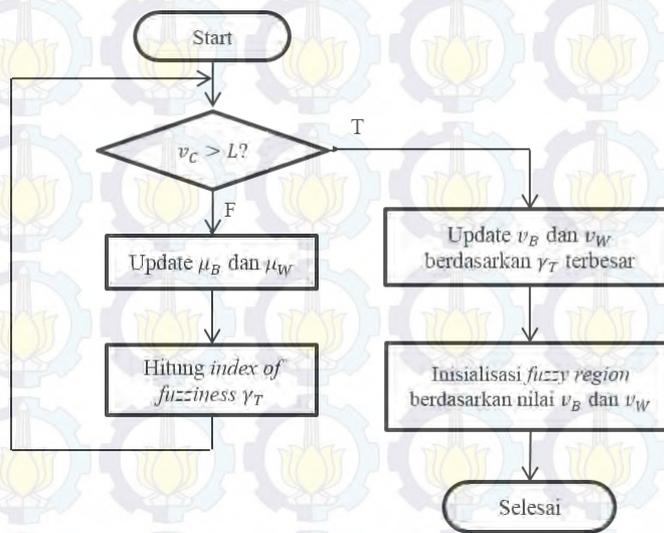
$$v_B = \frac{\sum_{g=0}^{v_C} g \cdot h(g)}{\sum_{g=0}^{v_C} h(g)} \quad (3.6)$$

$$v_W = \frac{\sum_{g=v_C+1}^{L-1} g \cdot h(g)}{\sum_{g=v_C+1}^{L-1} h(g)} \quad (3.7)$$

Setelah didapatkan nilai γ_T terbesar, *fuzzy region* terletak diantara nilai v_B dan v_W . Perhitungan nilai v_B dan v_W untuk titik tengah v_C , *gray level* g , *gray level* maksimum L , dan histogram h , dihitung menggunakan persamaan (3.6) dan (3.7). Langkah selanjutnya adalah melakukan inialisasi *intial seed fuzzy subset* C_B , *initial seed fuzzy subset* C_W , dan inialisasi *fuzzy region*. *Fuzzy region* adalah daerah diantara v_B dan v_W . *Initial seed* C_B adalah daerah diantara *gray level* minimum dan v_B . Sedangkan *initial seed* C_W adalah daerah diantara v_W dan *gray level* maximum. Inialisasi *fuzzy region* ini ditunjukkan pada Gambar 3.4. Bagan penentuan *fuzzy region* pada algoritma ini ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Inialisasi *fuzzy region*



Gambar 3.5 Flowchart inisialisasi fuzzy region

3.2.3 Perhitungan Fuzzy Similarity Measure

Setelah *fuzzy region* ditemukan, langkah selanjutnya adalah mengukur *fuzzy similarity measure* setiap anggota *fuzzy region* ($f \in F$) dengan *initial seed* daerah gelap (C_B) dan daerah terang (C_W). Ukuran yang digunakan adalah ukuran similaritas antar *gray level* yaitu *fuzzy similarity measure* yang terinspirasi berdasarkan perhitungan *variance*. *Fuzzy similarity measure* menghitung similaritas antar *gray level* dengan memperhitungkan intensitas *gray level*, fungsi keanggotaan, serta selisih fungsi keanggotaan dengan *ordinal set*-nya.

Fungsi keanggotaan yang digunakan dalam perhitungan *fuzzy similarity measure* adalah fungsi keanggotaan yang telah disesuaikan berdasarkan *fuzzy region* pada histogram. Pada penyesuaian ini, v_c menjadi *crossover point* untuk masing-masing fungsi keanggotaan karena posisinya yang berada pada nilai tengah *fuzzy region*. Penyesuaian nilai fungsi keanggotaan μ_B dan μ_W ditentukan menggunakan persamaan

$$\mu_B(g) = Z(g; v_B, v_C, v_W) \quad (3.8)$$

$$\mu_W(g) = S(g; v_B, v_C, v_W). \quad (3.9)$$

Fuzzy similarity measure (ξ) dihitung untuk setiap anggota *fuzzy region* f terhadap C_B dan C_W . Nilai ξ untuk *set* $(C_X \cup \{f_j\})$, *initial seed* suatu daerah C_X , anggota ke- j *fuzzy region* f_j , *gray level* z , intensitas *gray level* $h(z)$ dapat dihitung menggunakan persamaan

$$\zeta(C_X \cup \{f_j\}) = \frac{\sum_{z=1}^n (z - M(C_X \cup \{f_j\}))^2}{\sum_{z=1}^n h(z)} \quad (3.10)$$

$$M(A) = \sum_{z=1}^n h(z) \times \mu_A(z) \times z \times |(\mu_A(z) - \mu_A^*(z))| \quad (3.11)$$

dengan nilai $M(C_X \cup \{f_j\})$ dihitung menggunakan persamaan (3.11). $M(A)$ adalah nilai *mean* dari daerah gabungan A dengan memperhitungkan intensitas *gray level* $h(z)$, fungsi keanggotaan *fuzzy* $\mu_A(z)$, dan selisih fungsi keanggotaan dengan komplementennya $|(\mu_A(z) - \mu_A^*(z))|$. Nilai ini selanjutnya akan digunakan untuk melakukan *thresholding* citra.

3.2.4 Thresholding

Berdasarkan hasil perhitungan *fuzzy similarity measure*, histogram daerah *fuzzy region* dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian gelap dan bagian terang. Nilai *fuzzy similarity measure* perlu dinormalisasi terlebih dahulu karena proses klasifikasi dilakukan dengan membandingkan nilai ζ . Hal ini dapat dilakukan dengan menghitung nilai *fuzzy similarity measure* untuk *initial seed subset* C_B dan C_W , dan menghitung faktor normalisasi α berdasarkan persamaan

$$\alpha = \frac{\zeta(C_W)}{\zeta(C_B)}. \quad (3.11)$$

Dengan pembagian ini, maka citra abu-abu dapat dikonversi menjadi citra biner dengan nilai *threshold* yang didapatkan dari indeks ζ_{total} terbesar yang dihitung menggunakan persamaan

$$\zeta_{total} = \zeta(C_W \cup \{f_j\}) \cdot \alpha \cdot \zeta(C_B \cup \{f_j\}). \quad (3.12)$$

3.3 Implementasi Algoritma

Desain algoritma dari metode yang diusulkan diimplementasi pada MATLAB untuk memudahkan implementasi sehingga dapat fokus pada pengembangan algoritma. Metode yang diimplementasi adalah metode *image thresholding* baru berdasarkan *index of fuzziness* dan *fuzzy similarity measure*. Implementasi dapat dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian *inisialisasi fuzzy region*, perhitungan *fuzzy similarity measure*, dan tahap *thresholding* citra.

Berikut adalah fungsi untuk menghitung nilai *index of fuzziness* (γ_T) pada setiap *gray level*.

```
N=sum(his);
for vc=2:255
    % pembentukan nilai membership function setiap iterasi
    muB(1:256, vc) = transpose(zmf(r, [a vc]));
    muW(1:256, vc) = transpose(smf(r, [vc c]));
end
for pos=0:255
    % hitung nilai index of fuzziness setiap posisi
    % iof objek dan iof background dihitung terpisah
    gamB(pos+1)=2*(sum(his.*min(muB(1:256,pos+1),...
                               1-muW(1:256,pos+1)))/N);
    gamW(pos+1)=2*(sum(his.*min(muW(1:256,pos+1),...
                               1-muB(1:256,pos+1)))/N);
end
gamTotal=gamW.*gamB;
```

Kemudian inisialisasi *fuzzy region* dan *initial seed* setelah titik v_C ditentukan dapat dilakukan menggunakan fungsi berikut.

```
vb= round(sum(his(1:vc).*k(1:vc))/N);
vw= round(sum(his(vc:256).*k(vc:256))/N);
miu_B=zfunc(Vb, Vc, Vw);
miu_W=sfunc(Vb, Vc, Vw);

hB=h'.*miu_B+miu_B;
hW=h'.*miu_W+miu_W;
```

```

% penentuan initial seed
cB=miu_B(1:Vb);
cW=miu_W(Vw:256);

hcB=hB(1:Vb)';
hcW=hW(Vw:256)';

% penentuan membership fuzzy region

freg_B=miu_B(Vb+1:Vw-1);
freg_W=miu_W(Vb+1:Vw-1);

hfreg_B=hB(Vb+1:Vw-1)';
hfreg_W=hW(Vb+1:Vw-1)';

```

Langkah selanjutnya adalah dengan menghitung *fuzzy similarity measure* setiap *gray level* anggota *fuzzy region* dengan fungsi berikut.

```

% subset dihitung menggunakan IF
subset=horzcat(a,b);

% panjang subset
n=length(subset);

% nilai A complement dari subset
compact = zeros([1, n]);

% 0 <= 0.5 dan 1 > 0.5
compact(find(subset>0.5))=1;

h=vertcat(c,d);
N=sum(h);

m=sum(h.*k.*abs(subset-compact)')/N;
sim_var=sum((k-m).^2)/N;

```

3.4 Uji Coba

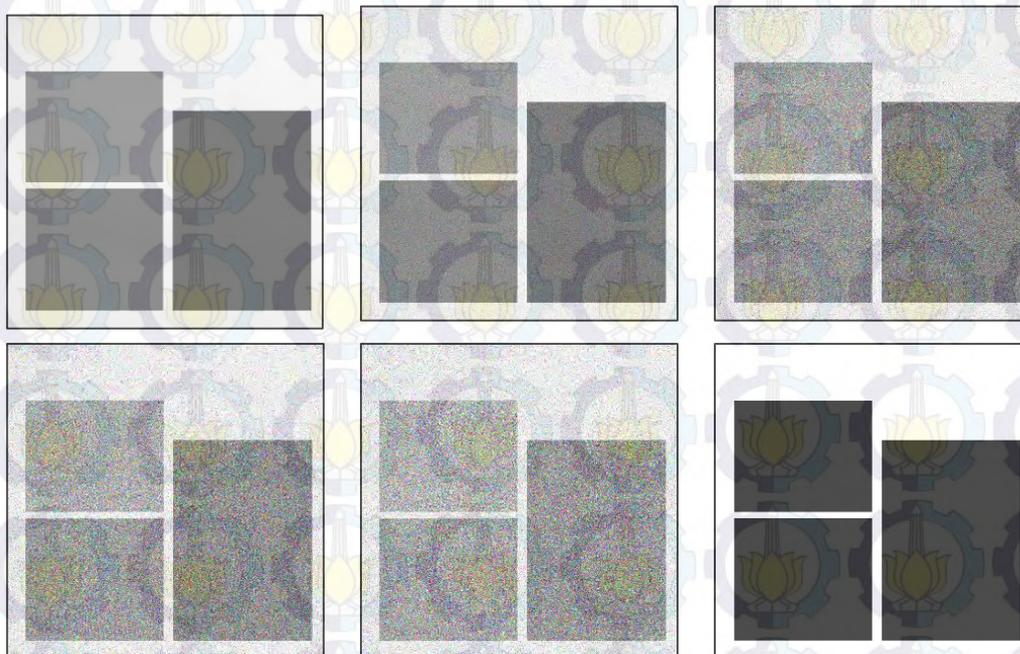
Pada tahap ini metode yang telah dikembangkan akan diuji dengan berbagai data uji dan skenario uji coba. Untuk mengetahui performa metode yang telah dikembangkan, maka citra hasil *thresholding* akan dibandingkan dengan metode *image thresholding* lainnya terhadap citra *ground truth* yang telah dibuat manual oleh pakar. Selanjutnya hasil uji coba akan di evaluasi performanya berdasarkan

hasil thresholding yang dihasilkan. Penjelasan lebih lanjut mengenai data uji dan skenario uji coba dijelaskan dalam subbab selanjutnya.

3.4.1 Data Uji Coba

Data uji coba yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari citra sintetis dan citra uji standar. Citra sintetis adalah citra yang dibuat menggunakan aplikasi *Gimp* yang terdiri dari beberapa objek dengan *background* tekstur tipe awan dan memiliki tingkat derau yang berbeda-beda. Sedangkan citra uji standar adalah citra objek dunia nyata yang terdiri dari berbagai macam objek. Untuk memudahkan komparasi, citra uji natural terdiri dari 65 citra yang diambil dari *dataset* *Wiezmann_Seg_DB* (Alpert, dkk, 2007) serta 10 citra lain yang diambil dari *dataset* yang digunakan dalam penelitian Tizhoosh (2005).

Jumlah citra uji adalah lima citra sintetis dan 75 citra uji standar. Keseluruhan citra uji merupakan citra *grayscale* format *JPG* dengan ukuran 256 x 256 pixel. Gambar 3.6 dan Gambar 3.7 menggambarkan contoh-contoh data citra yang digunakan dalam penelitian ini beserta *ground truth* yang dibuat secara manual.



Gambar 3.6 *Dataset* uji coba citra sintetis beserta *ground truth*



Gambar 3.7 Beberapa contoh *dataset* uji coba citra natural

3.4.2 Skenario Uji Coba

Proses pengujian metode yang diusulkan dilakukan pada perangkat dengan prosesor Intel® Core™ i7-4702MQ CPU @ 2.20GHz (8CPUs), ~2.2GHz. Sistem operasi yang digunakan adalah Windows 8.1 Enterprise 64-bit (6.3, Build 9600). Adapun skenario pengujian metode yang diusulkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengujian performa metode yang diusulkan terhadap citra sintetis. Pada tahap ini, metode yang diusulkan akan diuji dengan citra yang memiliki beberapa objek dalam satu citra dan variasi tingkat derau yang berbeda-beda. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui performa metode yang diusulkan terhadap citra *multimodal* dan citra berderau.
2. Pengujian performa metode yang diusulkan terhadap citra uji standar. Pada tahap ini, metode yang diusulkan akan diuji menggunakan citra uji standar yang terdiri dari berbagai macam objek dan jenis histogram. Tahap ini bertujuan untuk mengetahui performa metode yang diusulkan terhadap citra dunia nyata dengan bentuk histogram yang berbeda-beda.

Hasil pengujian pada tahap kedua tersebut dibandingkan dengan metode Otsu's *thresholding* (Otsu, 1979) dan metode yang dikembangkan oleh Lopes, dkk (2010).

3.5 Evaluasi

Evaluasi hasil uji coba pada tahap sebelumnya dilakukan dengan membandingkan hasil citra tersegmentasi metode yang diusulkan dengan metode lainnya. Evaluasi yang digunakan adalah dengan membandingkan hasil citra tersegmentasi dari citra uji standar. Hasil citra tersegmentasi akan dibandingkan dengan citra *ground truth* untuk mengetahui performa *thresholding*. Pada citra uji standar ini, evaluasi dilakukan menggunakan *misclassification error* yang dihitung berdasarkan persamaan

$$ME = 1 - \frac{|B_O \cap B_T| + |F_O \cap F_T|}{|B_O| + |F_O|} \quad (3.13)$$

dengan B_O dan F_O adalah *background* dan objek dari citra *ground truth*, sedangkan B_T dan F_T adalah hasil citra tersegmentasi. Semakin kecil nilai ME menunjukkan hasil *thresholding* suatu metode semakin baik dan mendekati citra *ground truth*. Selain itu, untuk mengevaluasi hasil *thresholding* metode yang diusulkan dengan metode Lopes, digunakan parameter η yang dihitung berdasarkan persamaan

$$\eta = \frac{|B_O \cap B_T| + |F_O \cap F_T|}{|B_O| + |F_O|} \times 100. \quad (3.14)$$

Parameter η menunjukkan performa *thresholding* suatu metode dan dihitung berdasarkan ME. Berbeda dengan nilai ME, semakin besar nilai parameter η menunjukkan bahwa hasil citra dari suatu metode *thresholding* semakin baik.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dipaparkan penjelasan tentang implementasi metode *image thresholding* berdasarkan *index of fuzziness* dan *fuzzy similarity measure*. Hasil uji coba metode yang diusulkan juga disajikan sesuai dengan skenario pengujian yaitu uji coba pada citra dengan derau dan uji coba pada citra natural. Evaluasi dan pembahasan metode yang diusulkan berdasarkan hasil uji coba akan dipaparkan pada akhir bab ini.

4.1 Implementasi

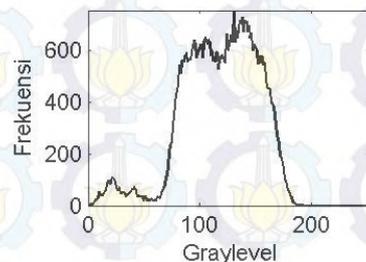
Implementasi metode yang diusulkan dilakukan dengan membuat fungsi dan *script* pada ruang kerja Matlab untuk setiap tahapan metode yang telah dijelaskan pada Bab 3. Pada subbab ini akan ditunjukkan hasil implementasi untuk setiap tahapan yang disertai potongan-potongan fungsi yang penting.

4.1.1 Pembentukan Histogram Citra

Citra yang akan diproses terlebih dahulu harus dibentuk ke dalam histogram, karena semua tahapan pada metode yang diusulkan dilakukan pada histogram citra. Pembentukan histogram dari citra dilakukan dengan memanfaatkan fungsi *imhist* pada Matlab. Keluaran fungsi *imhist* berupa histogram yang akan diproses pada tahap selanjutnya yaitu pencarian *fuzzy region*. Bentuk histogram citra beserta citra masukan ditunjukkan pada Gambar 4.1.



(a)



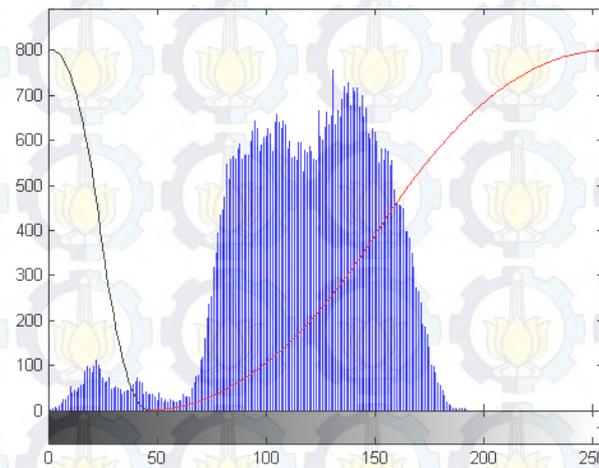
(b)

Gambar 4.1 Contoh pembentukan histogram (a) Citra masukan (b) Histogram

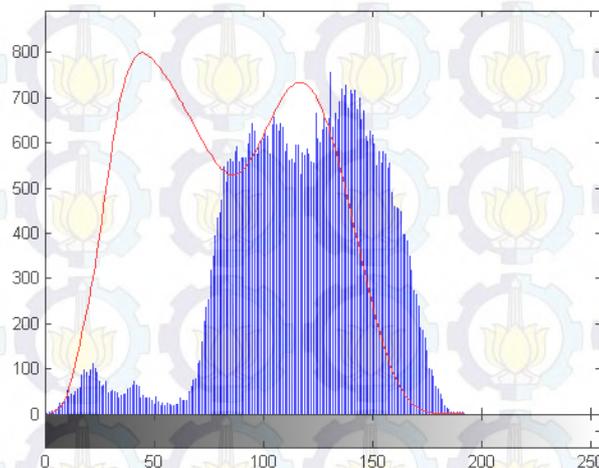
4.1.2 Pencarian *Fuzzy Region* Berdasarkan *Index of Fuzziness*

Pencarian *fuzzy region* pada histogram dilakukan dengan menghitung nilai *index of fuzziness* total (γ_T) disetiap *gray level*. *Index of fuzziness* (γ_T) dihitung menggunakan persamaan (3.5) dan nilainya berubah-ubah berdasarkan bentuk fungsi keanggotaan dan intensitas *gray level* pada histogram. Contoh bentuk fungsi keanggotaan pada *gray level* 45 saat perhitungan nilai *index of fuzziness* (γ_T) ditunjukkan pada Gambar 4.2.

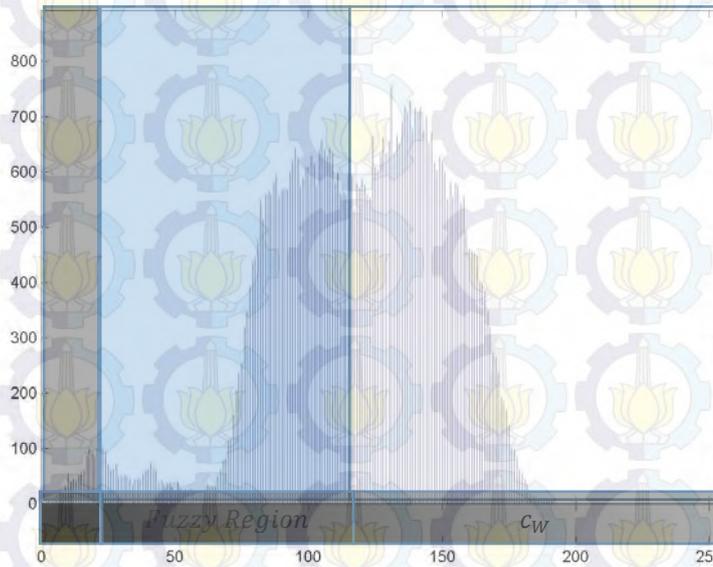
Tahap selanjutnya adalah memilih *gray level* dengan nilai *index of fuzziness* (γ_T) terbesar sebagai titik v_C . *Fuzzy region* terletak pada *gray level* dengan nilai *index of fuzziness* (γ_T) terbesar. Nilai *index of fuzziness* (γ_T) setiap *gray level* histogram ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Fungsi keanggotaan pada perhitungan *index of fuzziness* (γ_T)



Gambar 4.3 Nilai *index of fuzziness* (γ_T) setiap *gray level*

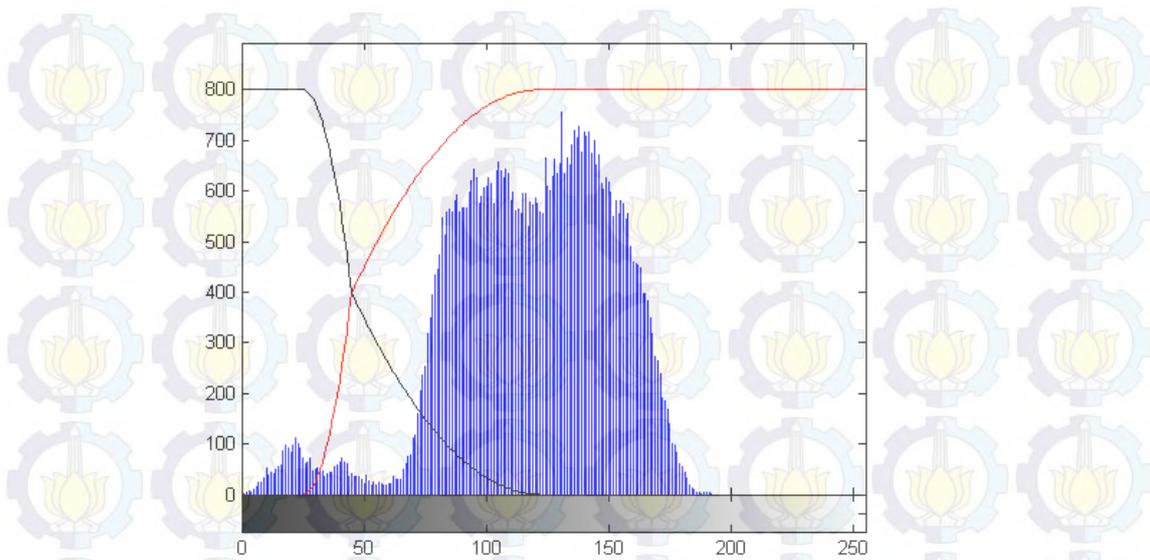


Gambar 4.4 Histogram citra dengan *initial seed* dan *fuzzy region*

Setelah titik v_C ditentukan, inisialisasi *fuzzy region* dilakukan dengan menghitung letak titik v_B dan v_W . Titik v_C diketahui berada pada *gray level* 45 berdasarkan grafik nilai *index of fuzziness* pada Gambar 4.3. Titik v_B dan v_W terletak pada *gray level* 25 dan 122 yang dihitung berdasarkan persamaan (3.1) dan persamaan (3.2). Nilai v_B dan v_W selanjutnya akan digunakan untuk inisialisasi *initial seed fuzzy subset* C_B , *initial seed fuzzy subset* C_W , dan inisialisasi *fuzzy region*. Ilustrasi *initial seed fuzzy subset* C_B , *initial seed fuzzy subset* C_W , dan *fuzzy region* yang telah ditentukan pada histogram ditunjukkan pada Gambar 4.4.

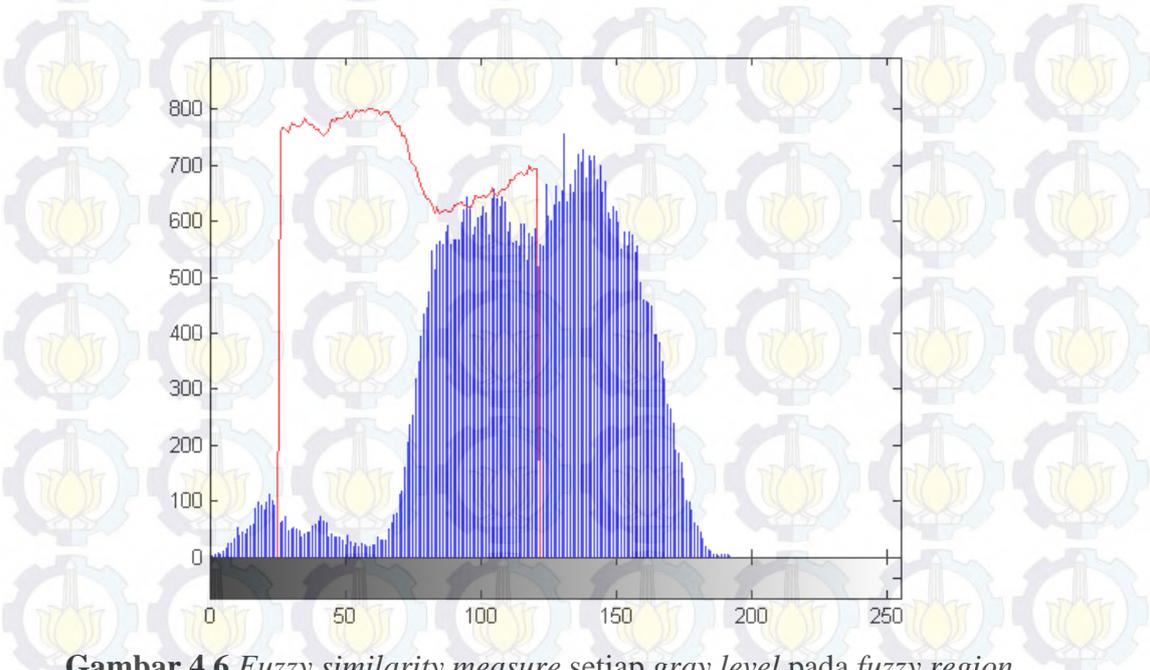
4.1.3 Thresholding Berdasarkan Fuzzy Similarity Measure

Pada tahap ini, fungsi keanggotaan diperbarui berdasarkan posisi *fuzzy region* dan titik v_C . *Fuzzy region* menjadi awal dan akhir kedua fungsi keanggotaan, sedangkan titik v_C adalah titik *crossover* dari kedua fungsi keanggotaan tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Kemudian, setiap *gray level* yang berada pada *fuzzy region* akan dihitung nilai similaritasnya dengan *initial seed fuzzy subset* C_B dan *initial seed fuzzy subset* C_W berdasarkan *fuzzy similarity measure* yang ditunjukkan pada persamaan (3.10).



Gambar 4.5 Fungsi keanggotaan untuk perhitungan *fuzzy similarity measure*

Nilai *fuzzy similarity measure* menyatakan seberapa dekat suatu *gray level* dalam *fuzzy region* dengan kedua *initial seed* yang dihitung berdasarkan fungsi keanggotaan dan juga *variance*. Semakin besar jarak similaritas *gray level* dengan suatu *initial seed*, semakin jauh kemungkinan *gray level* tersebut berada dalam *class* yang sama dengan *initial seed* tersebut. Oleh karena itu, *threshold* yang optimal adalah *gray level* yang memiliki jarak similaritas terbesar dengan kedua *initial seed*. Gambar 4.6 menunjukkan nilai *fuzzy similarity measure* setiap *gray level* anggota *fuzzy region*.



Gambar 4.6 *Fuzzy similarity measure* setiap *gray level* pada *fuzzy region*



Gambar 4.7 Hasil *thresholding* metode yang diusulkan

Berdasarkan nilai *fuzzy similarity measure* terbesar dari histogram citra yang ditunjukkan pada Gambar 4.6, diketahui bahwa nilai *threshold* yang optimal untuk histogram tersebut adalah 59. Langkah selanjutnya adalah merubah citra keabuan menjadi citra hitam putih dengan nilai *threshold* 59. Gambar 4.7 menunjukkan hasil *thresholding* dari citra masukan menggunakan metode yang diusulkan dengan nilai *threshold* 59.

4.2 Hasil Uji Coba

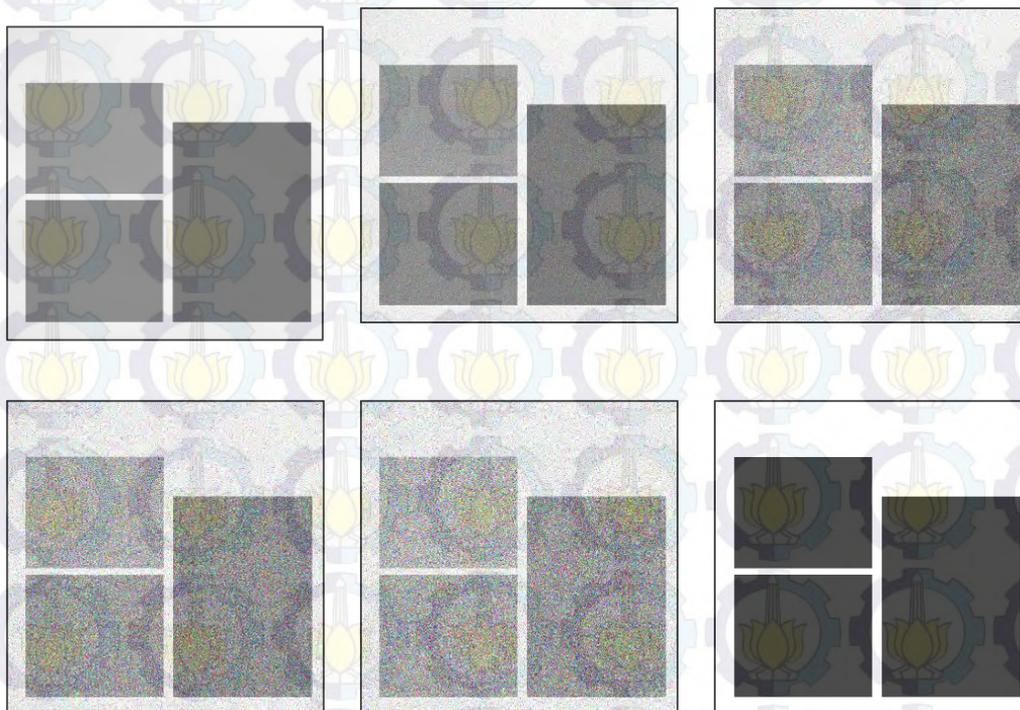
Tahap uji coba pada penelitian ini terdiri dari dua skenario yaitu uji coba menggunakan citra sintetis dan uji coba menggunakan citra natural. Uji coba menggunakan citra sintetis dilakukan untuk menguji performa metode yang diusulkan terhadap citra dengan variasi tingkat derau yang berbeda-beda. Sedangkan uji coba menggunakan citra natural dilakukan untuk menguji performa metode yang diusulkan terhadap citra natural dengan berbagai macam objek dan bentuk histogram yang berbeda-beda.

4.2.1 Hasil Uji Coba Citra Sintetis

Citra uji sintetis terdiri dari lima citra yang memiliki tingkat derau yang berbeda-beda. Masing-masing citra tersebut berasal dari citra asal tanpa derau yang

dibuat menggunakan aplikasi Gimp. Kemudian citra asal tersebut ditambah dengan derau jenis *Gaussian* dengan parameter *mean* [0,01; 0,05; 0,1; 0,15] dan *variance* [0,01; 0,05; 0,1; 0,15] sehingga didapatkan empat buah citra lain dengan tingkat derau berbeda-beda. Perlakuan ini ditujukan agar ketahanan dan performa *thresholding* metode yang diusulkan terhadap citra yang berderau dapat diukur. Kelima citra sintetis yang diujikan beserta citra *ground truth* ditunjukkan pada Gambar 4.8.

Citra hasil *thresholding* metode yang diusulkan diukur berdasarkan nilai *misclassification error* (ME) menggunakan persamaan (3.13) kemudian dibandingkan dengan citra hasil *thresholding* metode Otsu. Perbandingan hasil *thresholding* dari metode yang diusulkan dan metode Otsu dari tahap uji coba ini ditunjukkan pada Gambar 4.9. Sedangkan perbandingan performa yang diukur menggunakan ME ditunjukkan pada Tabel 4.1.



Gambar 4.8 Citra uji sintetis beserta citra *ground truth*

Tabel 4.1 Hasil perbandingan citra uji sintetis metode Otsu dengan metode yang diusulkan menggunakan *misclassification error*

Citra	Tingkat Derau	<i>Misclassification Error (%)</i>	
		Metode Otsu	Metode yang diusulkan
Derau 1	$g(0, 0)$	0,00	0,00
Derau 2	$g(0.01, 0.01)$	0,11	0,01
Derau 3	$g(0.05, 0.05)$	7,24	4,41
Derau 4	$g(0.1, 0.1)$	17,03	11,51
Derau 5	$g(0.15, 0.15)$	23,54	15,09
Rata-rata		9,58	6,20

Berdasarkan Tabel 4.1, ketahanan dan performa metode yang diusulkan terhadap citra berderau lebih baik daripada metode Otsu. Hal ini ditunjukkan dengan nilai ME metode yang diusulkan dari semua citra uji sintetis lebih baik. Dengan rata-rata *error* 6,20%, metode yang diusulkan dapat disimpulkan lebih tahan terhadap gangguan derau pada citra daripada metode Otsu yang memiliki rata-rata *error* 9,58%. *Threshold* yang optimal dapat ditemukan dalam kondisi citra berderau karena karakteristik *fuzzy similarity measure* yang mencari *gray level* anggota *fuzzy region* dengan jarak terjauh dari kedua *initial seed*.

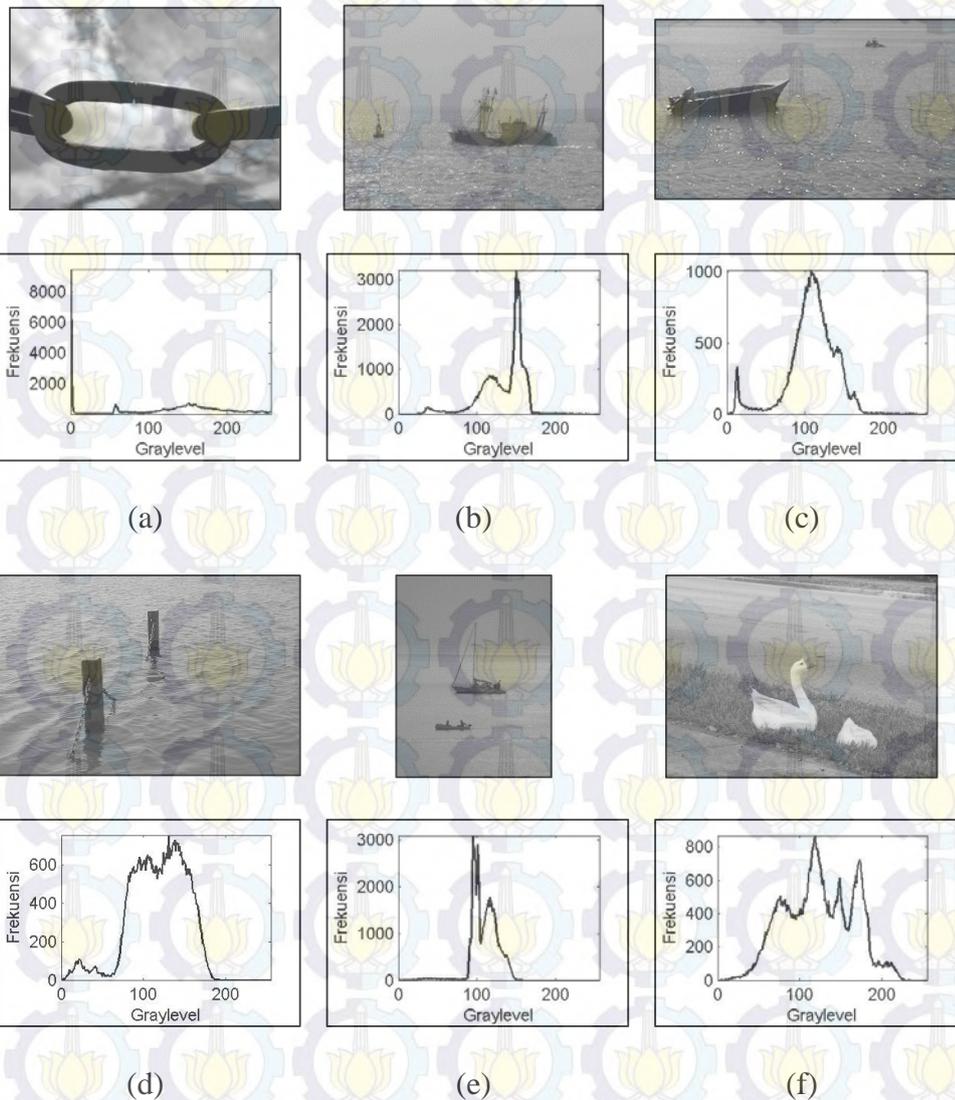
Dari Gambar 4.9 diketahui bahwa pada citra dengan tingkat derau yang kecil seperti citra Derau 2, metode yang diusulkan menghasilkan hasil *thresholding* yang mendekati hasil *thresholding* tanpa derau. Hal ini juga dibuktikan dengan nilai *error* 0,01% dari hasil *thresholding* citra Derau 2 pada Tabel 4.1. Sedangkan hasil *thresholding* metode Otsu dari citra Derau 2 pada Gambar 4.9 diketahui lebih banyak mengandung derau. Terbukti dengan nilai *error* 0,11% dari hasil *thresholding* citra Derau 2 pada Tabel 4.1. Pada citra dengan tingkat derau yang tinggi seperti citra Derau 5, metode yang diusulkan mempertahankan keutuhan *pixels* objek, sehingga banyak terjadi kesalahan klasifikasi di daerah *background*. Pada metode Otsu hal yang sebaliknya terjadi, dimana banyak *pixels* objek yang hilang.



Gambar 4.9 Perbandingan hasil *thresholding* pada citra uji sintetis.
 (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan

4.2.2 Hasil Uji Coba Citra *Natural*

Citra uji natural terdiri dari 65 citra yang diambil dari *dataset* Wiezmann_Seg_DB (Alpert, dkk, 2007) serta 10 citra lain yang diambil dari *dataset* yang digunakan dalam penelitian Tizhoosh (2005). Citra uji tersebut terdiri dari berbagai macam objek dan jenis histogram yang berbeda-beda. Hal ini bertujuan agar pengukuran performa *thresholding* metode yang diusulkan dapat mewakili semua jenis citra. Beberapa contoh citra yang digunakan beserta histogramnya ditunjukkan pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Contoh beberapa citra uji natural beserta histogram. (a) Sample 1, (b) Sample 2, (c) Sample 3, (d) Sample 4, (e) Sample 5, (f) Sample 6

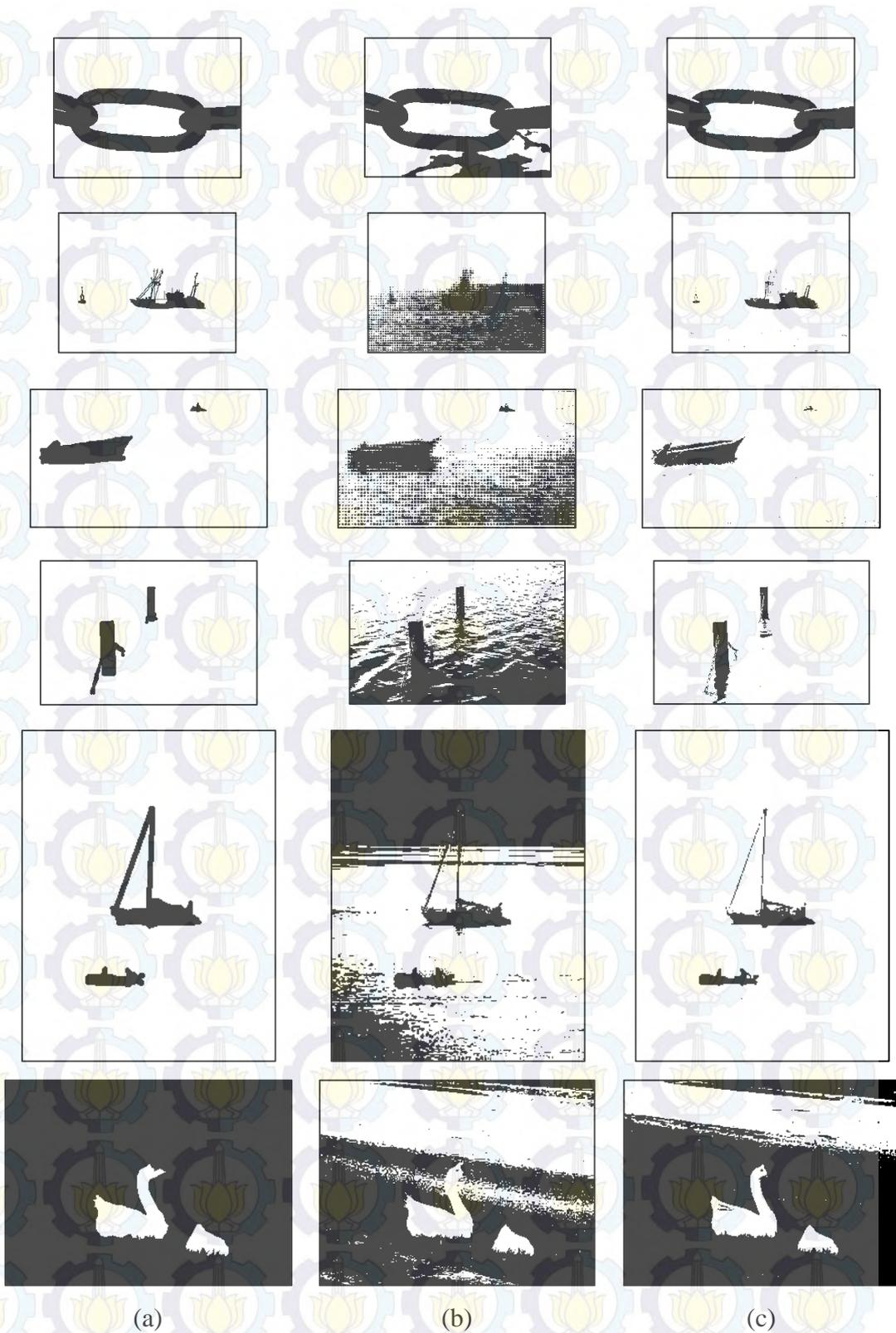
Hasil *thresholding* citra uji natural menggunakan metode yang diusulkan dibandingkan dengan metode Otsu. Citra *ground truth* yang digunakan dibuat secara manual menggunakan aplikasi Gimp dimana objek dan *background* dipisahkan dengan bantuan pakar. Perbandingan citra *ground truth* dengan citra hasil *thresholding* kedua metode tersebut dari keenam sample citra pada Gambar 4.10 ditunjukkan pada Gambar 4.11.

Dari Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa metode yang diusulkan menghasilkan citra yang terpisah antara objek dan *background*. Citra hasil *thresholding* metode yang diusulkan tersebut juga mendekati citra *ground truth*. Selain itu, Gambar 4.11 juga menunjukkan bahwa lebih banyak kesalahan penentuan *background pixels* kedalam objek pada citra hasil *thresholding* metode Otsu daripada metode yang diusulkan.

Untuk mengukur kualitas hasil *thresholding* dan performa metode yang diusulkan, 75 citra hasil *thresholding* masing-masing metode dievaluasi berdasarkan nilai ME menggunakan persamaan (3.13). Hasil perbandingan performa metode yang diusulkan dari 75 citra uji ditunjukkan pada Lampiran 1. Sedangkan hasil perbandingan performa dari keenam citra pada Gambar 4.11 ditunjukkan pada Tabel 4.2. Selain itu, perbandingan dari performa rata-rata metode yang diusulkan dengan metode Otsu ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.2 Perbandingan nilai *Misclassification Error* 6 citra *sample*

Citra <i>Sample</i>	<i>Misclassification Error</i> (%)	
	Metode Otsu	Metode yang diusulkan
Sample 1	10,07	2,43
Sample 2	32,00	1,00
Sample 3	26,38	1,56
Sample 4	40,95	2,11
Sample 5	46,22	1,84
Sample 6	39,54	30,63



Gambar 4.11 Beberapa contoh perbandingan hasil *thresholding*. (a) *ground truth*, (b) metode Otsu, (c) metode yang diusulkan

Tabel 4.3 Rata-rata nilai ME dari 75 citra natural

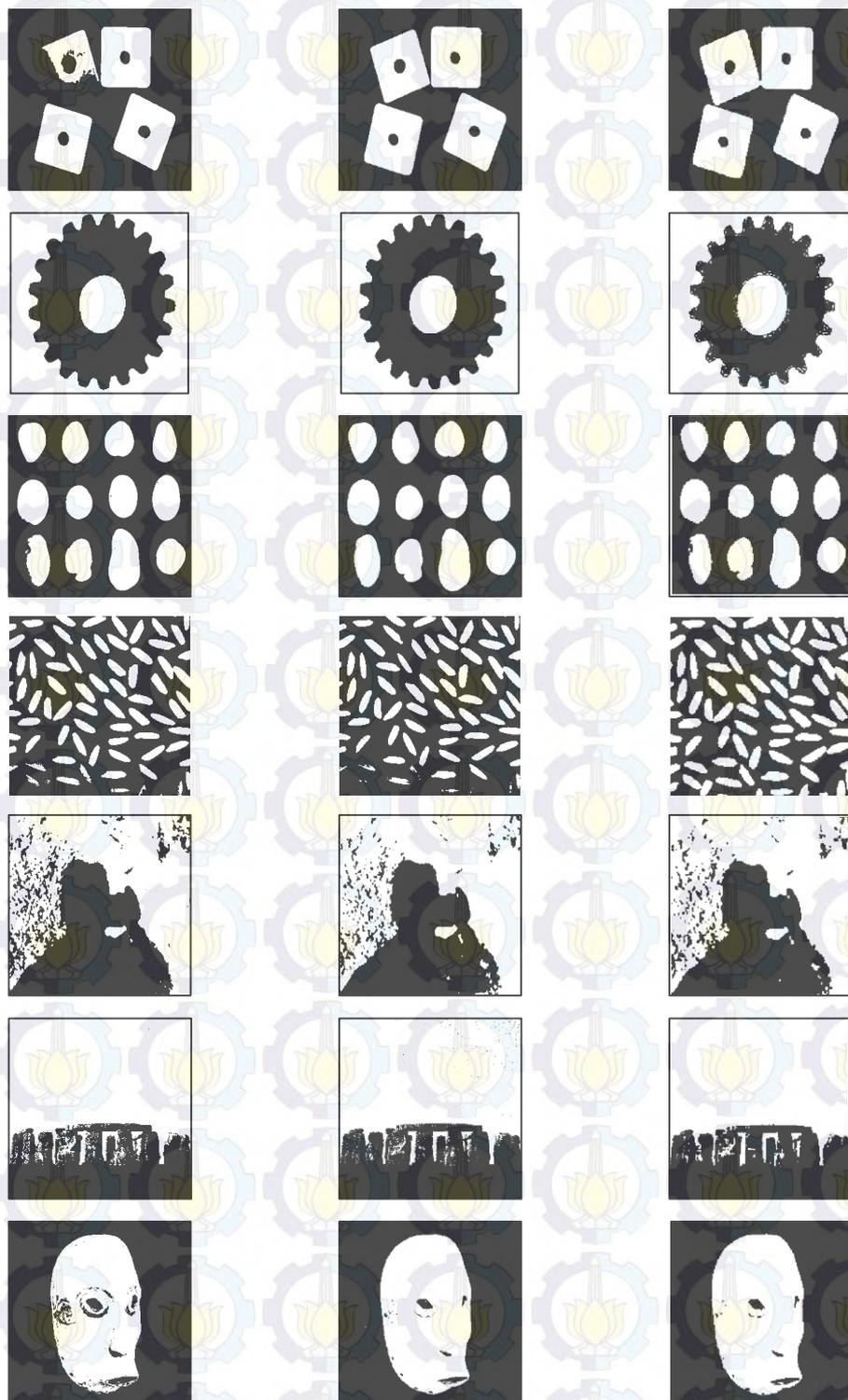
Metode <i>Thresholding</i>	<i>Misclassification Error</i> (%)
Metode Otsu	10,29
Metode yang diusulkan	6,85

Dari Tabel 4.2 didapatkan bahwa metode yang diusulkan memiliki error paling kecil daripada metode Otsu di semua citra *sample*. Hasil evaluasi performa pada seluruh citra uji natural pada Tabel 4.3 juga menunjukkan bahwa metode yang diusulkan menghasilkan citra hasil *thresholding* lebih baik daripada metode Otsu. Hal ini ditunjukkan dengan nilai rata-rata *Misclassification Error* (ME) metode yang diusulkan lebih kecil dari metode Otsu dengan nilai rata-rata ME 6,85%.

Selain itu, metode yang diusulkan juga dibandingkan dengan metode sebelumnya yang dikembangkan oleh Lopes, dkk (2010). Perbandingan dilakukan dengan membandingkan hasil performa *thresholding* metode yang diusulkan dengan tabel performa *thresholding* dari metode Lopez pada tujuh citra dari *dataset* penelitian Tizhoosh (2005) menggunakan persamaan (3.14). Performa *thresholding* metode Otsu juga ditampilkan sebagai pembanding metode *thresholding* bukan *fuzzy*. Perbandingan ketiga metode tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Perbandingan performa berdasarkan *parameter* η pada *dataset* Tizhoosh

Citra <i>Sample</i>	η (%)			
	Metode Otsu	Metode yang diusulkan	Metode Lopes 1	Metode Lopes 2
Blocks	94.36	99.34	98.87	99.34
Gearwheel	98.23	99.48	95.59	95.59
Potatoes	98.28	99.81	96.98	96.98
Rice	95.73	92.75	82.06	95.91
Shadow	89.66	92.96	93.26	93.26
Stones	96.86	98.14	97.05	97.05
Zimba	97.61	99.51	96.55	98.86
Rata-rata	95.82	97.43	94.34	96.71



(a) (b) (c)

Gambar 4.12 Perbandingan hasil *thresholding dataset* Tizhoosh (2005)

(a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan (c) Metode Lopes

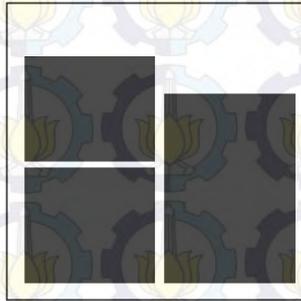
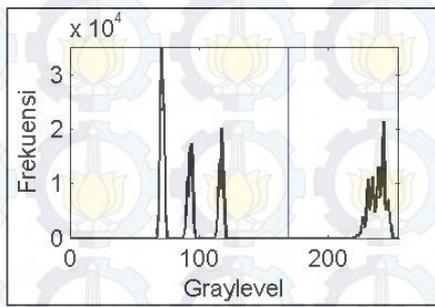
Hasil perbandingan pada Tabel 4.4 menunjukkan bahwa terdapat dua jenis metode *image thresholding* yang dikembangkan oleh Lopes, dkk (2010). Metode Lopes versi 1 merupakan metode *image thresholding* tanpa dilakukan *histogram equalization* sebelumnya, sedangkan pada metode Lopes versi 2 dilakukan *histogram equalization* terhadap citra sebelum *thresholding* dilakukan. Dari Tabel 4.4 diketahui bahwa metode yang diusulkan memiliki performa yang lebih baik disebagian besar citra uji dan memiliki rata-rata performa terbesar yaitu 97.43%. Perbandingan hasil *thresholding* ketiga metode tersebut dengan citra pada Tabel 4.4 ditunjukkan pada Gambar 4.12.

4.3 Pembahasan

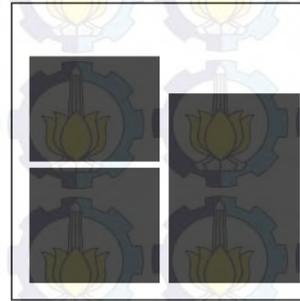
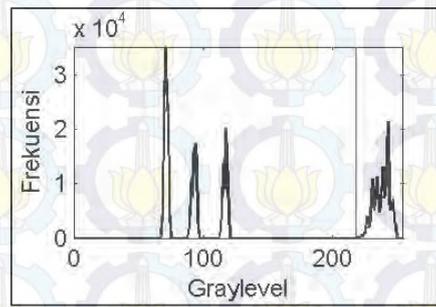
Berdasarkan hasil uji coba pada citra sintetis, metode yang diusulkan memiliki ketahanan yang lebih baik pada citra dengan derau. Terbukti dari Tabel 4.1 dimana nilai ME metode yang diusulkan lebih kecil daripada nilai ME metode Otsu. Dari Gambar 4.9 juga diketahui bahwa derau pada hasil *thresholding* metode yang diusulkan lebih sedikit dibandingkan pada hasil *thresholding* metode Otsu.

Perbandingan nilai *threshold* dari metode yang diusulkan dan metode Otsu dari citra Derau 1 ditunjukkan pada Gambar 4.13. Dari Gambar 4.13 dapat diketahui bahwa nilai *threshold* dari metode Otsu dan metode yang diusulkan berbeda walaupun menghasilkan hasil yang sama. Perbedaan *threshold* tidak mempengaruhi hasil karena daerah disekitar *threshold* optimal memiliki intensitas *gray level* 0.

Pada citra Derau 2, nilai *error* hasil *thresholding* metode Otsu 10 kali lebih besar daripada nilai *error* hasil *thresholding* metode yang diusulkan. Perbandingan nilai *threshold* dan hasil *thresholding* ditunjukkan pada Gambar 4.14. Dari Gambar 4.14 diketahui bahwa nilai *threshold* yang dihasilkan metode Otsu tidak terletak tepat pada lembah yang memisahkan dua puncak dalam histogram. Sedangkan nilai *threshold* yang dihasilkan oleh metode yang diusulkan berada tepat di tengah lembah yang memisahkan dua puncak. Hal ini yang menyebabkan hasil *thresholding* metode Otsu lebih banyak mengandung *error*. Sedangkan hasil *thresholding* metode yang diusulkan sangat mendekati hasil *thresholding* citra tanpa derau.

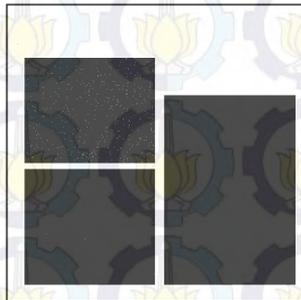
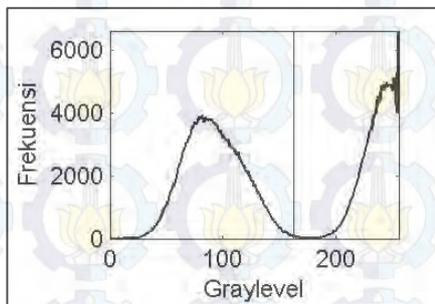


(a)

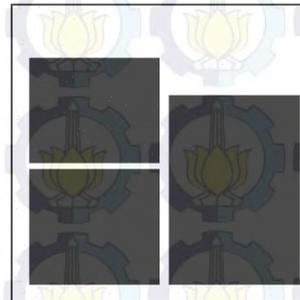
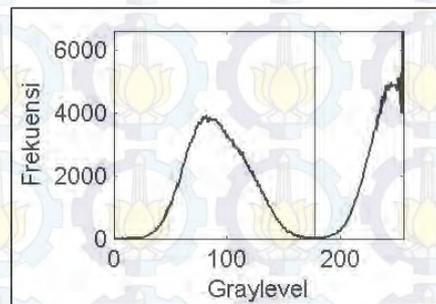


(b)

Gambar 4.13 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Derau 1. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan



(a)

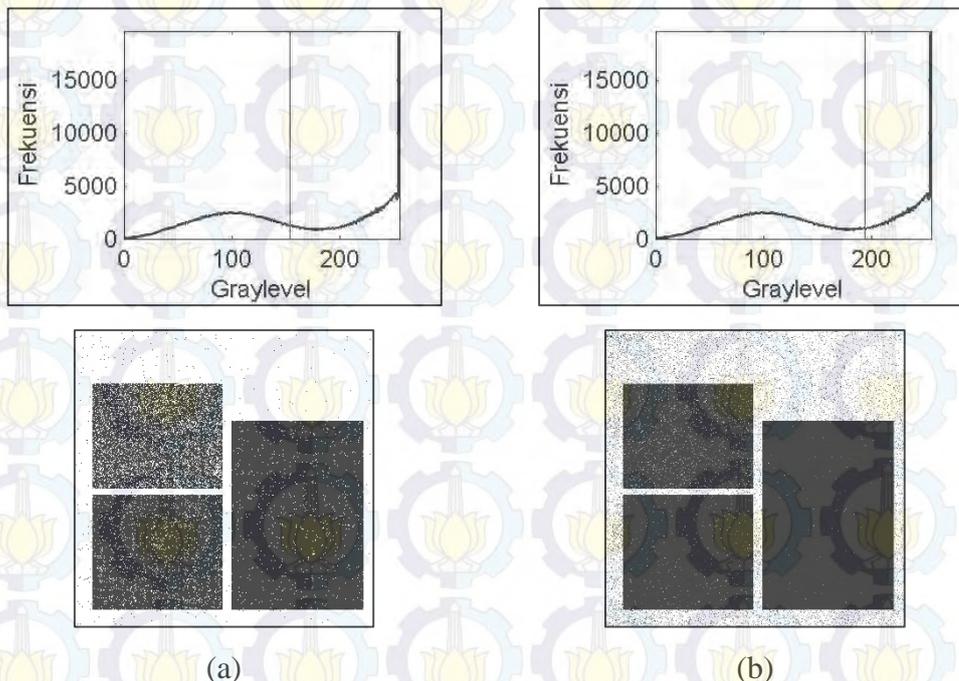


(b)

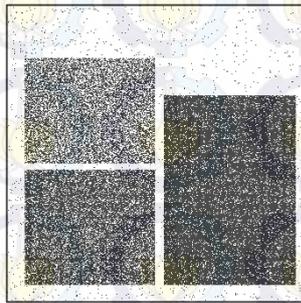
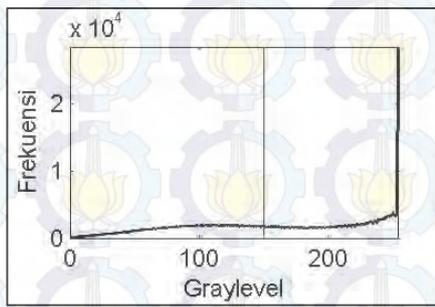
Gambar 4.14 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Derau 2. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan

Gambar 4.15 menunjukkan hasil perbandingan nilai *threshold* pada citra Derau 3. Dari Gambar 4.15 diketahui bahwa nilai *threshold* metode Otsu tidak berada tepat pada lembah yang memisahkan histogram menjadi dua. Sedangkan nilai *threshold* metode yang diusulkan masih berada tepat pada lembah histogram. Hal ini menyebabkan hilangnya *pixels* pada objek hasil *thresholding* metode Otsu lebih banyak daripada hasil *thresholding* metode yang diusulkan.

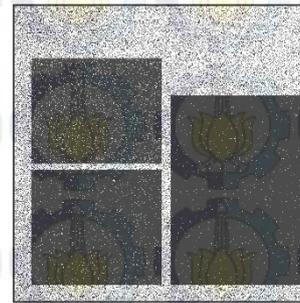
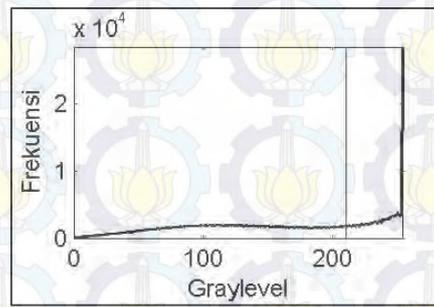
Perbandingan nilai *threshold* pada citra Derau 4 dan citra Derau 5 ditunjukkan pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.17. Dari Gambar 4.16 dan Gambar 4.17 diketahui bahwa histogram citra pada kedua citra tersebut mulai kehilangan kedua puncak yang merepresentasikan *pixels* objek dan *background*. Hilangnya kedua puncak tersebut juga menyebabkan hilangnya lembah yang dapat membagi histogram menjadi dua. Akibatnya nilai *threshold* yang dihasilkan metode Otsu semakin menjauh dari *threshold* optimal. Hal serupa juga terjadi pada metode yang diusulkan, tetapi nilai *error* dari metode yang diusulkan lebih kecil daripada metode Otsu.



Gambar 4.15 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Derau 3. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan

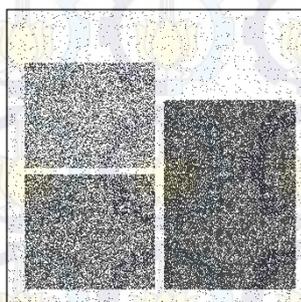
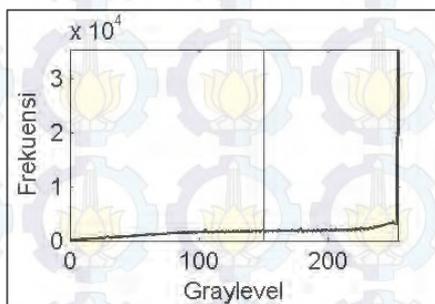


(a)

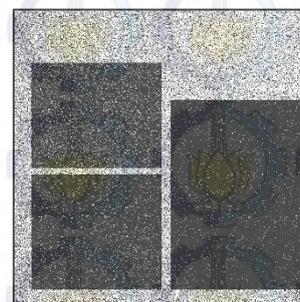
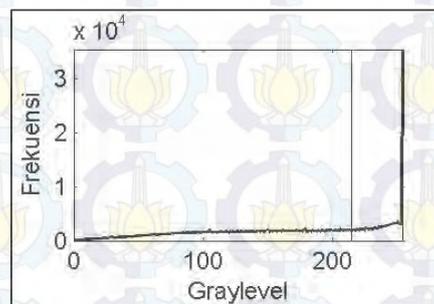


(b)

Gambar 4.16 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Derau 4. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan



(a)



(b)

Gambar 4.17 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Derau 5. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan

Pada uji coba citra natural, metode yang diusulkan memiliki rata-rata performa yang lebih baik. Metode yang diusulkan juga memiliki nilai ME yang lebih kecil pada sebagian besar citra dari delapan puluh citra natural. Dari Gambar 4.11 terlihat jelas bahwa hasil *thresholding* metode yang diusulkan lebih menyerupai citra *ground truth* dibandingkan hasil *thresholding* metode Otsu. Sedangkan dari Tabel 4.2 diketahui bahwa metode yang diusulkan memiliki performa yang jauh lebih baik dari metode Otsu pada citra dengan histogram *multimodal*.

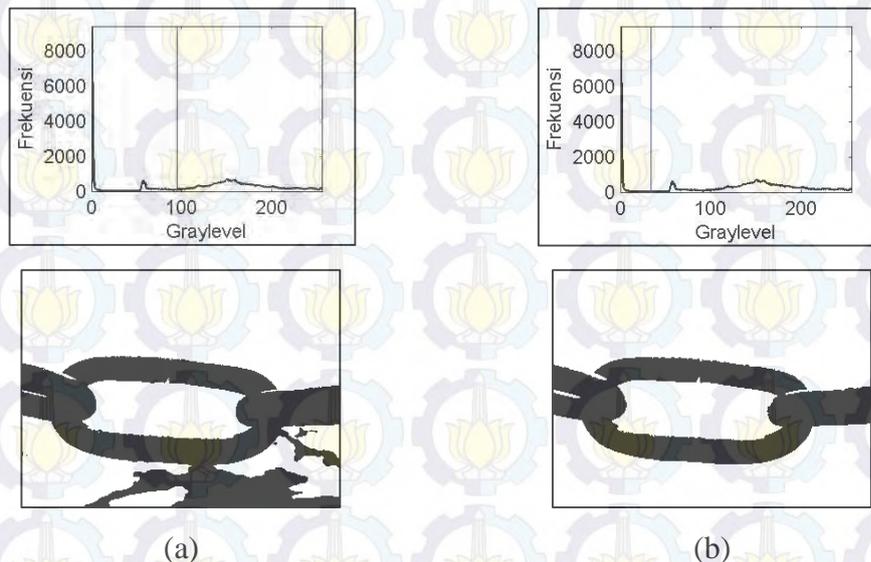
Perbandingan hasil uji dataset Tizhoosh (2005) juga menunjukkan bahwa metode yang diusulkan lebih baik daripada metode sebelumnya yaitu metode yang dikembangkan oleh Lopes, dkk (2010). Dari Gambar 4.12 diketahui bahwa metode yang diusulkan menghasilkan citra dengan kesalahan penentuan kelas objek dan *background* yang lebih sedikit daripada metode lainnya. Tabel 4.4 juga menunjukkan bahwa metode yang diusulkan lebih baik dari metode Lopes dengan dan tanpa *histogram equalization* terlebih dahulu.

Dari Tabel 4.4 diketahui bahwa performa metode sebelumnya yang dikembangkan oleh Lopes, dkk (2010) sangat bergantung pada *histogram equalization* sebelum proses *thresholding*. Hal ini ditunjukkan dengan nilai rata-rata *error* metode Lopes tanpa *histogram equalization* yang lebih besar dari metode Otsu dan juga lebih besar dari metode yang diusulkan. Pada hasil uji menggunakan *fuzzy dataset*, metode berbasis fuzzy yang memiliki rata-rata *error* lebih besar daripada metode *non-fuzzy* menunjukkan bahwa terdapat kesalahan dalam penentuan *threshold* pada metode tersebut.

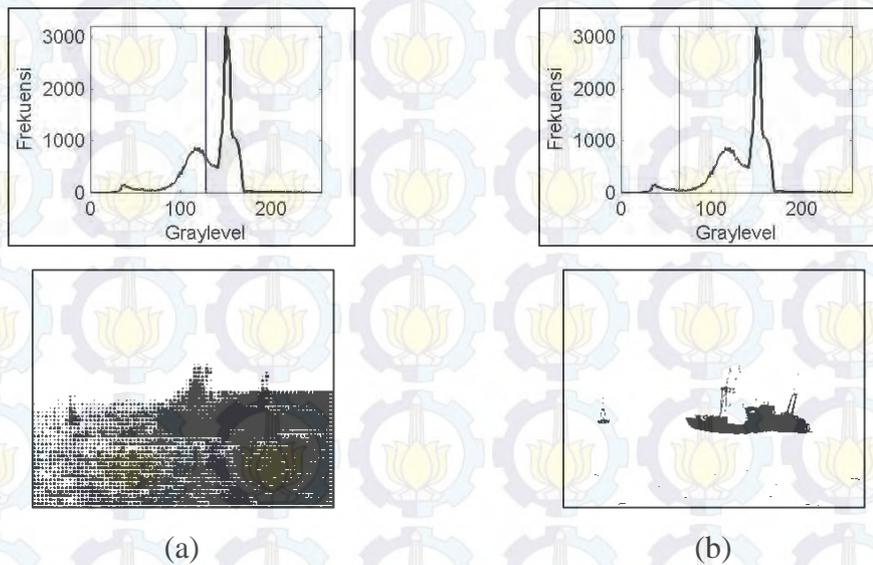
Metode berbasis *fuzzy* seharusnya memiliki nilai rata-rata *error* yang lebih kecil dari metode *non-fuzzy* pada pengujian menggunakan *fuzzy dataset*. Dengan begitu, metode berbasis *fuzzy* dapat dikatakan berhasil untuk mengatasi masalah *gray level ambiguity*, derau, dan pencahayaan tak merata yang biasa terdapat pada *fuzzy dataset*. Jika nilai *error* metode berbasis *fuzzy* lebih besar daripada metode *non-fuzzy*, maka hal ini menunjukkan bahwa metode berbasis *fuzzy* tersebut perlu diperbaiki dan dikembangkan lebih lanjut.

Perbandingan nilai *threshold* dari metode yang diusulkan dan metode Otsu dari citra Sample 1 ditunjukkan pada Gambar 4.18. Dari Gambar 4.18 dapat diketahui bahwa nilai *threshold* dari metode Otsu tidak berada pada lembah yang memisahkan histogram. Sedangkan nilai *threshold* dari metode yang diusulkan terletak pada suatu lembah yang dapat memisahkan histogram. Hal ini menyebabkan *pixels background* yang diklasifikasikan ke dalam objek pada hasil *thresholding* metode Otsu lebih banyak daripada metode yang diusulkan.

Pada hasil *thresholding* citra Sample 2 juga terdapat perbedaan nilai *threshold* yang signifikan dari metode yang diusulkan dan metode Otsu. Gambar 4.19 menunjukkan perbandingan nilai *threshold* dari kedua metode tersebut. Dari Gambar 4.19 diketahui bahwa nilai *threshold* dari metode yang diusulkan berada tepat pada lembah dalam histogram. Sedangkan nilai *threshold* yang dihasilkan metode Otsu terletak pada daerah disekitar suatu puncak dalam histogram. Akibatnya kesalahan klasifikasi objek dan *background* pada hasil *thresholding* metode Otsu lebih banyak daripada metode yang diusulkan. Begitu pula dengan performa metode Otsu pada citra Sample 2 lebih kecil daripada performa pada citra Sample 1.



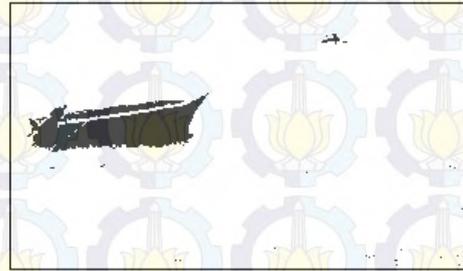
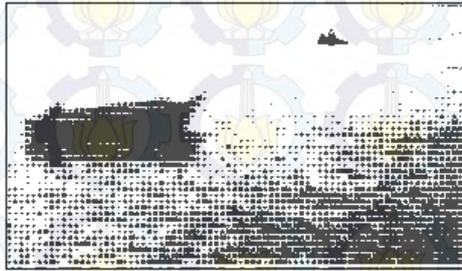
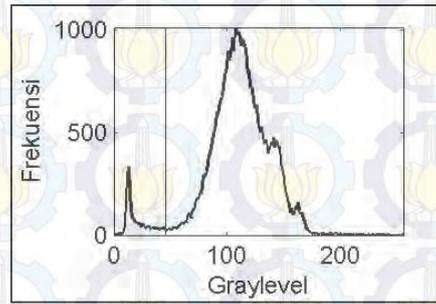
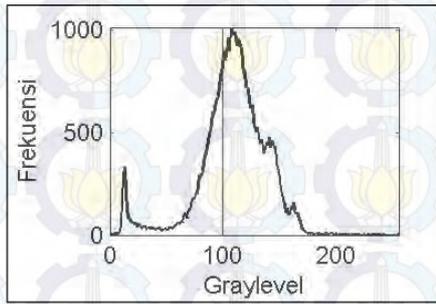
Gambar 4.18 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Sample 1. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan



Gambar 4.19 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Sample 2. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan

Perbedaan nilai *threshold* juga terjadi pada citra Sample 3 antara metode yang diusulkan dan metode Otsu. Nilai *threshold* pada metode Otsu terletak pada daerah disekitar puncak utama dalam histogram. Sedangkan nilai *threshold* metode yang diusulkan tepat berada pada lembah yang memisahkan dua puncak dalam histogram. Kesalahan klasifikasi lebih banyak terjadi pada hasil *thresholding* metode Otsu daripada metode yang diusulkan karena letak *threshold* metode Otsu yang berada hampir tepat ditengah suatu puncak histogram, sehingga membagi hampir separuh *gray levels background* kedalam kelas objek. Perbandingan nilai *threshold* pada citra Sample 3 ditunjukkan pada Gambar 4.20.

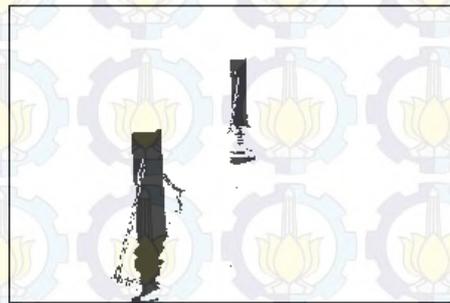
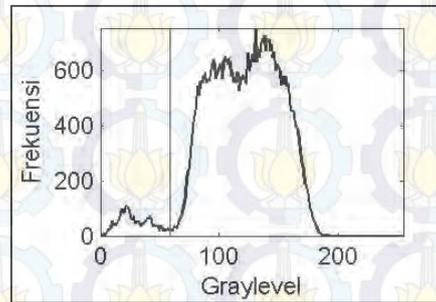
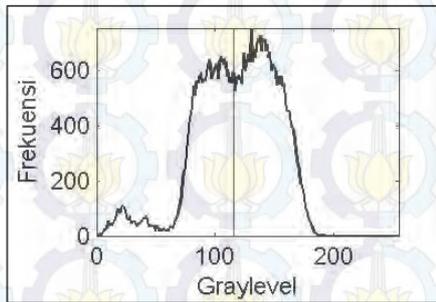
Gambar 4.16 menunjukkan perbandingan nilai *threshold* dari metode Otsu dan metode yang diusulkan pada citra Sample 4. Dari Gambar 4.21 diketahui bahwa nilai *threshold* yang dihasilkan metode Otsu terletak pada suatu lembah yang memisahkan dua puncak besar. Sedangkan nilai *threshold* dari metode yang diusulkan berada pada lembah yang memisahkan puncak kecil dan puncak besar dalam histogram. Kedua puncak besar dalam histogram adalah *pixels background* pada citra *ground truth*, sehingga performa *thresholding* metode yang diusulkan lebih baik dari metode Otsu.



(a)

(b)

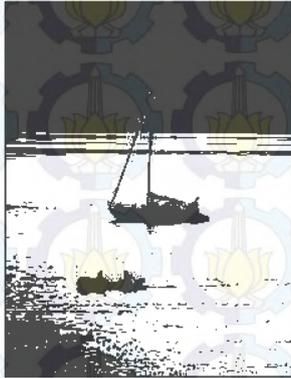
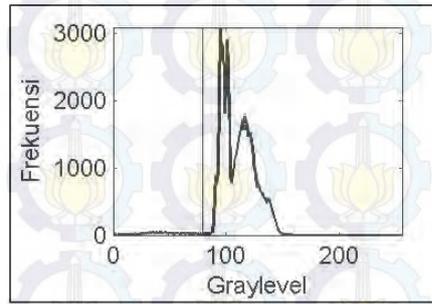
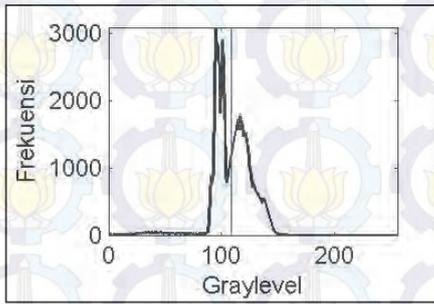
Gambar 4.20 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Sample 3. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan



(a)

(b)

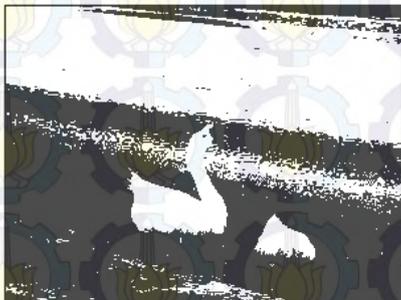
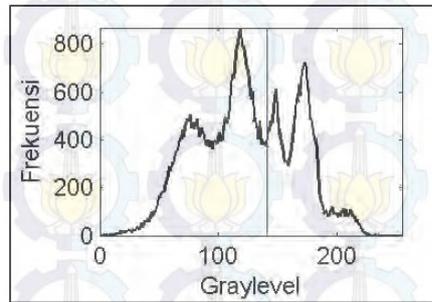
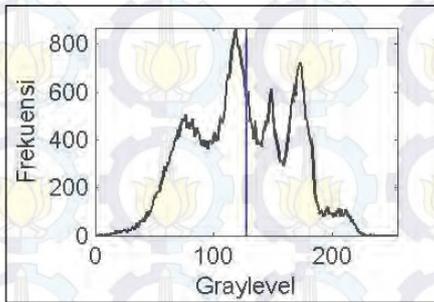
Gambar 4.21 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Sample 4. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan



(a)

(b)

Gambar 4.22 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Sample 5. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan



(a)

(b)

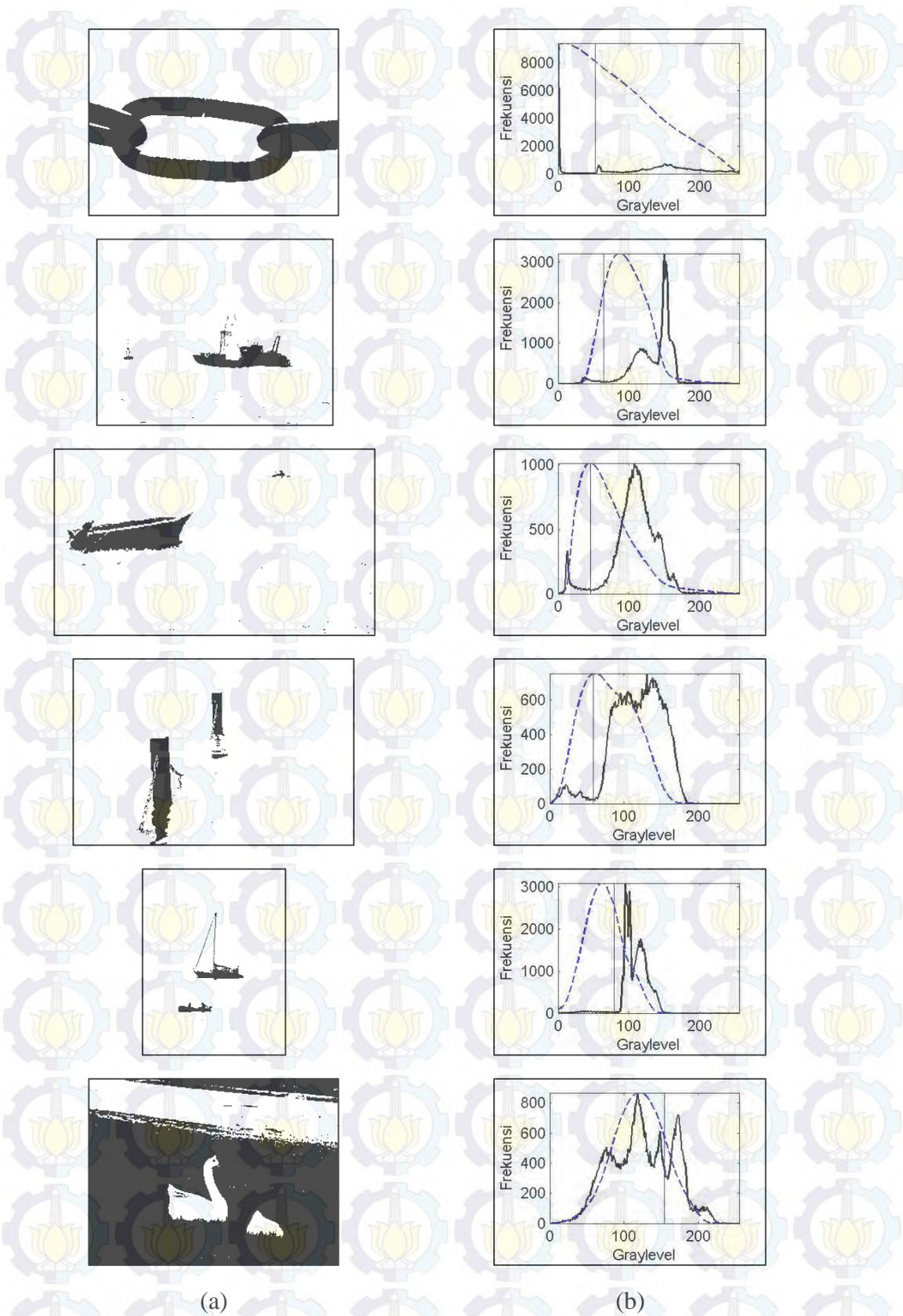
Gambar 4.23 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Sample 6. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan

Perbedaan nilai *threshold* pada citra Sample 5 juga terjadi seperti pada citra Sample 4. Dimana nilai *threshold* pada metode Otsu terletak pada lembah yang memisahkan dua puncak besar dalam histogram. Sedangkan nilai *threshold* metode yang diusulkan memisahkan puncak kecil dan puncak besar pada histogram. Perbandingan nilai *threshold* pada citra Sample 5 ditunjukkan pada Gambar 4.22.

Gambar 4.23 menunjukkan perbandingan nilai *threshold* dari metode Otsu dan metode yang diusulkan pada citra Sample 6. Dari Gambar 4.23 diketahui bahwa perbedaan *threshold* kedua metode tidak begitu besar. Tetapi metode yang diusulkan menghasilkan nilai *threshold* yang lebih mendekati lembah pada histogram daripada nilai *threshold* metode Otsu. Hal ini menyebabkan pixels background yang dikategorikan kedalam objek pada hasil thresholding metode Otsu lebih banyak daripada metode yang diusulkan.

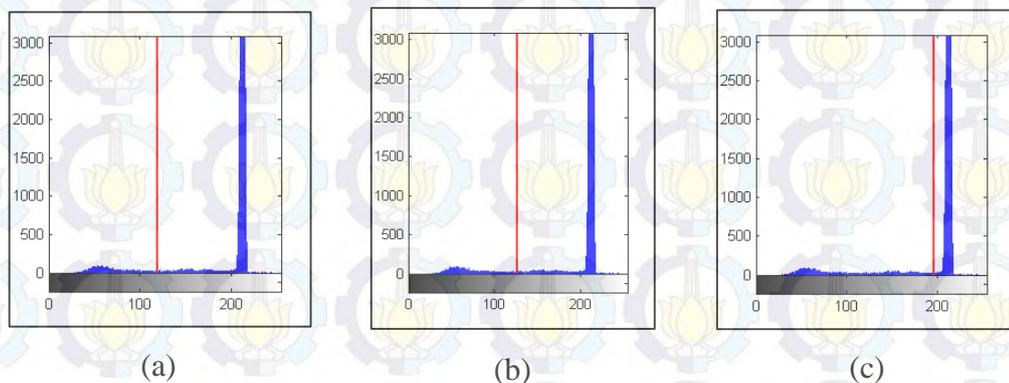
Keberhasilan metode yang diusulkan dalam menemukan *threshold* yang optimal terletak pada dua pencarian letak *threshold* yang tidak dimiliki metode lain. Pencarian pertama adalah pencarian *fuzzy region* yang mencoba menemukan daerah yang mungkin terdapat *threshold* yang optimal menggunakan *index of fuzziness*. *Fuzzy region* ditentukan dengan menemukan *gray level* dengan nilai *index of fuzziness* terbesar pada histogram yang menunjukkan tingkat ke-fuzzy-an yang besar pada *gray level* tersebut. Kemudian pencarian kedua adalah mencari *gray level* dari *fuzzy region* yang similaritasnya jauh dari kedua *class* (objek dan *background*) menggunakan *fuzzy similarity measure*.

Pada penelitian ini juga dianalisis efektifitas dari *index of fuzziness* dalam menentukan *fuzzy region*. Dengan menampilkan nilai *index of fuzziness* setiap *gray level* dari beberapa sample citra diatas, dapat membuktikan bahwa *fuzzy region* yang efektif dapat dipilih berdasarkan *index of fuzziness* terbesar. Nilai *index of fuzziness* setiap *gray level* pada sample citra ditunjukkan pada Gambar 4.24. Dari Gambar 4.24 diketahui bahwa nilai *index of fuzziness* terbesar selalu berada pada daerah yang mungkin terdapat *threshold* yang optimal. Daerah disekitar lembah yang dapat memisahkan dua puncak, ataupun daerah yang dapat membagi histogram menjadi dua merupakan letak efektif dari *fuzzy region*. Berdasarkan Gambar 4.24 disimpulkan bahwa *index of fuzziness* terbesar terbukti efektif untuk menentukan posisi *fuzzy region* pada histogram.

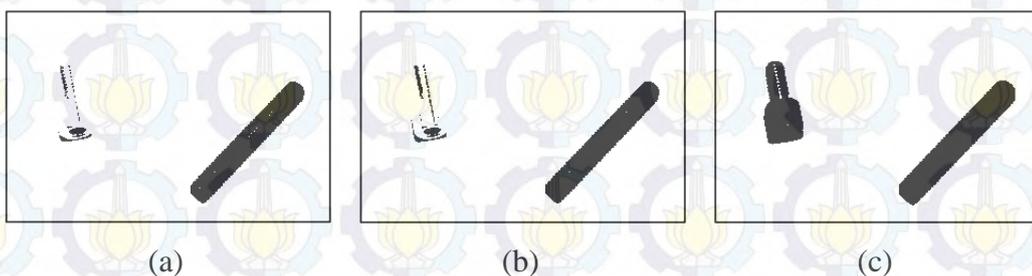


Gambar 4.24 *Index of fuzziness* terbesar pada citra (a) Citra tersegmentasi, (b) *Index of fuzziness* terbesar pada histogram

Pusat *fuzzy region* tidak selalu menjadi *threshold* yang terpilih, karena perhitungan *fuzzy similarity measure* tidak hanya memperhatikan fungsi keanggotaan tetapi juga nilai *variance* dari *gray level* yang sedang dihitung. Dengan *fuzzy similarity measure*, hasil *thresholding* tidak hanya bergantung pada nilai *index of fuzziness* saja, ataupun *variance* saja, tetapi tergantung kepada kedua faktor tersebut. Perbandingan nilai *threshold* yang ditemukan ketika hanya menggunakan *index of fuzziness*, *variance*, dan *fuzzy similarity measure* ditunjukkan pada Gambar 4.25. Sedangkan perbandingan hasil *thresholding* berdasarkan Gambar 4.25 ditunjukkan pada Gambar 4.26.



Gambar 4.25 Perbandingan nilai *threshold*. (a) *Index of fuzziness*, (b) *variance*, (c) *fuzzy similarity measure*



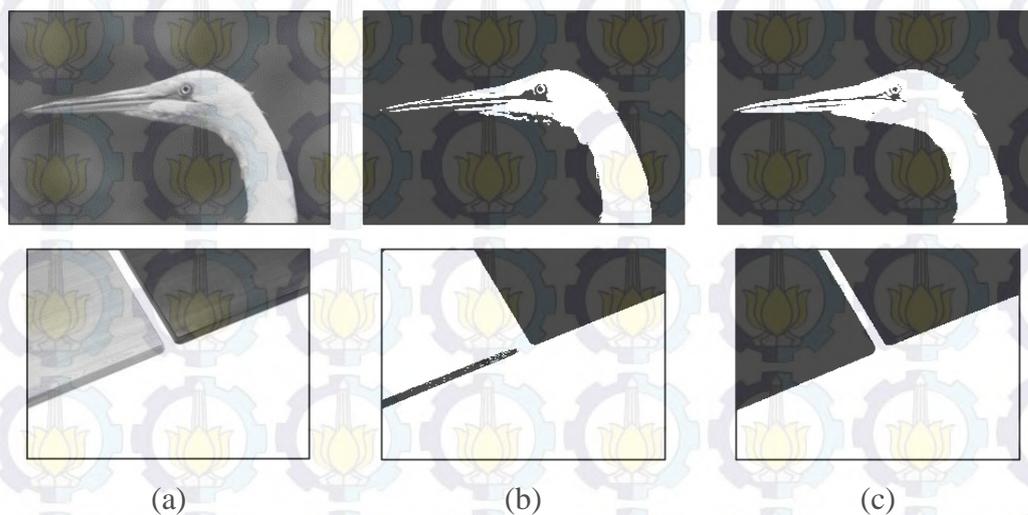
Gambar 4.26 Perbandingan hasil *thresholding*. (a) *Index of fuzziness*, (b) *variance*, (c) *fuzzy similarity measure*

Tabel 4.5 Rata-rata nilai ME dari *fuzzy similarity measure*, *index of fuzziness*, dan *variance*

Ukuran Similaritas	Misclassification Error (%)
<i>Variance</i>	7,92
<i>Index of fuzziness</i>	7,90
<i>Fuzzy similarity measure</i>	6,85

Dari Gambar 4.25 dan Gambar 4.26 dapat diketahui jika performa *thresholding* menggunakan *fuzzy similarity measure* lebih baik daripada menggunakan *index of fuzziness* atau *variance* saja. Hal ini dibuktikan dengan rata-rata nilai ME *fuzzy similarity measure* yang lebih kecil dari *index of fuzziness* dan *variance* yang ditunjukkan pada Tabel 4.5.

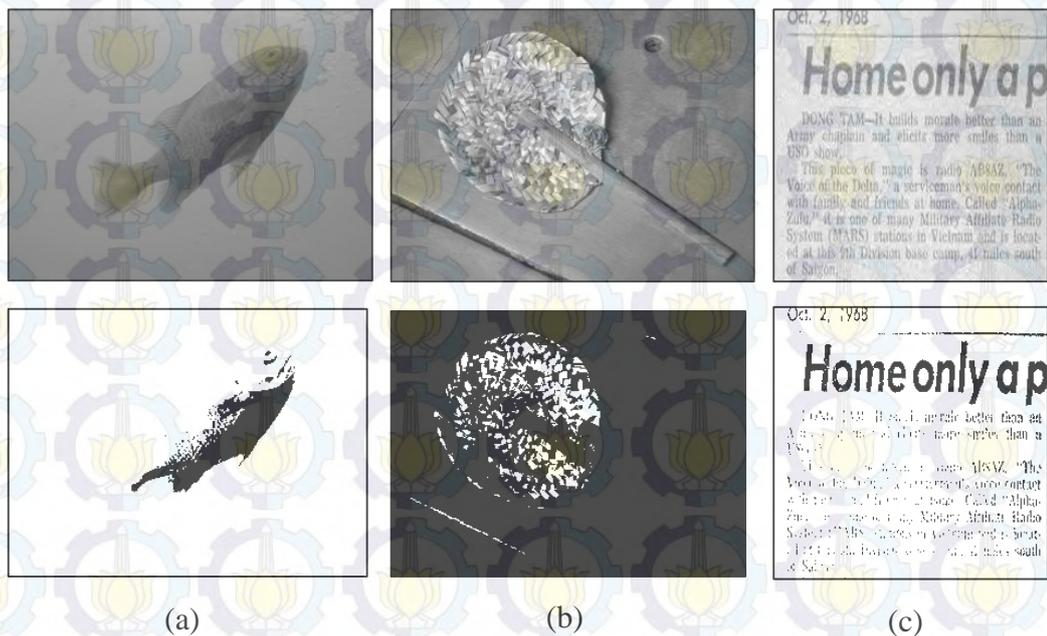
Beberapa contoh perbandingan hasil *thresholding* lainnya ditunjukkan pada Gambar 4.27. Dari Gambar 4.27 diketahui bahwa hasil *thresholding* metode yang diusulkan menghasilkan objek yang lebih bersih dari *pixels background* dibandingkan dengan metode Otsu. Selain itu, pada hasil *thresholding* metode Otsu terdapat lebih banyak *pixels* objek yang diklasifikasikan sebagai *background* sehingga terdapat beberapa detil objek yang hilang.



Gambar 4.27 Perbandingan hasil *thresholding* lainnya. (a) Citra asli, (b) Metode Otsu, (c) Metode yang diusulkan

Hasil *threshold* dari *fuzzy similarity measure* adalah *gray level* yang memiliki similaritas terbesar dengan kedua *initial seed*. Dengan kata lain, *gray level* yang dapat membagi daerah pada *fuzzy region* menjadi dua akan memiliki *fuzzy similarity measure* terbesar. *Gray level* tersebut biasanya terletak pada suatu lembah diantara dua puncak pada histogram. Hal ini yang menyebabkan performa metode yang diusulkan lebih baik dari metode lainnya pada histogram *bimodal* maupun *multimodal*.

Hasil *thresholding* yang kurang baik akan muncul jika tidak terdapat lembah yang memisahkan *pixels* objek dan *background* pada *fuzzy region*. Kondisi ini terjadi pada citra dengan histogram *unimodal* dimana tidak terdapat lembah yang memisahkan objek dan background sehingga akan menyulitkan proses penentuan *threshold* pada citra. Hasil *thresholding* citra yang kurang baik beserta histogram dan nilai *threshold* metode yang diusulkan pada beberapa citra dengan histogram *unimodal* ditunjukkan pada Gambar 4.28.

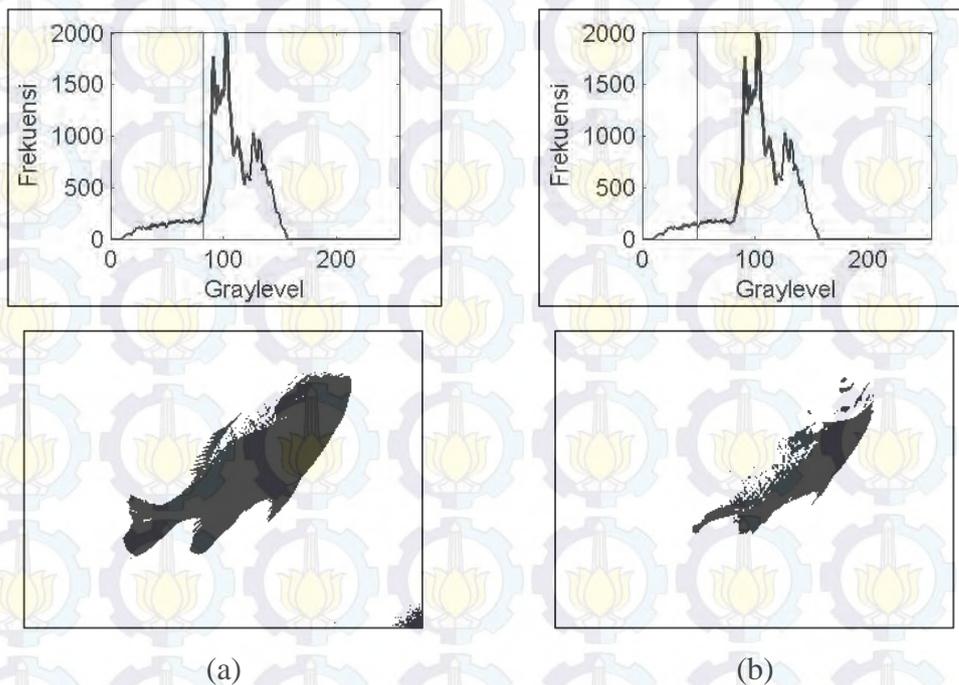


Gambar 4.28 Hasil *thresholding* yang kurang baik pada histogram unimodal.

(a) Citra Unimodal 1, (b) Citra Unimodal 2, (c) Citra Unimodal 3

Tidak adanya lembah pada *fuzzy region* akan menyebabkan penentuan *threshold* metode yang diusulkan tidak optimal. Berbeda dengan metode Otsu yang melakukan perhitungan *variance* secara menyeluruh pada seluruh histogram, metode yang diusulkan melakukan perhitungan *fuzzy similarity measure* secara individu pada setiap anggota *fuzzy region*. Akibatnya jika *threshold* yang optimal tidak berada pada suatu lembah pada *fuzzy region*, maka *fuzzy similarity measure* terbesar tidak selalu menghasilkan *threshold* yang optimal.

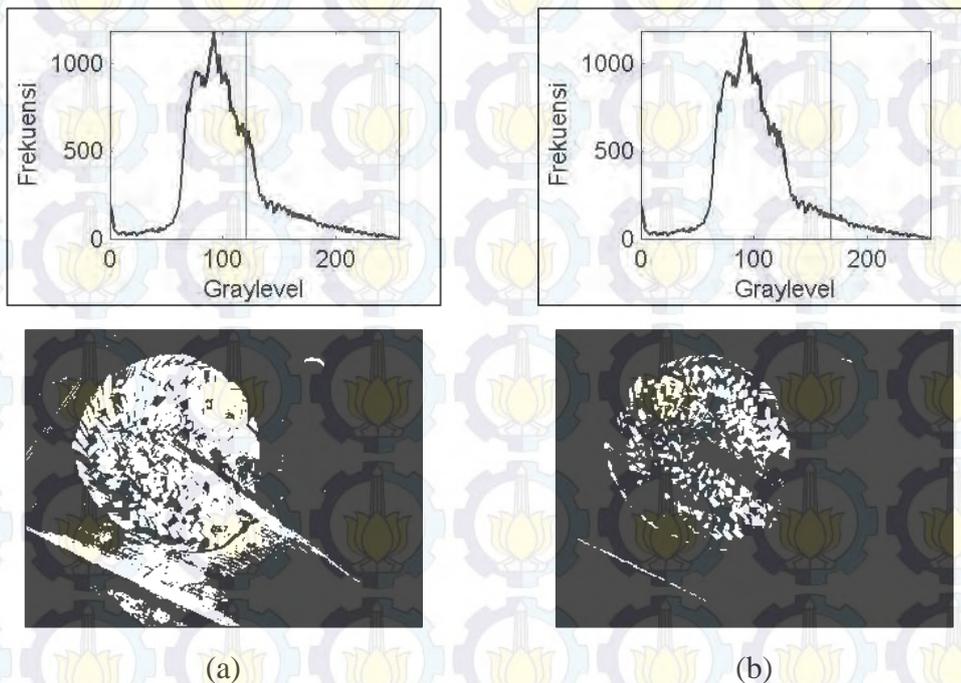
Pada histogram *unimodal*, *initial seed* satu dan yang lain pasti tidak seimbang karena hanya ada satu puncak dalam histogram. Akibatnya, *gray level* dengan similaritas terkecil adalah *gray level* yang letaknya paling jauh dengan *initial seed* yang berada pada puncak histogram. Sedangkan nilai *threshold* pada histogram *unimodal* biasanya terletak pada daerah di sekitar puncak. Hal ini yang menyebabkan hasil *thresholding* yang kurang optimal pada citra dengan histogram *unimodal*.



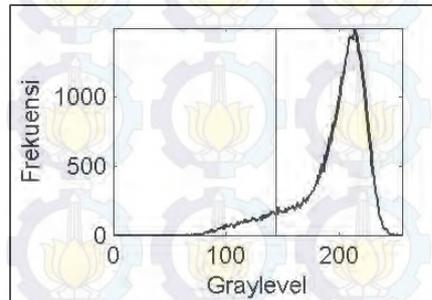
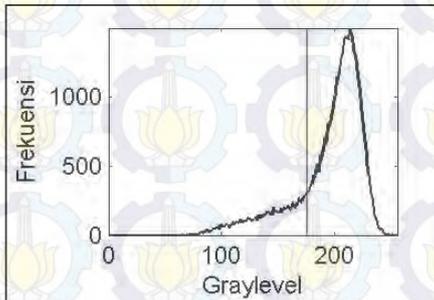
Gambar 4.29 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Unimodal 1. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan

Perbandingan nilai *threshold* metode Otsu dan metode yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 4.29. Dari Gambar 4.29 diketahui bahwa metode Otsu menghasilkan citra tersegmentasi yang lebih baik dari metode yang diusulkan. Hal ini disebabkan karena nilai *threshold* metode Otsu dapat membagi histogram menjadi dua yang terletak di antara lembah dan puncak pada histogram. Sedangkan nilai *threshold* metode yang diusulkan berada pada daerah lembah yang tidak bisa membagi histogram menjadi dua.

Hal yang serupa juga terjadi pada citra Unimodal 2 dan citra Unimodal 3 yang ditunjukkan pada Gambar 4.30 dan Gambar 4.31. Dari Gambar 4.30 dan Gambar 4.31 diketahui bahwa nilai *threshold* metode Otsu berada pada daerah antara puncak dan lembah pada histogram. Sedangkan nilai *threshold* metode yang diusulkan berada pada lembah yang sebenarnya bukanlah letak dari *threshold* yang optimal. Sehingga hasil *thresholding* metode Otsu memiliki nilai *error* yang lebih rendah daripada hasil *thresholding* metode yang diusulkan pada citra dengan histogram *unimodal*.



Gambar 4.30 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Unimodal 2. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan



(a)

(b)

Gambar 4.31 Perbandingan nilai *threshold* pada citra Unimodal 3. (a) Metode Otsu, (b) Metode yang diusulkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan diuraikan beberapa kesimpulan dari pembahasan dan analisis hasil yang telah dikerjakan pada Bab 4 yang disertai dengan saran untuk penelitian selanjutnya.

5.1 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian *image thresholding* berdasarkan *index of fuzziness* dan *fuzzy similarity measure* antara lain sebagai berikut.

1. *Image thresholding* berdasarkan *index of fuzziness* dan *fuzzy similarity measure* berhasil digunakan untuk melakukan *thresholding* terhadap berbagai macam citra dengan berbagai macam jenis histogram dengan performa berdasarkan nilai ME 6,85%.
2. Posisi *fuzzy region* yang efektif terletak pada daerah di sekitar *gray level* dengan nilai *Index of fuzziness* yang terbesar.
3. *Fuzzy similarity measure* yang memperhitungkan intensitas *gray level* dan fungsi keanggotaan *fuzzy* secara bersamaan pada perhitungan similaritasnya lebih efektif digunakan untuk menentukan *threshold* yang optimal pada *fuzzy region* daripada yang hanya memperhitungkan intensitas *gray level* saja ataupun fungsi keanggotaan *fuzzy* saja.
4. *Image thresholding* berdasarkan *index of fuzziness* dan *fuzzy similarity measure* menghasilkan hasil *thresholding* yang lebih baik daripada metode Otsu dengan nilai ME secara berurutan 6,85% dan 10,29%.

5.2 Saran

Dari penelitian ini didapatkan bahwa metode yang diusulkan menghasilkan citra tersegmentasi yang kurang baik pada citra dengan histogram *unimodal*. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang pengembangan *fuzzy similarity measure* yang memperhitungkan jarak *threshold* dari pusat *fuzzy region*.

Hal ini akan menambah efektifitas metode dalam menentukan *threshold* yang optimal saat digunakan pada citra dengan histogram *unimodal* yang tidak memiliki lembah diantara dua puncak.

Pada citra dengan tingkat *fuzzy* yang sangat tinggi, *index of fuzziness* kurang efektif digunakan untuk mencari posisi *fuzzy region*. Hal ini disebabkan karena perhitungan *index of fuzziness* berdasarkan pada teori *fuzzy sets type I* yang tidak mampu memodelkan tingkat *fuzziness* yang sangat tinggi pada citra. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penentuan *fuzzy region* berdasarkan pada teori *fuzzy sets type II*.

DAFTAR PUSTAKA

Alpert, S., Galun, M., Basri, R., Brandt, A. (2007), "Image Segmentation by Probabilistic Bottom-Up Aggregation and Cue Integration", *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*.

Arifin, A.Z. dan Asano, A. (2005), "Image Thresholding by Measuring The Fuzzy Set Similarity", *Proc. Information dan Technology Seminar*, hal. 189-194.

Arifin, A.Z. dan Asano, A. (2006), "Image Segmentation by Histogram Thresholding Using Hierarchical Cluster Analysis", *Pattern Recognition Letters*, Vol. 27, No. 13, hal. 1515-1521.

Guo Y., Sengür, A., Ye, J. (2014), "A Novel Image Thresholding Algorithm Based on Neutrosophic Similarity Score", *Measurement*, Vol. 58, hal. 175-186.

Huang L. dan Wang M.J. (1995), "Image Thresholding by Minimizing the Measures of Fuzziness", *Pattern Recognition*, Vol. 28, No. 1, hal. 41-51.

Lopes, N.V., dkk (2010), "Automatic Histogram Threshold Using Fuzzy Measures", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 19, No. 1, hal. 199-204.

Otsu, N. (1979), "A threshold selection method from gray-level histograms". *IEEE Transactions of Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 9, hal. 62-66.

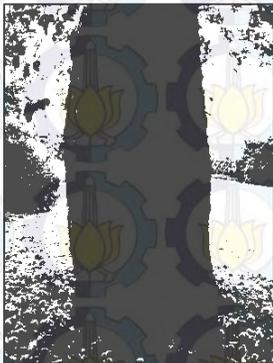
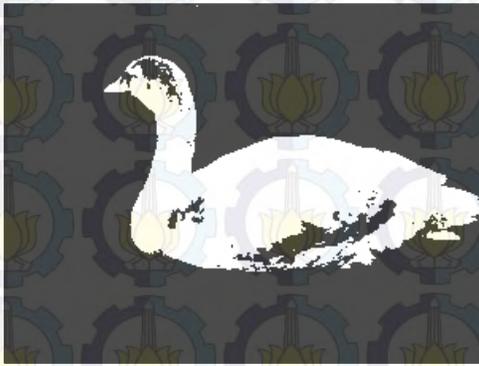
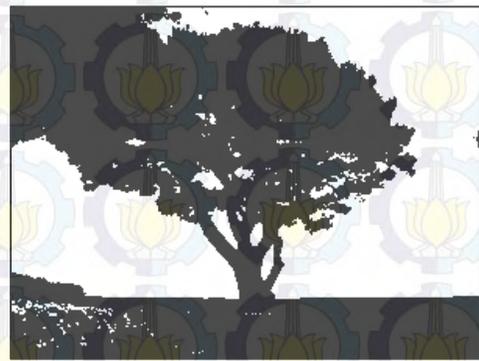
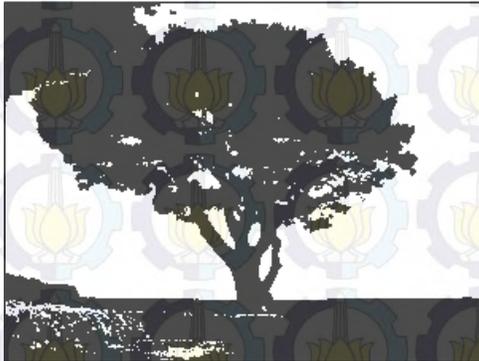
Pal, N.R. dan Bezdek, J.C. (1994), "Measuring Fuzzy Uncertainty", *IEEE Transactions on Fuzzy System*, Vol. 2, No. 2, hal. 107-118.

Tobias, O.J., dan Seara, R. (2002), "Image Segmentation by Histogram Thresholding Using Fuzzy Sets", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 11, No. 12, hal. 1457-1465.

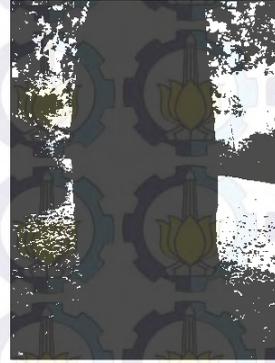
Tizhoosh, H.R. (2005), "Image thresholding using type II fuzzy sets", *Pattern Recognition*, Vol. 38, hal. 2363-2372.

Zimmerman, H.J., (2000), *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Kluwer Academic Publishers, London.

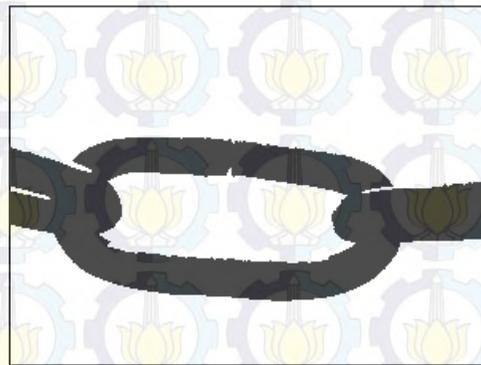
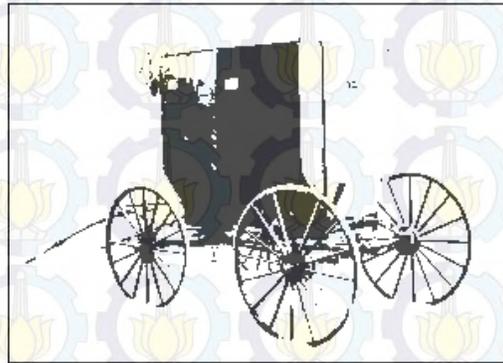
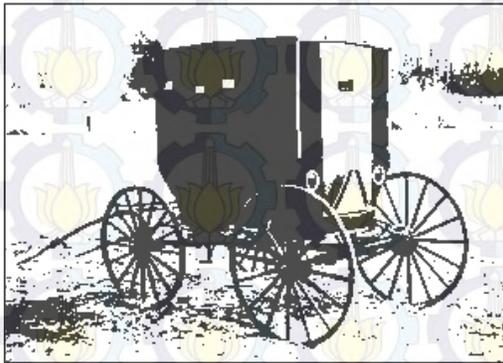
Lampiran 1



Metode Otsu

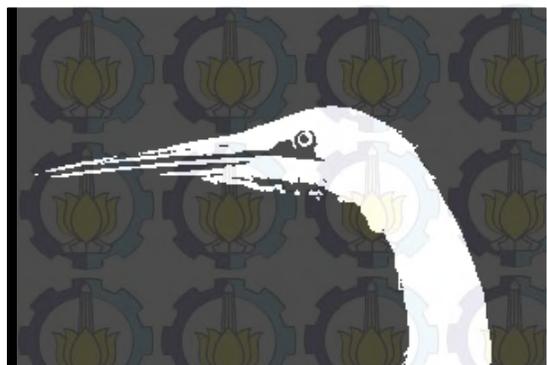


Metode yang diusulkan



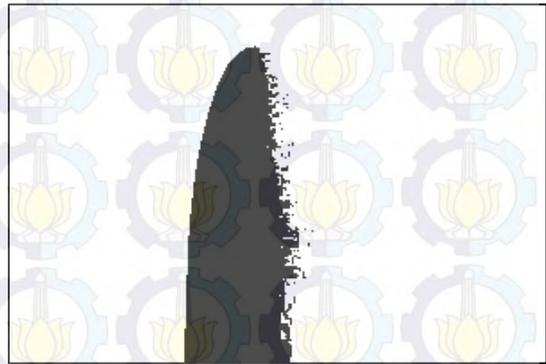
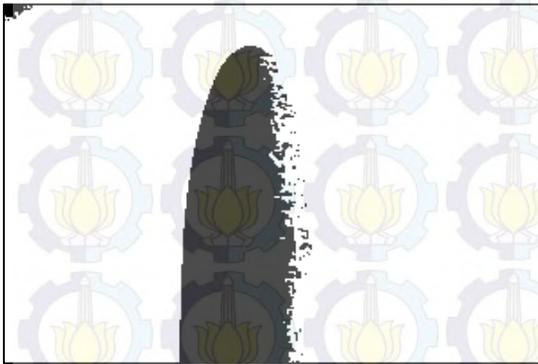
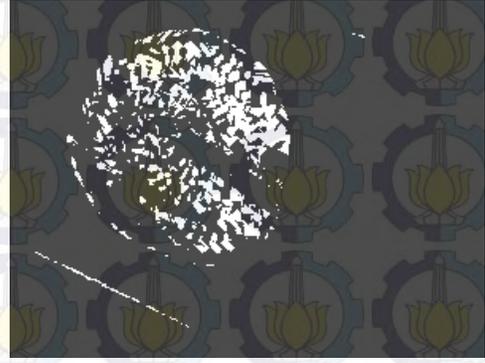
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



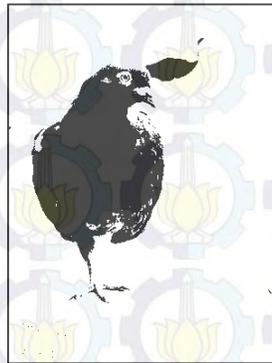
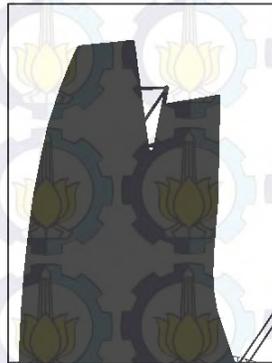
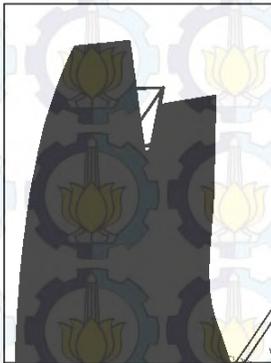
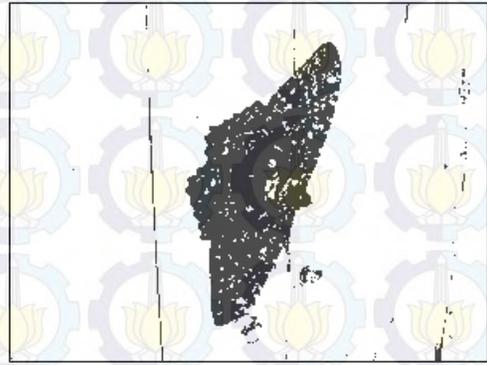
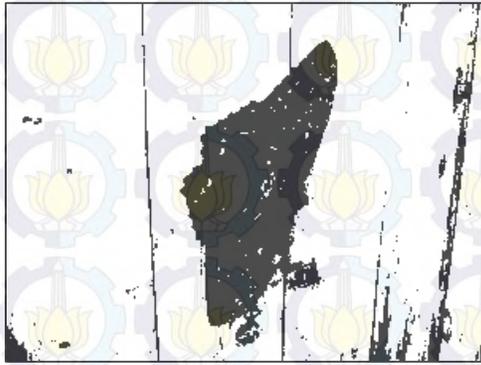
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



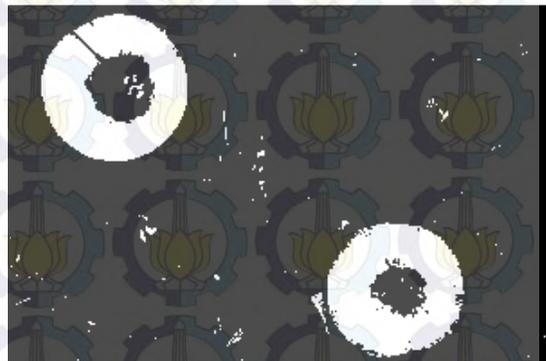
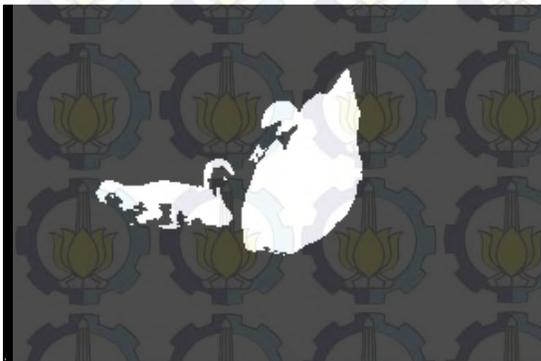
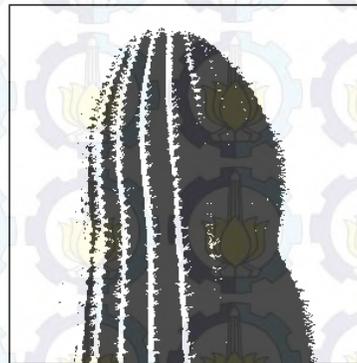
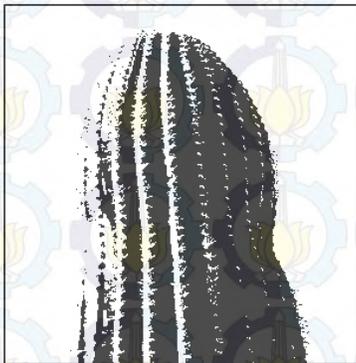
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



Metode Otsu

Metode yang diusulkan



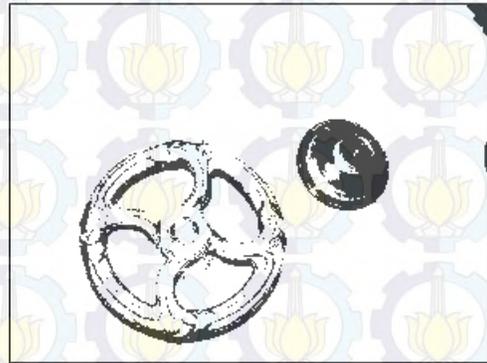
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



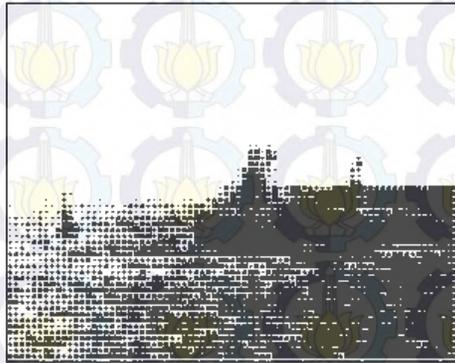
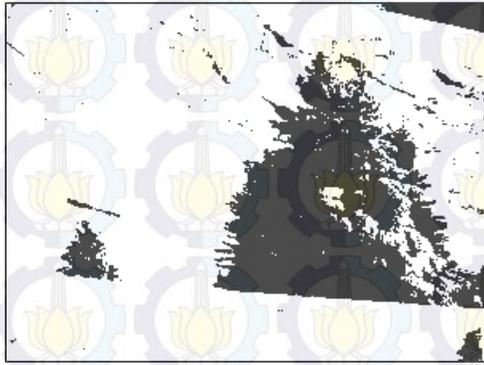
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



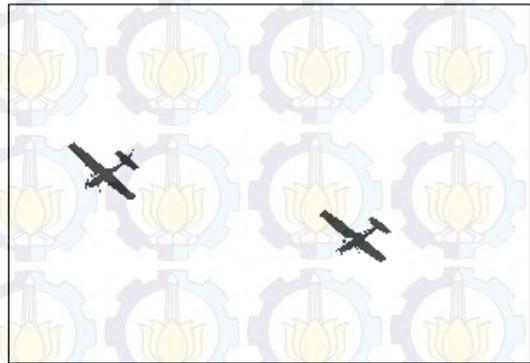
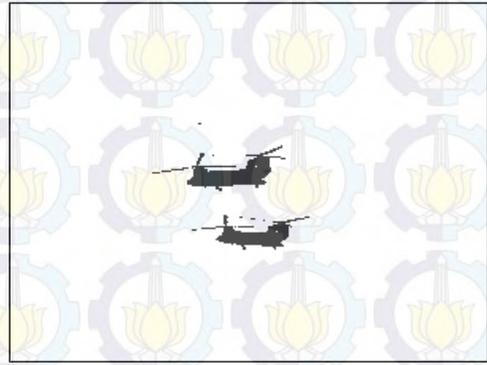
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



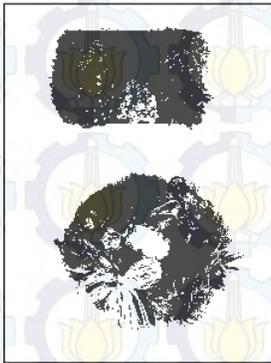
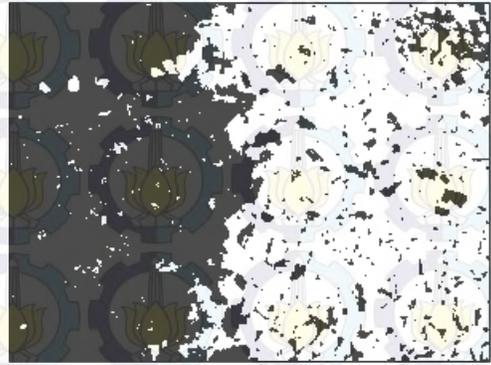
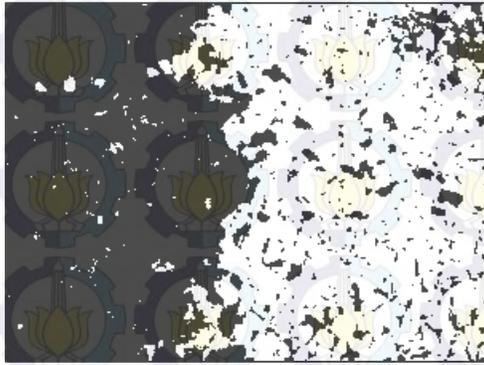
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



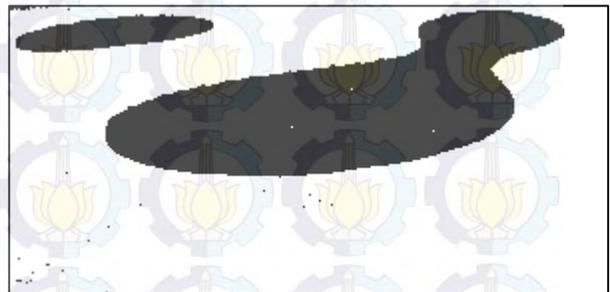
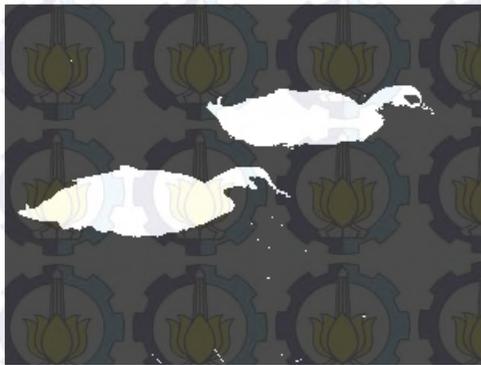
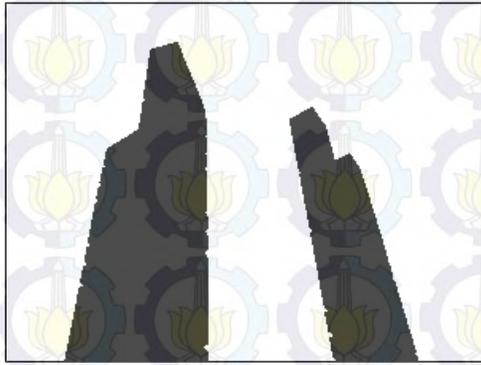
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



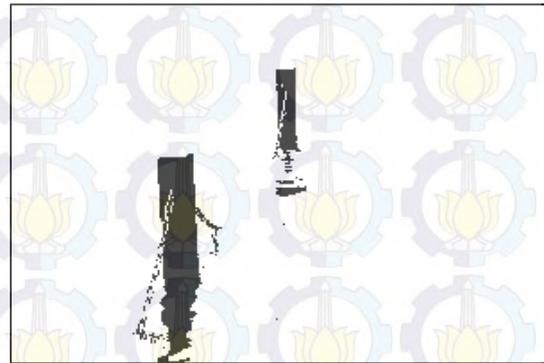
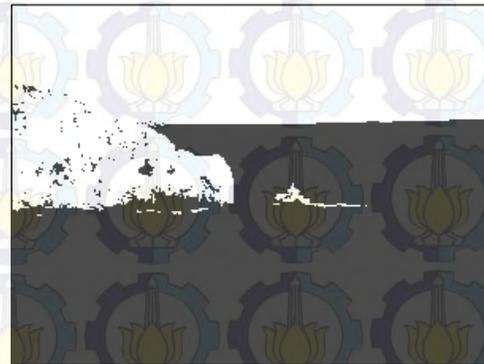
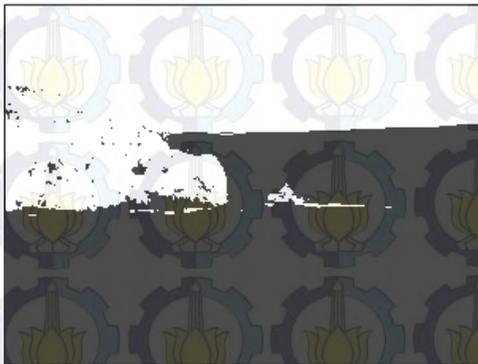
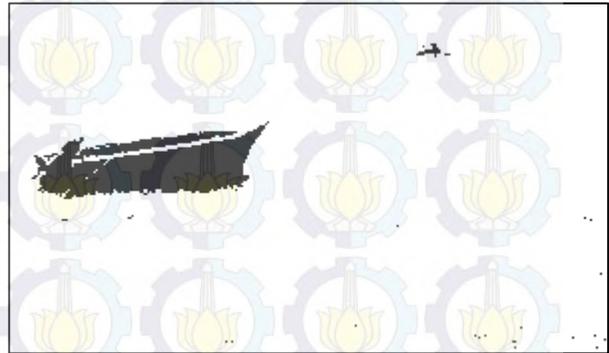
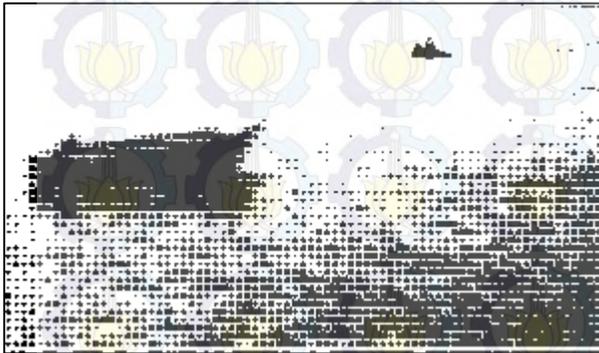
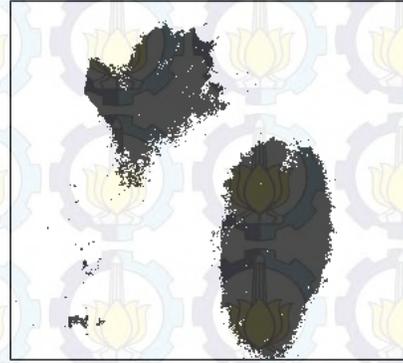
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



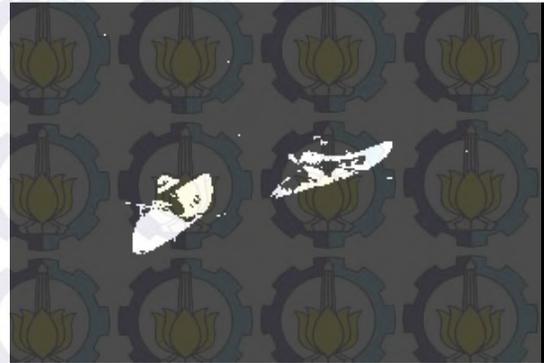
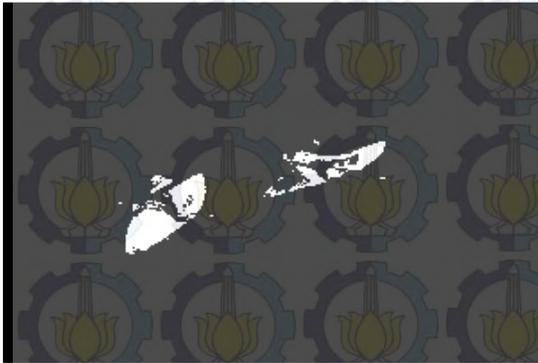
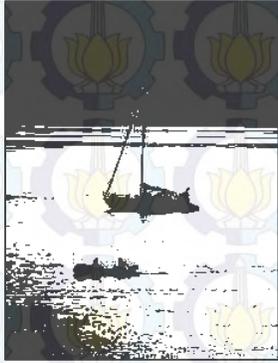
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



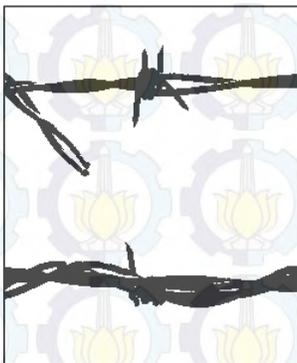
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



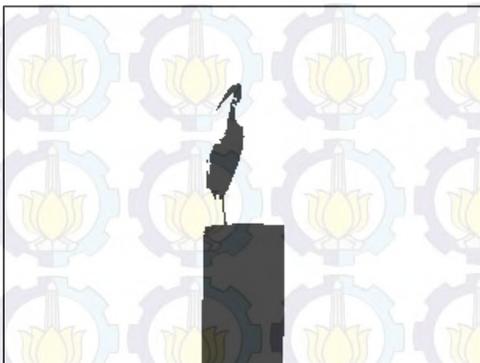
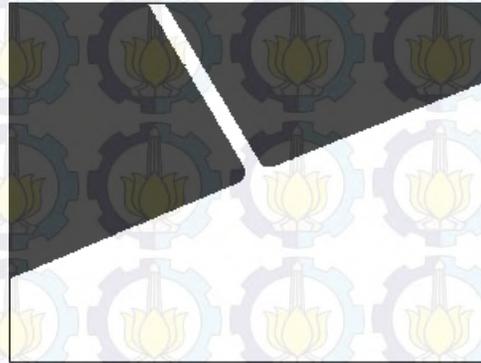
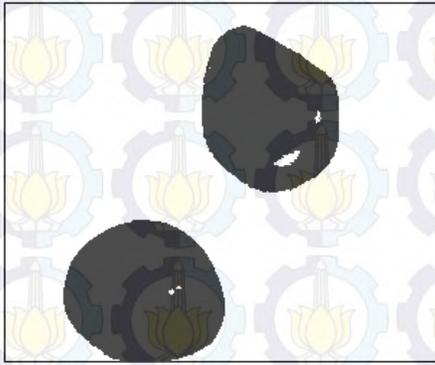
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



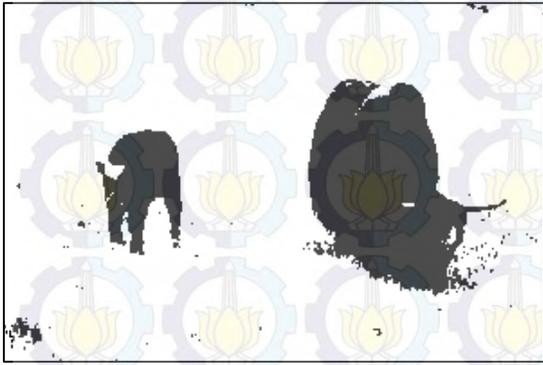
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



Metode Otsu

Metode yang diusulkan



Oct. 2, 1968

Home only a p

DONG TAM—It builds morale better than an Army clapping and elicits more smiles than a USO show.

This piece of magic is radio A8SAZ, "The Voice of the Delta," a serviceman's voice contact with family and friends at home. Called "Alpha-Zulu," it is one of many Military Affiliate Radio System (MARS) stations in Vietnam and is located at this 9th Division base camp, 41 miles south of Saigon.

Oct. 2, 1968

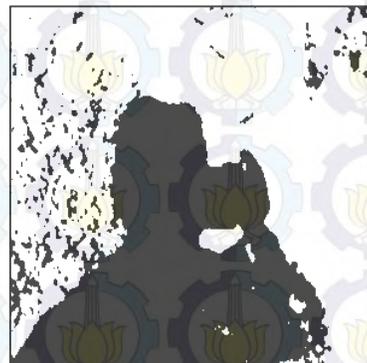
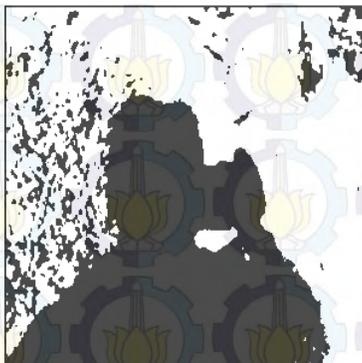
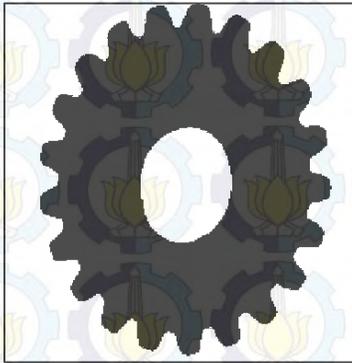
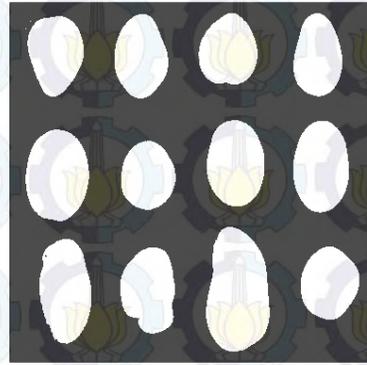
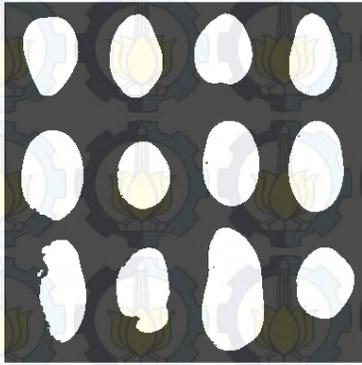
Home only a p

DONG TAM—It builds morale better than an Army clapping and elicits more smiles than a USO show.

This piece of magic is radio A8SAZ, "The Voice of the Delta," a serviceman's voice contact with family and friends at home. Called "Alpha-Zulu," it is one of many Military Affiliate Radio System (MARS) stations in Vietnam and is located at this 9th Division base camp, 41 miles south of Saigon.

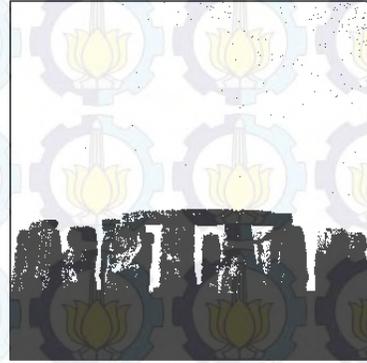
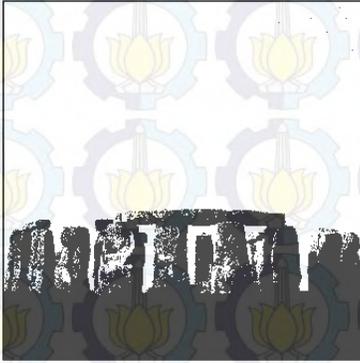
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



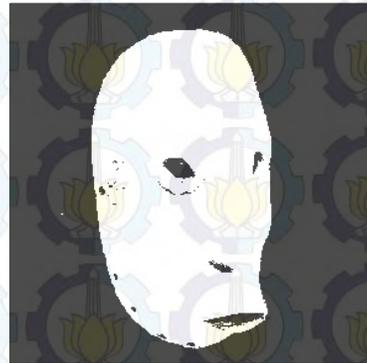
Metode Otsu

Metode yang diusulkan



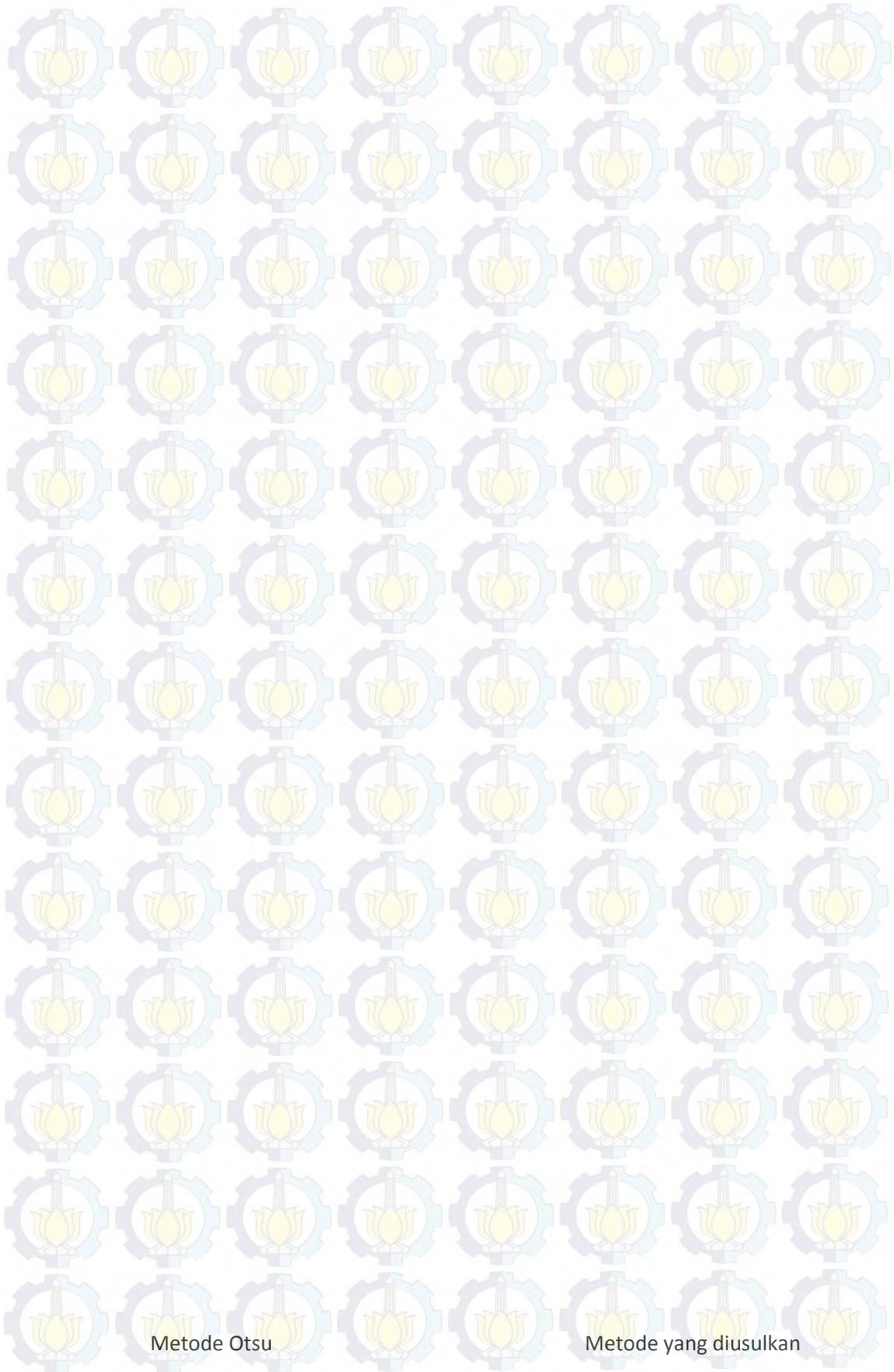
destru
med o
manufac
mainte
ber and
etuator a
bonding an
interlayer
of massive
and impact

destru
aimed o
of manufac
and mainte
Fiber and
actuator a
bonding an
interlayer
of massive
and impact



Metode Otsu

Metode yang diusulkan



Metode Otsu

Metode yang diusulkan

BIOGRAFI PENULIS

Gulpi Qorik Oktagalu Pratamasunu, dilahirkan di sebuah desa tersembunyi bernama Banyuwangi pada tanggal 30 Oktober 1990. Dibesarkan dalam sebuah *clan* yang disiplin, penulis mulai belajar menulis dan membaca pada umur 3 tahun. Ayah bernama Drs. H. Sunarno M.M., adalah seorang pengajar di sebuah akademi di desa tersebut. Bersama dengan ibu Hj. Tutik Islamiyah, Ayah mengirimkan penulis ke suatu akademi ninja dasar yang bernama TK Muslimat 157 Rogojampi, SDN Pengatigan 2 Rogojampi, MTs Rogojampi, dan SMAN 1 Rogojampi.



Keinginan menjadi ninja yang profesional, menuntut penulis merantau ke desa ninja hujan Malang untuk menempuh pendidikan di Wearnes Education Center pada tahun 2008. Semakin tertarik untuk belajar lebih jauh mengenai jurus ninja terlarang informatika, penulis melanjutkan pendidikannya di Universitas Negeri Malang pada tahun 2009. Penulis sempat menerbitkan suatu gulungan ninjutsu yang berjudul “*Dokter Bedah Spesialis Virus Komputer*”. Setelah 7 semester menempuh rintangan, akhirnya penulis mengakhiri pendidikan ninjanya dan menulis gulungan ninjutsu berjudul “*Pengembangan Permainan Online Edukatif Berbasis Web Pada Materi Topologi Jaringan*” dan mendapatkan jurus ninja rahasia Sharingan Pendidikan (S.Pd). Jurus ini yang membuka mata penulis bahwa masih banyak hal yang harus dipelajari untuk menjadi seorang ninja yang bermanfaat bagi umat manusia. Inilah yang menjadi motivasi penulis merantau ke desa ninja pasir tersembunyi Surabaya untuk mencari jurus ninja rahasia tingkat dua Mangekyo Komputer (M.Kom).

Kegiatannya di waktu senggang penulis menghabiskan waktu dengan bermain *game* Dota 2 bersama ninja lain yang tergabung dalam *clan* DDF. Selain itu, penulis juga gemar bermain beberapa *game* RPG terkenal dan *game* dengan *genre* *Open World*. Selain bermain *game*, penulis mengisi waktunya dengan membuat berbagai macam *indie game* dan dikenal online sebagai @pratamashun dan dapat dihubungi melalui gulpi.qorik@gmail.com.

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Histogram <i>thresholding</i>	6
Gambar 2.2 Fungsi keanggotaan <i>triangular</i>	7
Gambar 2.3 Fungsi keanggotaan berdasarkan distribusi <i>Gaussian</i>	8
Gambar 2.4 Fungsi keanggotaan Z dan S	8
Gambar 2.5 Penentuan <i>fuzzy region</i> (Tobias, 2002)	10
Gambar 3.1 Tahapan metode yang diusulkan.....	14
Gambar 3.2 Konsep histogram <i>thresholding</i> Arifin dan Asano (2005).....	15
Gambar 3.3 Penentuan fungsi keanggotaan histogram.....	16
Gambar 3.4 Inisialisasi <i>fuzzy region</i>	17
Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> inisialisasi <i>fuzzy region</i>	18
Gambar 3.6 <i>Dataset</i> citra uji coba	22
Gambar 3.7 Beberapa contoh dataset uji coba citra natural.....	23
Gambar 4.1 Contoh pembentukan histogram	25
Gambar 4.2 Fungsi keanggotaan pada perhitungan <i>index of fuzziness</i> (γ_T)	26
Gambar 4.3 Nilai <i>index of fuzziness</i> (γ_T) setiap gray level.....	26
Gambar 4.4 Histogram citra dengan <i>initial seed</i> dan <i>fuzzy region</i>	27
Gambar 4.5 Fungsi keanggotaan untuk perhitungan <i>fuzzy similarity measure</i>	28
Gambar 4.6 <i>Fuzzy similarity measure</i> setiap gray level pada <i>fuzzy region</i>	28
Gambar 4.7 Hasil <i>thresholding</i> metode yang diusulkan	29
Gambar 4.8 Citra uji sintetis beserta citra <i>ground truth</i>	30
Gambar 4.9 Perbandingan hasil <i>thresholding</i> pada citra uji sintetis.....	32
Gambar 4.10 Contoh beberapa citra uji natural beserta histogram.....	33
Gambar 4.11 Beberapa contoh perbandingan hasil <i>thresholding</i>	35
Gambar 4.12 Perbandingan hasil <i>thresholding dataset</i> Tizhoosh (2005).....	37
Gambar 4.13 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Derau 1	39
Gambar 4.14 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Derau 2	39
Gambar 4.15 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Derau 3	40
Gambar 4.16 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Derau 4	41
Gambar 4.17 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Derau 5	41

Gambar 4.18 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Sample 1	43
Gambar 4.19 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Sample 2	44
Gambar 4.20 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Sample 3	45
Gambar 4.21 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Sample 4	45
Gambar 4.22 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Sample 5	46
Gambar 4.23 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Sample 6	46
Gambar 4.24 <i>Index of fuzziness</i> terbesar pada citra.....	48
Gambar 4.25 Perbandingan nilai <i>threshold</i>	49
Gambar 4.26 Perbandingan hasil <i>thresholding</i>	49
Gambar 4.27 Perbandingan hasil <i>thresholding</i> lainnya.....	50
Gambar 4.28 Hasil <i>thresholding</i> yang kurang baik pada histogram unimodal	51
Gambar 4.29 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Unimodal 1	52
Gambar 4.30 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Unimodal 2	53
Gambar 4.31 Perbandingan nilai <i>threshold</i> pada citra Unimodal 3	54

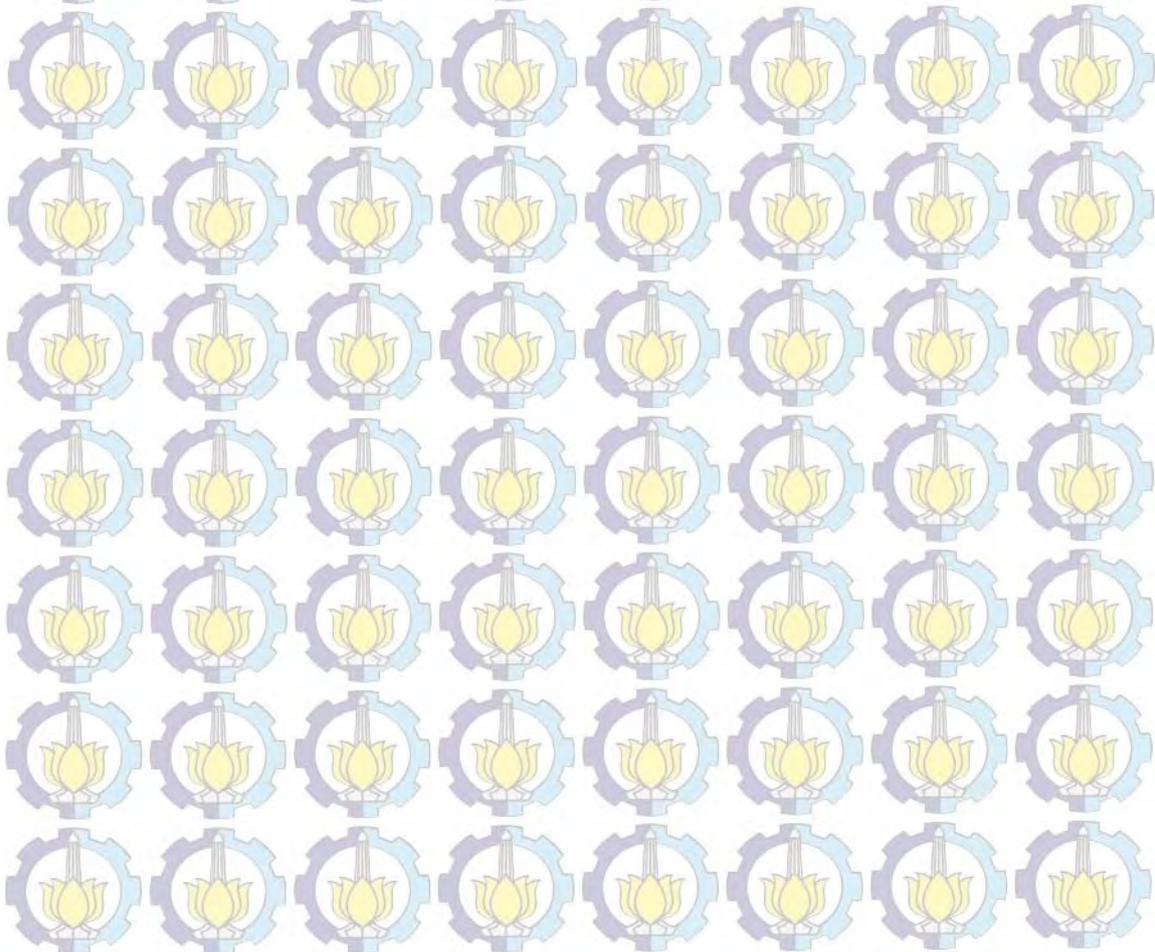


IMAGE THRESHOLDING PADA CITRA PANORAMIK GIGI BERDASARKAN INDEX OF FUZZINESS DAN SIMILARITAS ANTAR GRAY LEVEL

Gulpi Qorik Oktagalu Pratamasunu¹⁾, Agus Zainal Arifin²⁾, dan Anny Yuniarti³⁾

^{1,2,3)}Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, ITS Surabaya 60111

e-mail: gulpi.qorik@gmail.com¹⁾, agusza@cs.its.ac.id²⁾, anny@if.its.ac.id³⁾

ABSTRAK

Metode *image thresholding* berdasarkan teori fuzzy dan similaritas antar gray level mampu mengatasi masalah ambiguitas gray level dan pencahayaan yang tidak merata yang biasa ditemui pada citra medis. Namun, metode *thresholding* yang penentuan initial seeds-nya berdasarkan jumlah piksel minimum menghasilkan citra yang kurang baik saat diterapkan pada citra dengan kontras yang rendah, seperti yang terdapat pada citra panoramik gigi. Pada penelitian ini diusulkan metode *image thresholding* baru dengan penentuan initial seeds berdasarkan *index of fuzziness* terbesar pada histogram. Histogram dibagi kedalam tiga daerah berdasarkan posisi dari pusat fuzzy region. Kemudian, proses pengukuran similaritas antar gray level yang berada pada fuzzy region dilakukan untuk menemukan *threshold* yang optimal. Performa metode yang diusulkan diuji menggunakan citra panoramik gigi. Evaluasi performa dilakukan dengan menghitung nilai *Misclassification Error* antara citra hasil metode *thresholding* dengan citra *ground truth*. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa hasil *thresholding* metode yang diusulkan pada citra panoramik gigi memiliki performa yang lebih baik dibandingkan dengan hasil *thresholding* dari metode Otsu.

Kata Kunci: Citra Panoramik Gigi, *Image Thresholding*, *Index of Fuzziness*, *Similaritas Gray Level*.

ABSTRACT

Image thresholding approach based on fuzzy theory and similarity between gray levels is able to overcome the problem of gray level ambiguity and bad illumination that commonly seen on medical images. However, the thresholding method that determine the initial seeds based on the number of minimal pixels yields an unfavorable results when applied to the image with low contrast. In this study, we proposed a novel image thresholding method that determine the initial seeds based on the maximum value of index of fuzziness. The histogram is divided into three regions based on the center of fuzzy region. Then, the process of measuring the similarity between the gray levels on fuzzy region is started to find the optimal threshold. The performance of the proposed method was tested using dental panoramic images. Performance evaluation is done by calculating the value of Misclassification Error between images obtained by the thresholding methods with ground truth images. Evaluation results on dental panoramic images show that the proposed method produces better segmented image than Otsu method.

Keywords: Dental Panoramic Image, Gray Levels Similarity, *Image Thresholding*, *Index of Fuzziness*.

I. PENDAHULUAN

Segmentasi citra adalah proses yang sangat penting bagi aplikasi pemrosesan citra medis. Segmentasi citra biasanya dibutuhkan sebagai tahap praproses pada suatu sistem diagnosis citra medis. Akurasi segmentasi sangat menentukan kesuksesan dan kegagalan suatu prosedur diagnosis pada prosedur analisis berbasis komputer [1]. Oleh karena itu, metode segmentasi pada citra medis harus menghasilkan citra tersegmentasi dengan kualitas yang baik [2]. Salah satu metode segmentasi citra yang paling sederhana dan mudah diimplementasikan untuk mensegmentasi citra medis adalah *thresholding*.

Pada proses *thresholding*, suatu nilai *threshold* dipilih untuk mengklasifikasi *pixels* dalam citra ke dalam objek atau *background* berdasarkan nilainya. Penentuan nilai *threshold* yang paling optimal dibutuhkan untuk menghindari kesalahan penentuan objek dan *background* dari citra. Pada citra yang ideal, adanya lembah yang memisahkan dua puncak merepresentasikan *pixels* objek dan *background* sangat mempermudah proses penentuan *threshold*. Namun, untuk citra yang tidak memiliki lembah pemisah yang jelas, hasil segmentasi metode *thresholding* menjadi kurang optimal.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut dengan mengusulkan metode *thresholding* berdasarkan sifat statistik dari histogram citra. Salah satunya adalah Otsu [3] yang memanfaatkan *between-class*

variance untuk menentukan daerah dimana objek dan *background* dari suatu citra dapat dipisahkan secara optimal. Dengan cara ini, nilai *threshold* yang optimal dapat ditemukan walaupun tidak terdapat lembah yang jelas yang memisahkan dua puncak dalam histogram. Namun, adanya beberapa faktor yang mengganggu pada citra seperti pencahayaan yang tidak seragam, ambiguitas *gray level*, dan derau yang biasa ditemui pada citra medis dapat mengganggu proses penentuan *threshold*.

Tobias dan Seara [4] mengusulkan pendekatan histogram *thresholding* berdasarkan teori *fuzzy* dan similaritas antar *gray level* untuk mengatasi masalah tersebut. Metode ini membandingkan similaritas setiap anggota *gray level* pada *fuzzy region* menggunakan *index of fuzziness* dengan beberapa *gray level* dalam *initial seeds* objek dan *background* yang telah ditentukan sebelumnya. Dengan cara ini, permasalahan penentuan *threshold* yang biasa ditemui pada citra medis dapat diatasi. Namun, penentuan *initial seeds* objek dan *background* yang masih dilakukan secara manual oleh peneliti membuat hasil *thresholding* bersifat subjektif.

Untuk mengatasi masalah tersebut, Lopes, dkk [1] mengusulkan metode histogram *thresholding* yang merupakan pengembangan dari metode Tobias dan Seara [4]. Metode ini mengoptimasi penentuan *initial seeds* berdasarkan perhitungan *pixels* minimal yang harus dimiliki oleh *initial seeds* objek dan *background*. Dengan perhitungan *pixels* minimal, *initial seeds* dapat ditentukan secara otomatis. Namun, metode ini menghasilkan nilai *threshold* yang kurang optimal jika diterapkan pada citra dengan kontras rendah yang sering dijumpai pada citra panoramik gigi. Oleh karena itu, dibutuhkan metode *image thresholding* berdasarkan similaritas antar *gray level* berbasis *fuzzy* dengan penentuan *initial seeds* yang efektif pada citra dengan kontras rendah.

Pada penelitian ini, diusulkan metode *image thresholding* pada citra panoramik gigi berdasarkan *index of fuzziness* dan similaritas antar *gray level*. Penentuan *initial seeds* berdasarkan banyaknya *pixels* dalam histogram dihindari untuk menjaga ketahanan performa metode pada citra dengan kontras yang rendah. *Initial seeds* untuk memulai proses perhitungan similaritas antar *gray level* ditentukan berdasarkan nilai *index of fuzziness* disetiap *gray level* pada histogram. Nilai *threshold* yang optimal didapatkan dengan mengelompokkan *gray level* yang tidak termasuk dalam *initial seeds* berdasarkan nilai similaritasnya dengan kedua *initial seeds* tersebut. Dengan cara ini, nilai *threshold* yang optimal tetap dapat ditemukan pada citra dengan kontras yang rendah.

II. DEFINISI UMUM

A. Teori Fuzzy Set

Teori *fuzzy set* menetapkan suatu derajat keanggotaan kepada semua anggota dalam semesta berdasarkan potensinya untuk masuk kedalam suatu kelas, dimana tidak ada pemisah yang jelas antar anggota yang termasuk pada suatu kelas ataupun yang tidak termasuk di dalamnya. Derajat keanggotaan tersebut dapat dihitung berdasarkan fungsi matematika yang menetapkan suatu derajat keanggotaan pada *interval* 0 sampai 1 pada setiap anggota suatu himpunan *fuzzy*. Fungsi ini biasa disebut dengan fungsi keanggotaan atau fungsi karakteristik. Untuk himpunan semesta X , himpunan *fuzzy* A dalam X didefinisikan berdasarkan persamaan berikut.

$$A = \{(x_i, \mu_A(x_i))\}, x_i \in X. \tag{1}$$

Pada penelitian ini, *S-function* [5] digunakan untuk memodelkan fungsi keanggotaan untuk *pixels* terang. Fungsi tersebut didefinisikan berdasarkan persamaan

$$\mu_{A_s}(x) = S(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x < a \\ 2 \left\{ \frac{x-a}{c-a} \right\}^2, & a \leq x \leq b \\ 1 - 2 \left\{ \frac{x-a}{c-a} \right\}^2, & b < x \leq c \\ 1, & x > c \end{cases}. \tag{2}$$

Fungsi ini dapat dikontrol menggunakan parameter a dan c . Parameter b disebut sebagai titik temu yang dihitung

berdasarkan $b = \frac{a+c}{2}$. Sedangkan untuk memodelkan *pixels* gelap, digunakan *Z-function* yang diturunkan dari *S-function* dan didefinisikan pada persamaan

$$\mu_{A_z}(x) = Z(x; a, b, c) = 1 - S(x; a, b, c). \quad (3)$$

B. Measure of Fuzziness

Measure of fuzziness digunakan untuk menentukan seberapa *fuzzy* suatu himpunan *fuzzy*. Nilai *fuzziness* dari himpunan *crisp* bernilai nol, karena tidak terdapat ambiguitas tentang suatu anggota termasuk dalam suatu himpunan atau tidak. Sedangkan nilai *fuzziness* yang tinggi pada suatu himpunan menandakan tingginya ambiguitas antar anggota dalam himpunan tersebut. Dengan menggunakan *index of fuzziness* (IF) yang diperkenalkan oleh Kaufmann [6], nilai *fuzziness* suatu himpunan *fuzzy* dapat ditentukan dengan cara membandingkan derajat keanggotaannya dengan himpunan *crisp* terdekatnya. Suatu himpunan A^* disebut sebagai himpunan *crisp* dari himpunan A dimana fungsi keanggotaannya ditentukan berdasarkan persamaan

$$\mu_{A^*}(x) = \begin{cases} 0, & \text{if } \mu_A(x) < 0.5 \\ 1, & \text{if } \mu_A(x) \geq 0.5 \end{cases} \quad (4)$$

Nilai IF didapatkan dengan mengukur similaritas antara himpunan A dan A^* yang didefinisikan berdasarkan persamaan

$$\psi_k(A) = \frac{2}{n^k} \left[\sum_{i=1}^n |\mu_A(x_i) - \mu_{A^*}(x_i)|^k \right]^{\frac{1}{k}}, \quad (5)$$

dimana n adalah banyak anggota dalam himpunan A dan A^* . IF disebut linier jika nilai k adalah satu, dan disebut kuadrat jika nilai k adalah dua. Selain itu, dalam penelitiannya, Tizhoosh [7] mendefinisikan *linear index of fuzziness* berdasarkan persamaan

$$\gamma_A = \frac{2}{N} \sum_{g=0}^{L-1} h(g) \times \min[\mu_A(g), 1 - \mu_A(g)], \quad (6)$$

dimana $h(g)$ adalah intensitas pada *gray level* g , L adalah *gray level* maksimum, N adalah jumlah *pixels* yang terdapat pada A , dan μ_A adalah fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* A . Nilai ini merepresentasikan ambiguitas dalam suatu himpunan *fuzzy*. Semakin kecil nilai *index of fuzziness* maka semakin kecil pula ambiguitas antar anggota dalam suatu himpunan *fuzzy*.

III. PENELITIAN TERDAHULU

Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kekurangan dari metode sebelumnya yang dikembangkan oleh Lopes, dkk [1]. Metode tersebut menggunakan fungsi *pixels* minimal pada penentuan *initial seeds* untuk melakukan proses perhitungan similaritas antar *gray level*. Untuk menentukan *initial seeds* secara otomatis, metode tersebut menggunakan dua parameter statistik yaitu P_1 dan P_2 . Parameter ini diperoleh menggunakan pendekatan statistik yang dilakukan pada tiga puluh citra uji. Dengan cara ini, subjektivitas pada citra tersegmentasi dapat dikurangi, karena penentuan *initial seeds* dilakukan secara otomatis berdasarkan histogram citra.

Citra dengan kontras yang tinggi digunakan untuk menentukan nilai parameter P_1 . Nilai P_1 dipilih untuk memastikan nilai IF *initial seed* B (*pixels* gelap) dan *initial seed* W (*pixels* terang) bertambah secara monoton. Jika

nilai P_1 terlalu tinggi, maka luas daerah diantara kedua *initial seeds* (*fuzzy region*) terlalu kecil dan *threshold* yang mungkin dipilih menjadi terbatas. Sedangkan jika nilai P_1 terlalu rendah, *initial seeds* tidak cukup merepresentasikan masing-masing daerah, sehingga metode tidak konvergen. Dari hasil analisis, didapatkan nilai parameter P_1 adalah 39,64%. Sedangkan untuk menentukan parameter P_2 , citra dengan kontras yang rendah dipakai sebagai citra uji. Nilai parameter P_2 ditentukan sebesar 20% setelah dilakukan analisis dan *trial and error*.

Untuk menentukan kedua *initial seeds* dari histogram, metode tersebut menggunakan fungsi *pixels* minimal untuk menentukan jumlah *pixels* minimum yang harus dimiliki masing-masing *initial seed*. Fungsi tersebut didefinisikan menggunakan persamaan

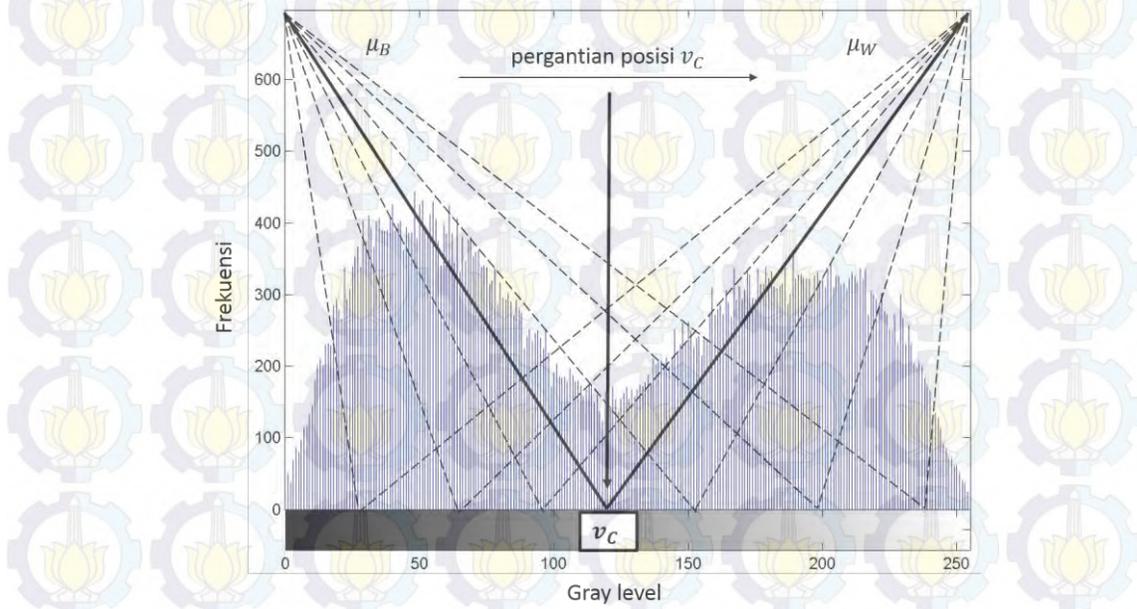
$$\text{MinPix}_{B_{\text{seed}}(W_{\text{seed}})} = P1 \sum_{i=0(128)}^{127(255)} h(x_i), \quad (7)$$

dimana B_{seed} adalah *initial seed B*, W_{seed} adalah *initial seed W*, dan $h(x_i)$ adalah intensitas pada *gray level* x_i .

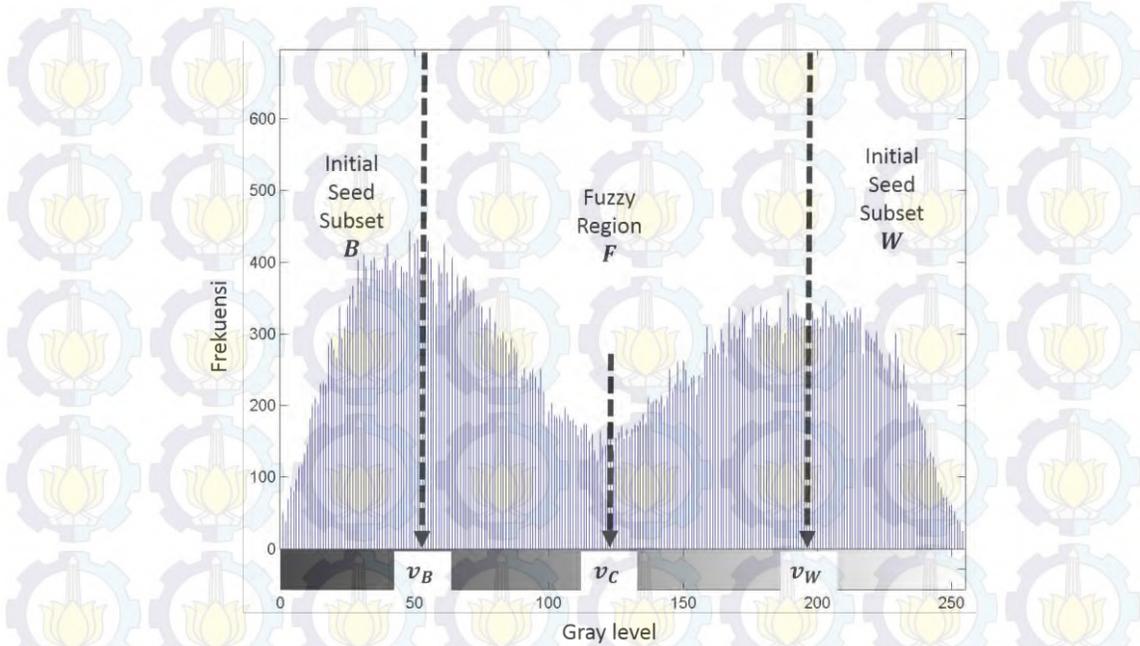
IV. METODE YANG DIUSULKAN

Metode yang dikembangkan oleh Lopes, dkk [1] mampu menentukan batas *initial seeds* pada citra tanpa bantuan pakar. Namun, penentuan *initial seeds* metode tersebut memiliki beberapa kekurangan terkait dengan tingkat kontras pada citra. Dua parameter statistik P_1 dan P_2 diturunkan dari tiga puluh citra uji, sehingga tidak menjamin dapat menghasilkan *initial seeds* yang efektif pada seluruh jenis citra. Selain itu, penerapan metode tersebut pada citra dengan kontras yang rendah akan menghasilkan hasil yang kurang baik karena persebaran *pixels* yang tidak seimbang pada kedua *initial seeds*, yang sering ditemui pada citra panoramik gigi. Sehingga untuk kasus *thresholding* pada citra panoramik gigi, dibutuhkan *histogram equalization* sebagai tahap praproses. Metode tersebut masuk kedalam kategori metode yang *semi supervised*, karena dibutuhkan bantuan pakar untuk menentukan suatu citra termasuk dalam kontras yang rendah atau tidak.

Pada penelitian ini diusulkan metode penentuan *initial seeds* secara otomatis berdasarkan posisi dari pusat *fuzzy region*. *Fuzzy region* dapat ditentukan dengan menemukan daerah yang memiliki nilai *fuzziness* yang maksimum. Hal ini dilakukan karena *fuzzy region* terletak dimana *threshold* yang optimal dapat ditemukan, sehingga daerah tersebut pasti memiliki nilai *fuzziness* yang besar. Pada penelitian ini, digunakan *index of fuzziness* [7] untuk menemukan *gray level* dengan nilai *fuzziness* maksimum, yang merupakan pusat dari *fuzzy region*. Kedua *initial seeds* dihitung berdasarkan posisi dari pusat *fuzzy region*. Kemudian, proses klasifikasi berdasarkan similaritas antar *gray level* dilakukan untuk setiap *gray level* yang berada pada *fuzzy region*.



Gambar 1. Proses perhitungan fungsi keanggotaan di semua *gray level*



Gambar 2. Inisialisasi *fuzzy region* dan *initial seeds*

A. Penentuan *Initial seeds* berdasarkan *Index of fuzziness*

Untuk menemukan *gray level* dengan nilai *fuzziness* maksimum, diperlukan nilai *index of fuzziness* masing-masing *gray level* pada histogram. Hal ini dapat dilakukan dengan menghitung fungsi keanggotaan (μ_B dan μ_W) pada seluruh *gray level* yang dikontrol berdasarkan titik dan menghitung nilai *index of fuzziness*-nya pada setiap *gray level*. Kemudian, pusat *fuzzy region* ditetapkan pada posisi *gray level* yang memiliki nilai *index of fuzziness* maksimum. Untuk histogram dengan L *gray level*, fungsi keanggotaan tersebut didefinisikan berdasarkan persamaan berikut.

$$\mu_B(g) = Z\left(g; 0, \frac{v_C}{2}, v_C\right), \quad (8)$$

$$\mu_W(g) = S\left(g; v_C, \frac{v_C + L}{2}, L\right), \quad (9)$$

dimana *S-function* dan *Z-function* dihitung berdasarkan persamaan (2) dan (3). Proses tersebut diilustrasikan pada Gambar 1.

Untuk intensitas *gray level* $h(g)$, fungsi keanggotaan μ_B dan μ_W , *index of fuzziness* γ pada setiap *gray level* dalam histogram didefinisikan berdasarkan persamaan berikut.

$$\gamma = \frac{4}{N^2} \sum_{g=0}^{L-1} [h(g) \mu_B(g)] \sum_{g=0}^{L-1} [h(g) \mu_W(g)]. \quad (10)$$

Pada penelitian ini, persamaan (10) diturunkan dari persamaan (6). *Index of fuzziness* pada penelitian ini menggunakan dua fungsi keanggotaan untuk menghitung nilai *fuzziness* pada suatu himpunan *fuzzy*. Sehingga fungsi minimum dari persamaan (6) dihilangkan.

Dalam menentukan *initial seeds* berdasarkan pusat *fuzzy region*, persamaan (11) dan (12) diadopsi dari penelitian [8]. Untuk pusat *fuzzy region* v_C dan intensitas *gray level* $h(g)$, batas *initial seed* B v_B dan *initial seed* W v_W dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$v_B = \frac{\sum_{g=0}^{v_C} g \cdot h(g)}{\sum_{g=0}^{v_C} h(g)}, \quad (11)$$

$$v_W = \frac{\sum_{g=v_C+1}^{L-1} g \cdot h(g)}{\sum_{g=v_C+1}^{L-1} h(g)}. \quad (12)$$

Dengan cara ini, kedua *initial seeds* ditentukan secara otomatis dan cukup besar untuk mewakili setiap *subset* dalam proses klasifikasi berdasarkan similaritas antar *gray level*. Gambar 2 mengilustrasikan penentuan *fuzzy region* dan kedua *initial seeds* pada histogram.

B. Penentuan Threshold berdasarkan Similaritas antar Gray level

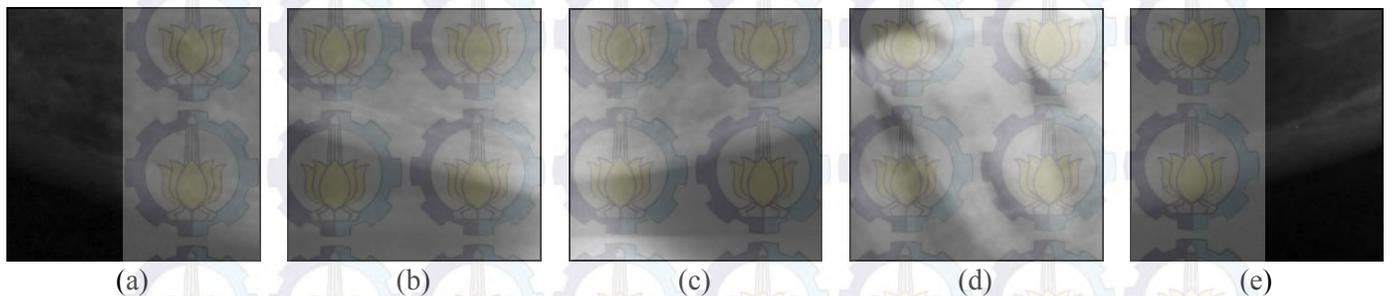
Kedua *initial seeds* yang diperoleh pada tahap sebelumnya digunakan untuk memulai proses penentuan *threshold* berdasarkan similaritas antar *gray level*. *Fuzzy region* ditempatkan diantara kedua *initial seeds* yang diilustrasikan pada Gambar 3.2. Kemudian, citra tersegmentasi diperoleh dengan melakukan proses klasifikasi setiap *gray level* pada *fuzzy region* untuk dimasukkan kedalam kelas *object* atau *background*. Proses klasifikasi tersebut dilakukan dengan menggabungkan suatu *gray level* f_i dari *fuzzy region* dengan masing-masing *initial seed* dan menghitung nilai IF dari *subset* $B \cup \{f_i\}$ dan $W \cup \{f_i\}$ berdasarkan persamaan (5). *Gray level* tersebut kemudian dimasukkan kedalam subset yang memiliki nilai IF yang lebih kecil (similaritas lebih besar). Karena proses klasifikasi didasarkan pada perbandingan nilai IF, faktor normalisasi α ditentukan untuk menormalisasi nilai IF agar memiliki nilai yang setara pada awal proses klasifikasi. Faktor normalisasi α ditentukan berdasarkan persamaan

$$\alpha = \frac{\psi(W)}{\psi(B)}, \quad (13)$$

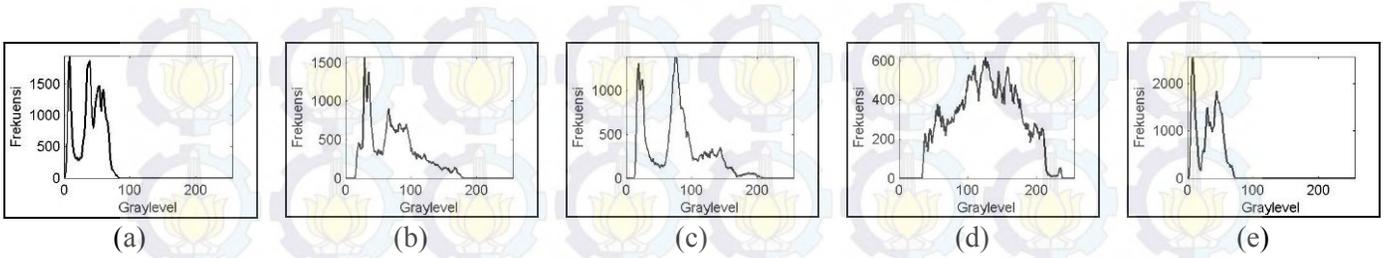
dimana $\psi(W)$ adalah nilai IF dari *initial seed* W dan $\psi(B)$ adalah nilai IF dari *initial seed* B.

Secara umum, algoritma proses klasifikasi *fuzzy region* untuk objek gelap adalah sebagai berikut:

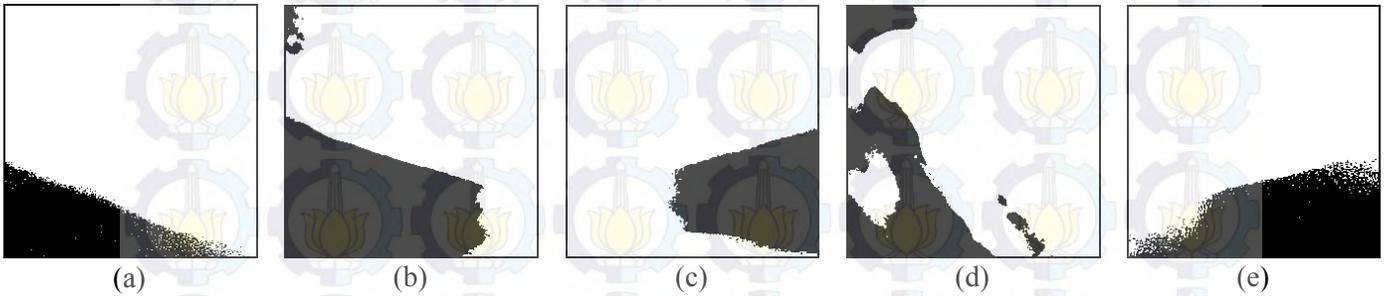
1. Hitung faktor normalisasi α berdasarkan persamaan (13)
2. Untuk semua *gray level* f_i pada *fuzzy region*, hitung $\psi(B \cup \{f_i\})$ dan $\psi(W \cup \{f_i\})$ berdasarkan persamaan (5)
3. Jika nilai $\psi(W \cup \{f_i\})$ lebih kecil dari $\alpha \cdot \psi(B \cup \{f_i\})$ maka f_i masuk kedalam kelas *background*, jika tidak, maka f_i masuk kedalam kelas *object*



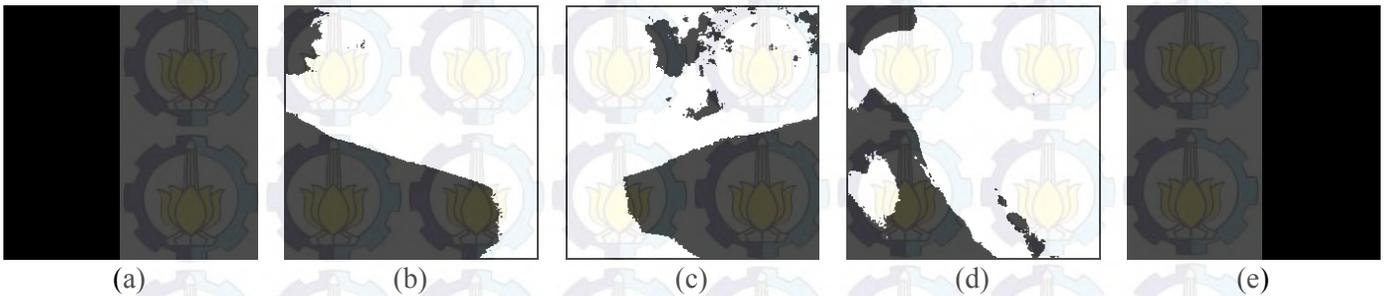
Gambar 3. Contoh citra panoramik gigi. (a) Citra 2, (b) Citra 8, (c) Citra 10, (d) Citra 13, (e) Citra 14



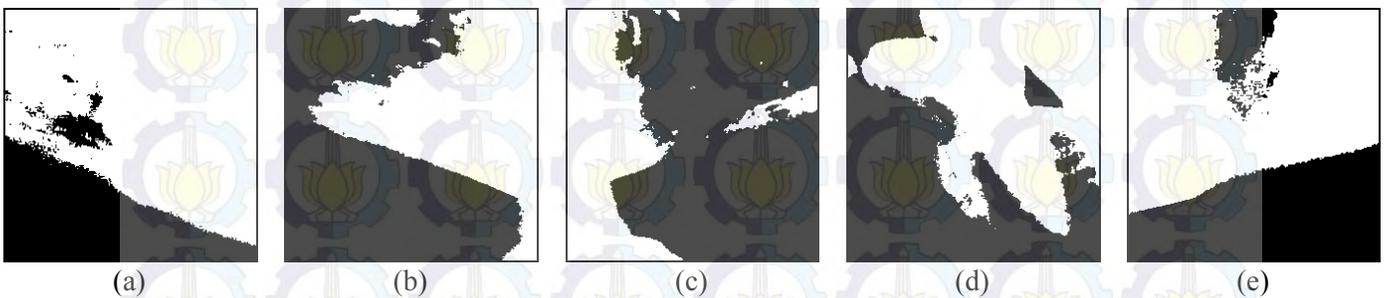
Gambar 4. Contoh histogram citra panoramik gigi. (a) Citra 2, (b) Citra 8, (c) Citra 10, (d) Citra 13, (e) Citra 14



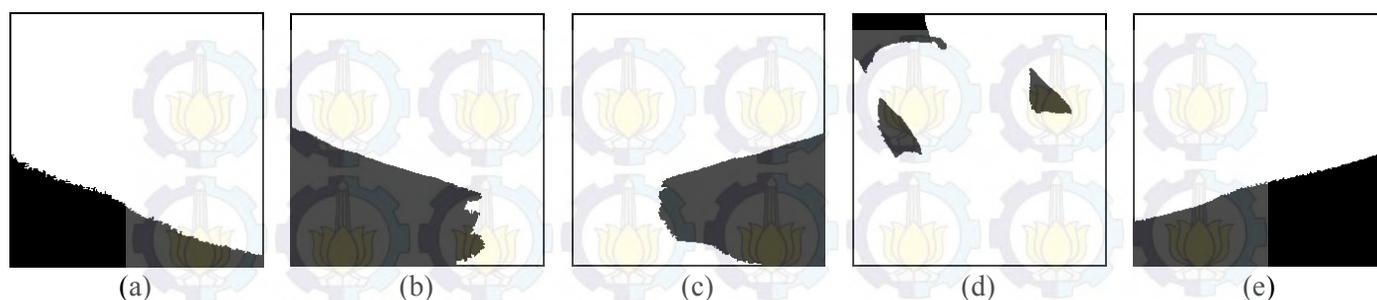
Gambar 5. Hasil *thresholding* metode yang diusulkan. (a) Citra 2, (b) Citra 8, (c) Citra 10, (d) Citra 13, (e) Citra 14



Gambar 6. Hasil *thresholding* metode Lopes. (a) Citra 2, (b) Citra 8, (c) Citra 10, (d) Citra 13, (e) Citra 14



Gambar 7. Hasil *thresholding* metode Otsu. (a) Citra 2, (b) Citra 8, (c) Citra 10, (d) Citra 13, (e) Citra 14



Gambar 8. Contoh citra *ground truth*. (a) Citra 2, (b) Citra 8, (c) Citra 10, (d) Citra 13, (e) Citra 14

V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk mengevaluasi performa dari metode yang diusulkan, 14 citra panoramik gigi [9] digunakan sebagai data uji. Citra panoramik gigi dikenal dengan banyaknya derau, pencahayaan yang tidak seragam, dan kontras yang rendah pada sebagian besar citra *radiograph* tersebut. Beberapa contoh citra data uji ditunjukkan pada Gambar 3. Sedangkan histogram dari masing-masing citra tersebut ditunjukkan pada Gambar 4. Dari Gambar 4(a) dan 4(e) diketahui bahwa terdapat beberapa citra dengan kontras yang rendah pada data uji.

Dua metode lainnya, metode Lopes [1] dan metode Otsu [3] juga digunakan sebagai metode pembandingan. Hasil *thresholding* metode yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 5, sedangkan Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan hasil *thresholding* metode Lopes dan metode Otsu, secara berurutan. Citra *ground truth* yang ditunjukkan pada Gambar 8 dibuat secara manual berdasarkan citra uji pada Gambar 3.

Dari Gambar 5, terlihat bahwa hasil *thresholding* metode yang diusulkan sesuai dengan citra pada Gambar 8. Selain itu, beberapa detil objek yang hilang pada Gambar 6 dan Gambar 7 terlihat jelas pada Gambar 5. Berdasarkan Gambar 5-7, dapat diketahui bahwa lebih banyak kesalahan klasifikasi *pixels* pada citra yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7 daripada citra yang ditunjukkan pada Gambar 5. Perlu diketahui bahwa, hasil *thresholding* metode Lopes pada citra dengan kontras rendah yang ditunjukkan pada Gambar 6(a) dan Gambar 6(e), semua *pixels* dalam citra diklasifikasikan sebagai *background*. Hal ini terjadi karena *initial seeds* yang dihasilkan oleh metode Lopes kurang representatif, sehingga metode tidak konvergen. Sedangkan metode yang diusulkan berhasil mempertahankan performa *thresholding* pada citra dengan kontras yang rendah seperti ditunjukkan pada Gambar 5(a) dan Gambar 5(e).

Untuk membandingkan kualitas hasil *thresholding*, performa metode yang diusulkan dievaluasi dengan dua metode lainnya berdasarkan nilai *Misclassification Error* (ME) [10]. ME menghitung korelasi antara citra yang dihasilkan oleh metode *thresholding* dengan citra *ground truth*. Penentuan nilai ME didefinisikan berdasarkan persamaan berikut

$$ME = 1 - \frac{|B_o + B_T| + |F_o + F_T|}{|B_o| + |F_o|} \quad (14)$$

dimana B_o dan F_o adalah *background* dan objek dari citra *ground truth*, sedangkan B_T dan F_T adalah *background* dan objek hasil citra tersegmentasi, secara berurutan.

Tabel I menunjukkan nilai ME dari citra hasil *thresholding* dengan citra *ground truth* untuk masing-masing metode *thresholding*. Dari evaluasi tersebut, metode yang diusulkan memiliki nilai rata-rata ME yang paling kecil. Hal ini menunjukkan bahwa metode yang diusulkan memiliki rasio kesalahan penentuan kelas yang paling kecil daripada dua metode lainnya. Berdasarkan evaluasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode yang diusulkan menghasilkan citra tersegmentasi yang lebih baik daripada metode Lopes dan metode Otsu pada citra dengan pencahayaan yang tidak seragam dan kontras yang rendah, seperti yang ditemui pada citra panoramik gigi.

TABEL I
EVALUASI PERFORMA MENGGUNAKAN *MISCLASSIFICATION ERROR* (ME)

Citra Uji	Metode Otsu (%)	Metode Lopes (%)	Metode yang Diusulkan (%)
Citra 1	26,82	15,49	42,26
Citra 2	7,49	77,95	4,66
Citra 3	45,3	45,3	47,76
Citra 4	2,41	66,96	8,12
Citra 5	84,2	33,27	46,54
Citra 6	0,77	57,31	19,23
Citra 7	40,73	20,94	19,17
Citra 8	27,43	7,51	2,49
Citra 9	49,12	6,63	21,89
Citra 10	44,37	12,82	4,33
Citra 11	76,21	26,06	39,25
Citra 12	1,33	85,37	4,76
Citra 13	41,6	20,85	20,33
Citra 14	7,91	68,62	7,22
<i>m</i>	32,54	38,93	20,57

VI. KESIMPULAN

Pada penelitian ini diusulkan metode *image thresholding* baru pada citra panoramik gigi berdasarkan similaritas antar *gray level* dengan penentuan *initial seeds* menggunakan nilai *index of fuzziness*. *Initial seeds* yang efektif ditentukan berdasarkan nilai *index of fuzziness* terbesar yang dihitung pada setiap *gray level* dalam histogram. Dengan menghindari penentuan *initial seeds* berdasarkan jumlah *pixels* minimum, *threshold* yang optimal tetap dapat ditemukan pada citra dengan kontras yang rendah. Dari hasil evaluasi pada citra panoramik gigi, metode yang diusulkan menghasilkan citra tersegmentasi yang lebih baik daripada metode Otsu dan metode sebelumnya. Selain itu, hasil evaluasi juga menunjukkan bahwa metode yang diusulkan terbukti efektif digunakan pada citra panoramik gigi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N.V. Lopes, dkk, "Automatic Histogram Threshold Using Fuzzy Measures," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 19, no. 1, hal. 199-204. 2010.
- [2] K. Umam, F.W. Putro, G.Q.O. Pratamasunu, "Segmentasi Pada Citra Panoramik Gigi dengan Metode Two-Stage SOM dan T-Cluster", *ULTIMA Computing*, vol. 4, no. 1, hal. 7-13, Juni 2014.
- [3] N. Otsu, "A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms". *IEEE Transactions of Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 9, hal. 62-66. 1979.
- [4] O.J. Tobias, dan R. Seara, "Image Segmentation by Histogram Thresholding Using Fuzzy Sets", *IEEE Transactions on Image Processing*, Vol. 11, No. 12, hal. 1457-1465, 2002.
- [5] S.K. Pal, R.A. King, A.A. Hashim, "Automatic Gray Level Thresholding through Index of Fuzziness and Entropy", *Pattern Recognition Letters*, vol. 1, hal. 141-146. 1983.
- [6] A. Kaufmann, "Introduction to the Theory of Fuzzy Subsets—Fundamental Theoretical Elements. New York: Academic Press, 1975, vol. 1.
- [7] H.R. Tizhoosh, "Image thresholding using type II fuzzy sets", *Pattern Recognition*, vol. 38, hal. 2363-2372, 2005.
- [8] A.Z. Arifin, dan A. Asano, "Image Thresholding by Measuring the Fuzzy Sets Similarity", dalam *Proc. Information and Communication Technology Seminar*, 2005, hal. 189-194.
- [9] A.Z. Arifin, A.F. Heddyanna, and H. Studiawan, "Ultrafuzziness Optimization Based on Type II Fuzzy Sets for Image Thresholding", *ITB Journal of information and communication technology*, vol. 4, no. 2, hal. 79-94, 2010.
- [10] M. Sezgin dan B. Sankur, "Survey over Image Thresholding Techniques and Quantitative Performance Evaluation", *Journal of Electronic Imaging*, vol. 13, no. 1, hal. 146-165, 2004.



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

IMAGE THRESHOLDING BERDASARKAN INDEX OF FUZZINESS DAN FUZZY SIMILARITY MEASURE

GULPI QORIK OKTAGALU PRATAMASUNU

5113201021

Dosen Pembimbing

Dr. Agus Zainal Arifin, S.Kom, M.Kom

Anny Yuniarti, S.Kom, M.Comp.Sc

Latar Belakang

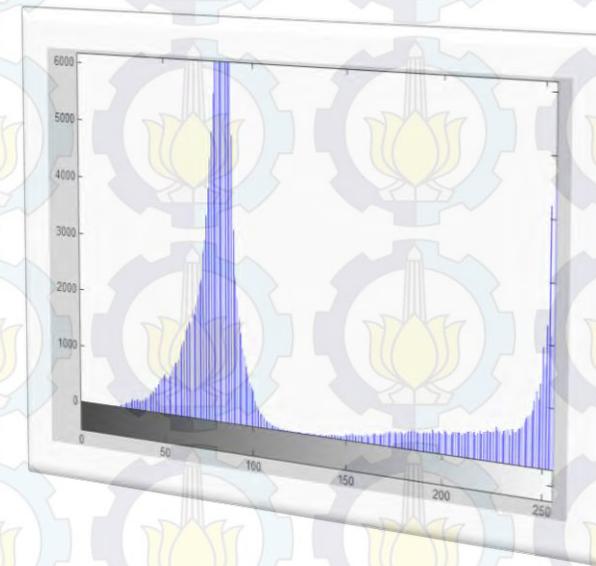
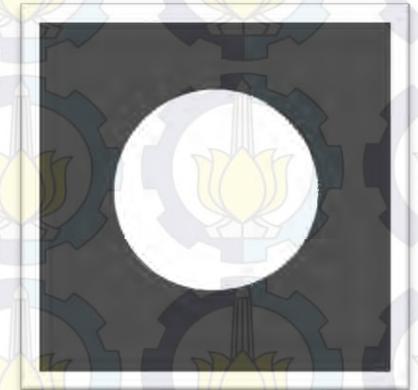
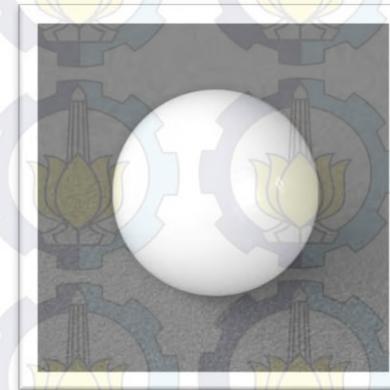
- ❖ Segmentasi citra itu penting
Aplikasi pemrosesan citra.
- ❖ Metode segmentasi citra
 - ✓ Sederhana
 - ✓ mudah diimplementasikan



thresholding

Latar Belakang

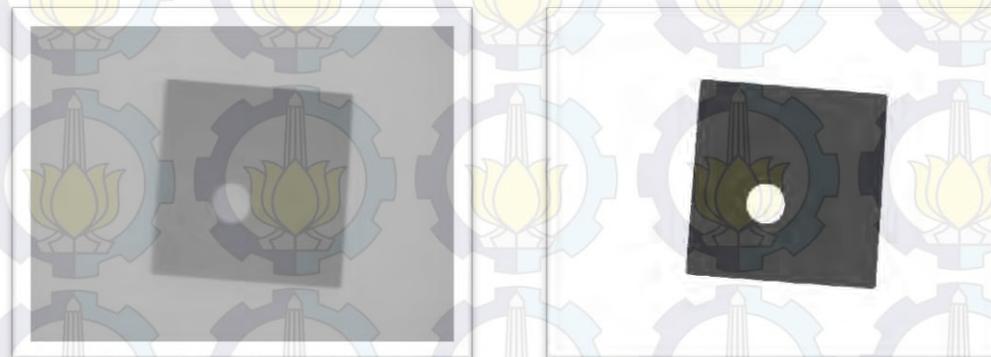
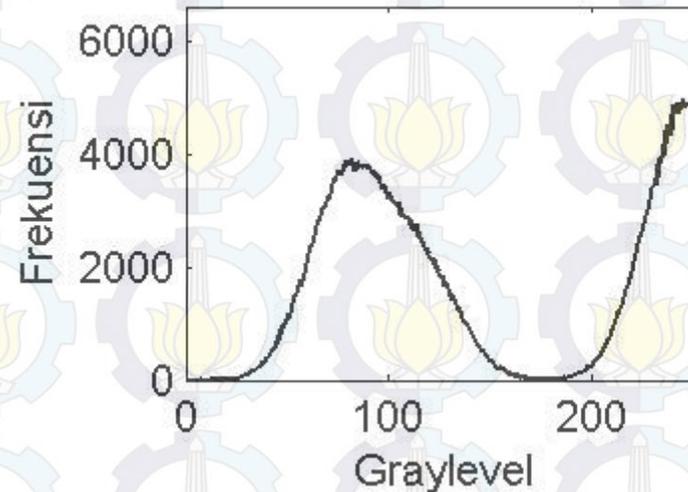
- ❖ *Threshold* dipilih untuk mengklasifikasi *pixels* berdasarkan nilainya dari histogram
- ❖ *Threshold* yang paling optimal memisahkan objek dan *background* dengan tepat.
- ❖ Akurasi segmentasi proses penentuan *threshold* -> histogram citra.



Latar Belakang

Histogram citra ideal

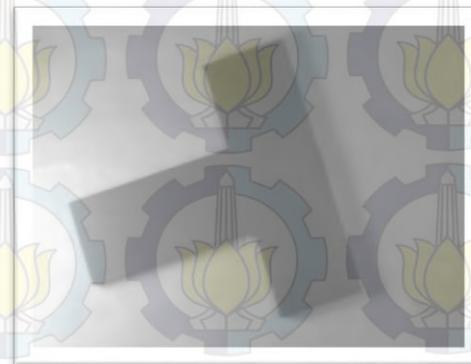
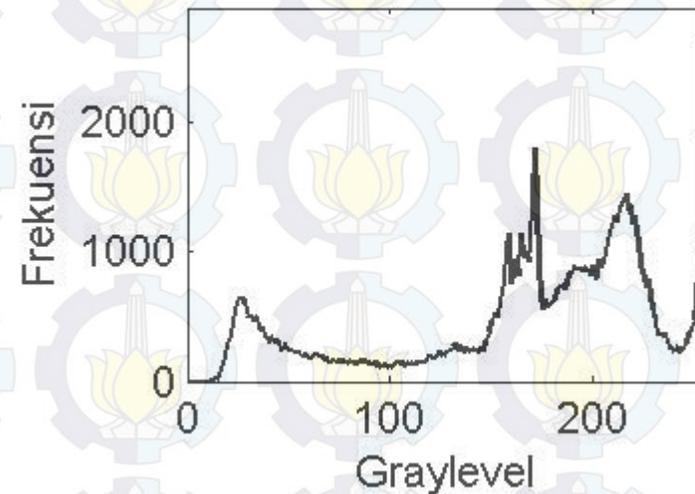
- ✓ lembah yang memisahkan dua puncak
- ✓ memudahkan proses *thresholding*



Latar Belakang

Histogram yang tidak ideal

- ✓ lembah tidak jelas, multi modal
- ✓ Karena multi-object, derau, pencahayaan tidak seragam, ambiguitas *gray level*
- ✓ thresholding sulit



Latar Belakang

Huang & Wang

1995

Global measure, hasil tidak selalu optimal

Tobias & Seara

2002

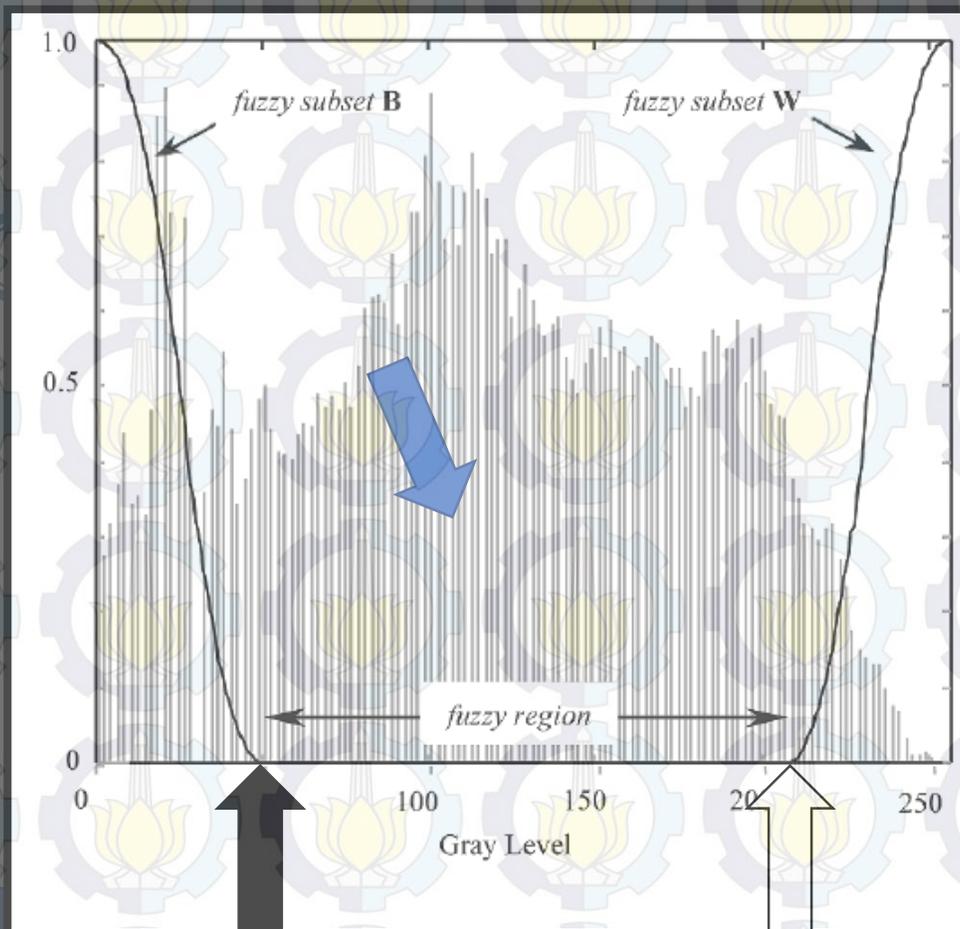
Menggunakan similaritas antar gray level berdasarkan *fuzzy measure*

Meminimalkan *measure of fuzziness* dengan fungsi kriteria

Latar Belakang

Huang & Wang

1995



Global measure, hasil tidak selalu optimal

Meminimalkan *measure of fuzziness* dengan fungsi kriteria

Latar Belakang

Huang & Wang

1995

Global measure, hasil tidak selalu optimal

Meminimalkan *measure of fuzziness* dengan fungsi kriteria

Tobias & Seara

2002

Menggunakan similaritas antar gray level berdasarkan *fuzzy measure*

Lopes, dkk

2010

Fungsi minimal piksel untuk menentukan *seed subsets*

Penentuan manual, menambah subjektivitas hasil

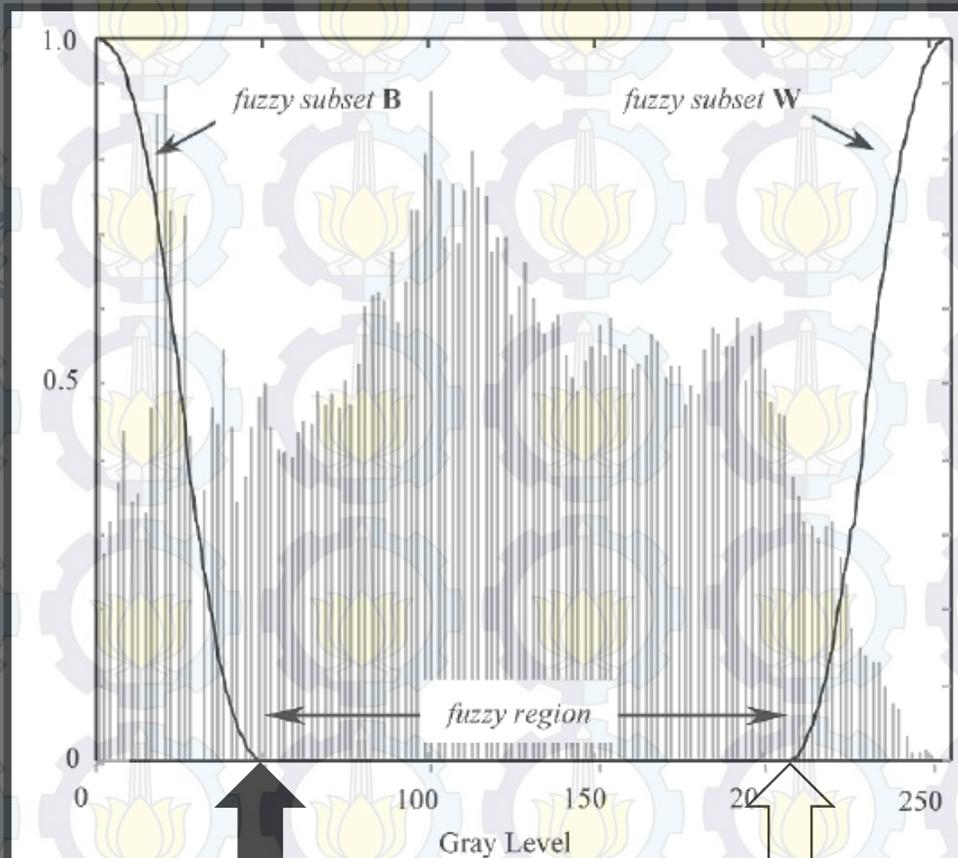
Latar Belakang

Huang & Wang

1995

Global measure, hasil tidak selalu optimal

Meminimalkan *measure of fuzziness* dengan fungsi kriteria



minimal piksel untuk
fuzzy region

$$MinPix_{B_{seed}(O_{seed})} = P1 \sum_{i=0(128)}^{127(255)} h(x_i)$$

Latar Belakang

Huang & Wang

1995

Global measure, hasil tidak selalu optimal

Meminimalkan *measure of fuzziness* dengan fungsi kriteria

Tobias & Seara

2002

Menggunakan similaritas antar gray level berdasarkan *fuzzy measure*

Penentuan manual, menambah subjektivitas hasil

Lopes, dkk

2010

Fungsi minimal piksel untuk menentukan *fuzzy region*

30 citra belum mewakili seluruh jenis citra

Latar Belakang

Oleh karena itu,

Dibutuhkan metode ***image thresholding*** berdasarkan pengukuran similaritas antar *gray level* berbasis ***fuzzy*** dengan penentuan ***fuzzy region otomatis*** untuk menghindari terjadinya lokal minimum.

Tujuan Penelitian

Mengusulkan metode *image thresholding* berdasarkan *index of fuzziness* untuk menentukan *fuzzy region* dengan *fuzzy similarity measure* sebagai penentu nilai *threshold* yang dihitung dari *fuzzy region*.

Rumusan Masalah

Bagaimana cara menentukan **fuzzy region** dari suatu citra berdasarkan **index of fuzziness**?

Bagaimana cara menentukan **threshold yang optimal** pada **fuzzy region** berdasarkan **fuzzy similarity measure**?

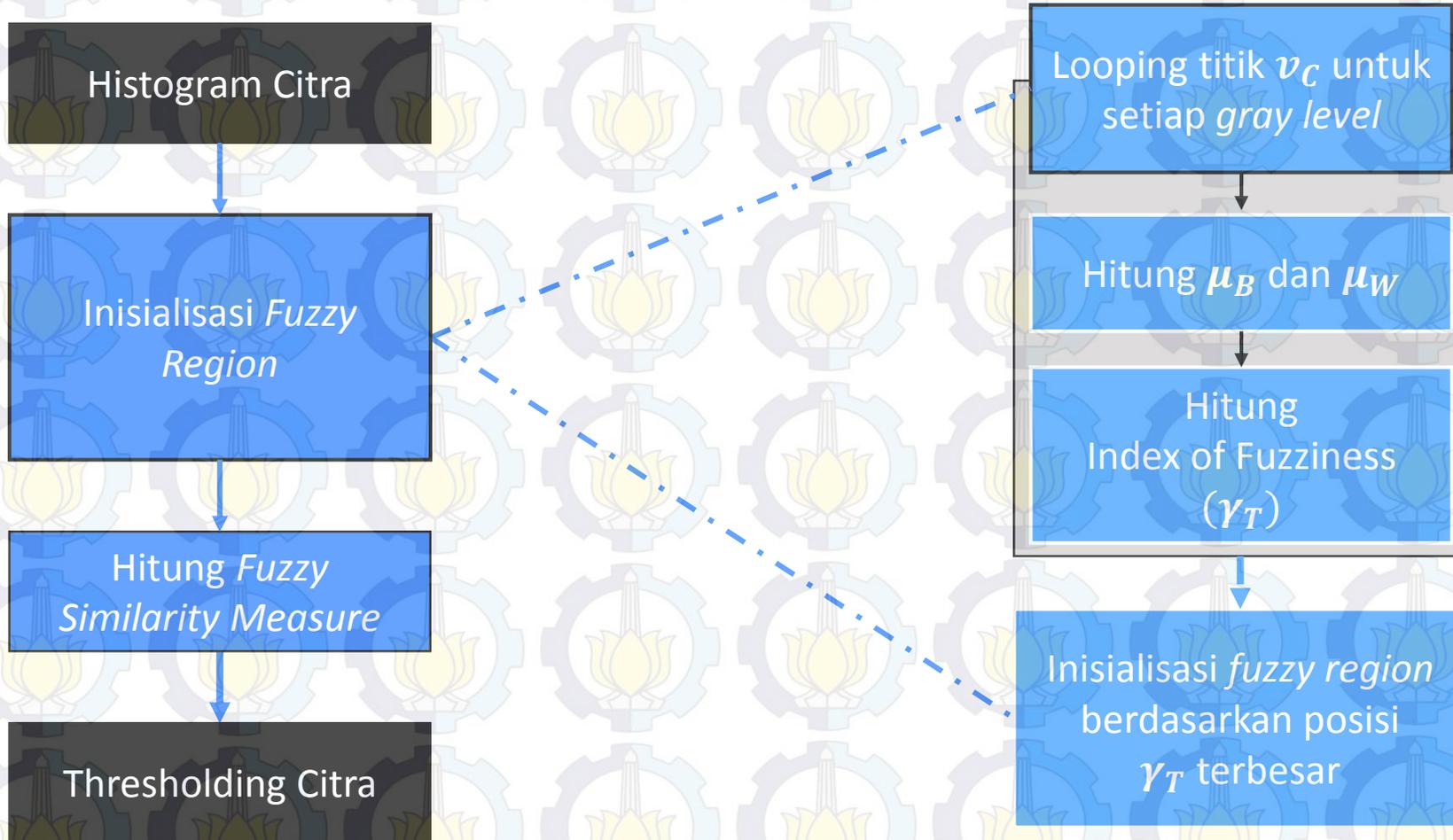
Batasan Masalah

Citra yang akan diuji adalah **citra abu-abu** yang terdiri dari berbagai objek *real scene*.

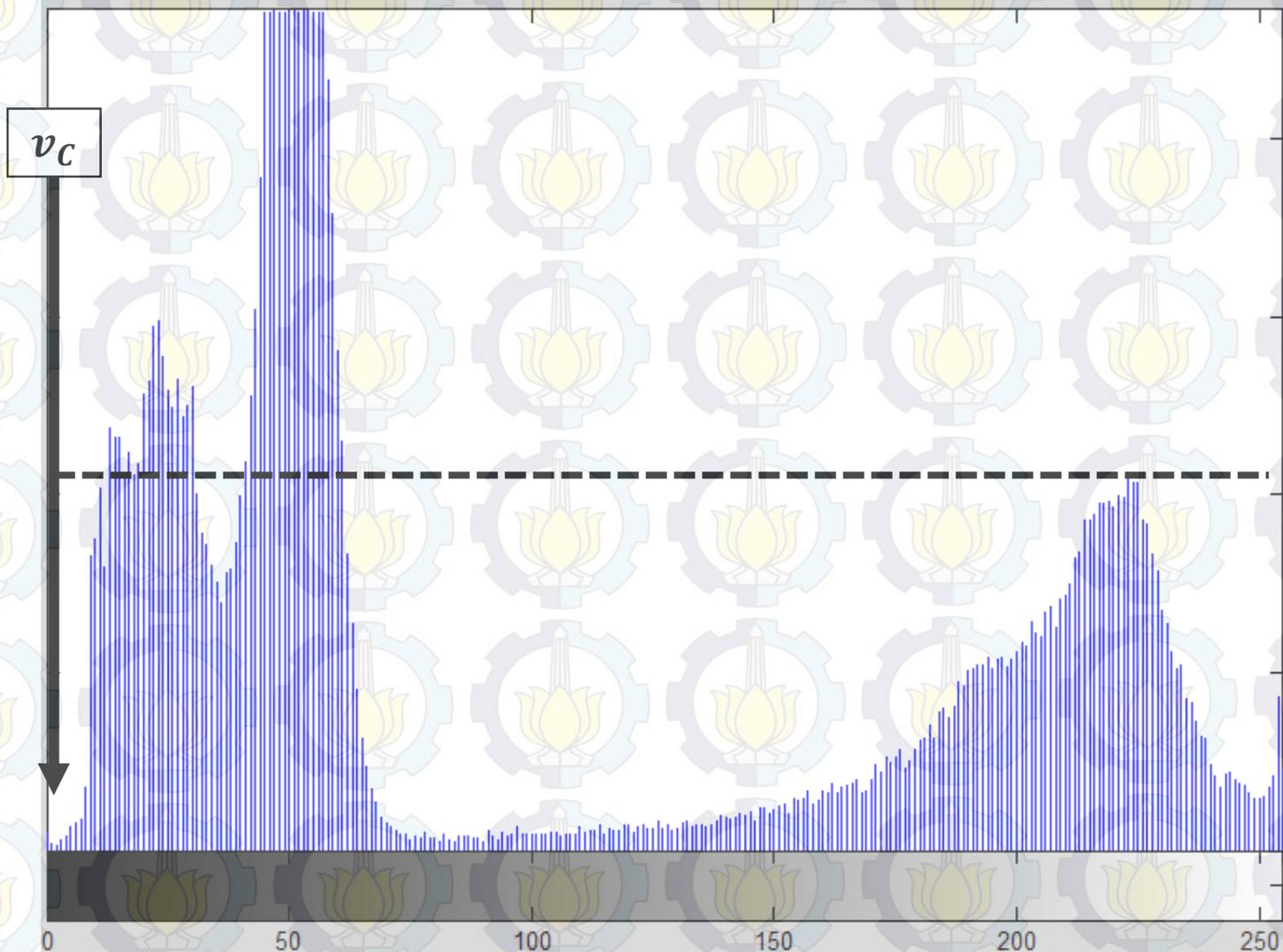
Kontribusi Penelitian

Metode *image thresholding* dengan penentuan *fuzzy region* yang efektif dan otomatis berdasarkan *index of fuzziness* dengan penentuan *threshold* berdasarkan *fuzzy similarity measure*.

Metode yang diusulkan

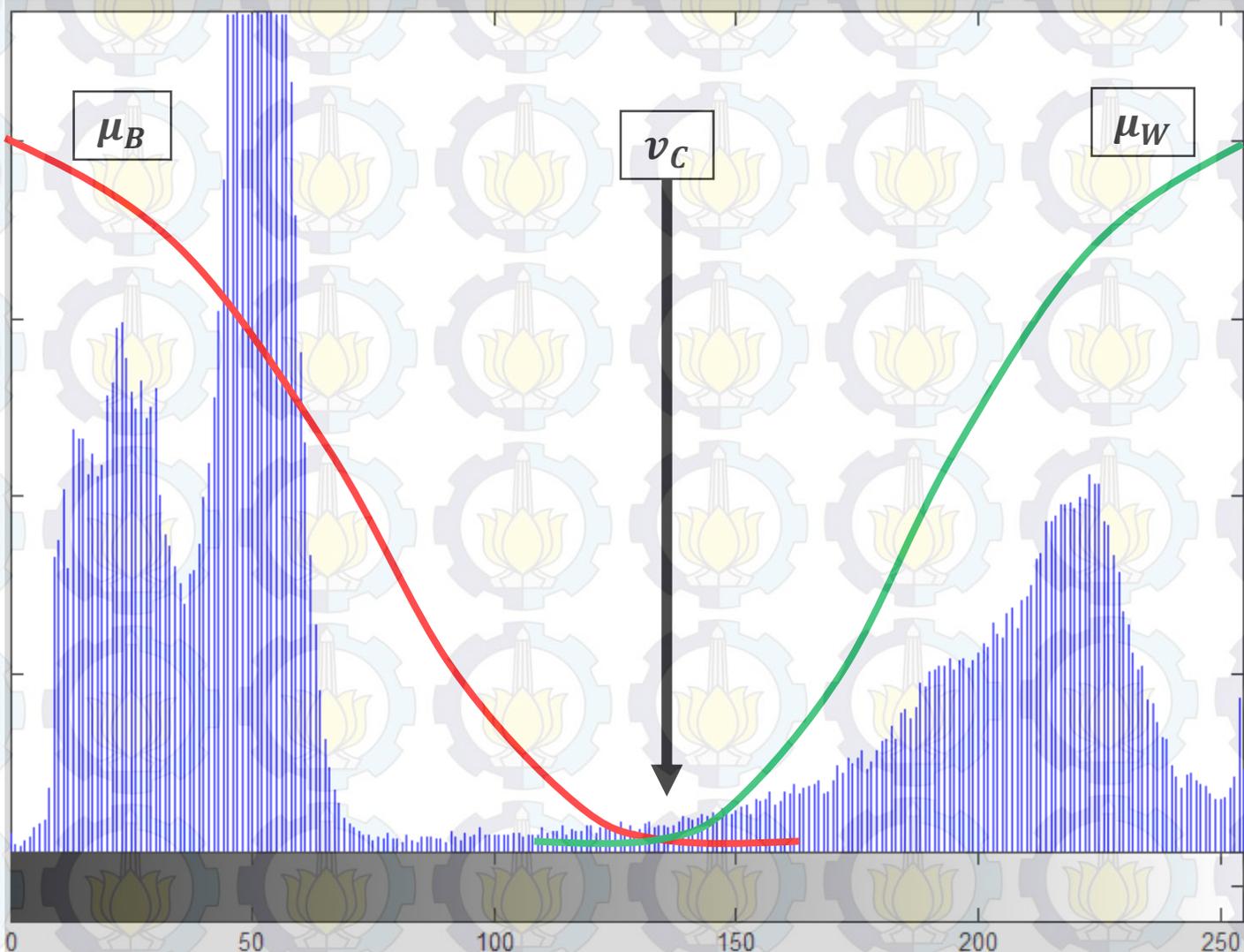


Pencarian Fuzzy Region (Looping)



- Looping nilai v_C
- dari $(g_{Min} + 1)$ hingga $(L - 1)$
- g_{Min} = gray level minimal
- L = gray level maximal

Untuk setiap v_C (Looping)



- Update fungsi keanggotaan μ_B dan μ_W , dimana g adalah gray level

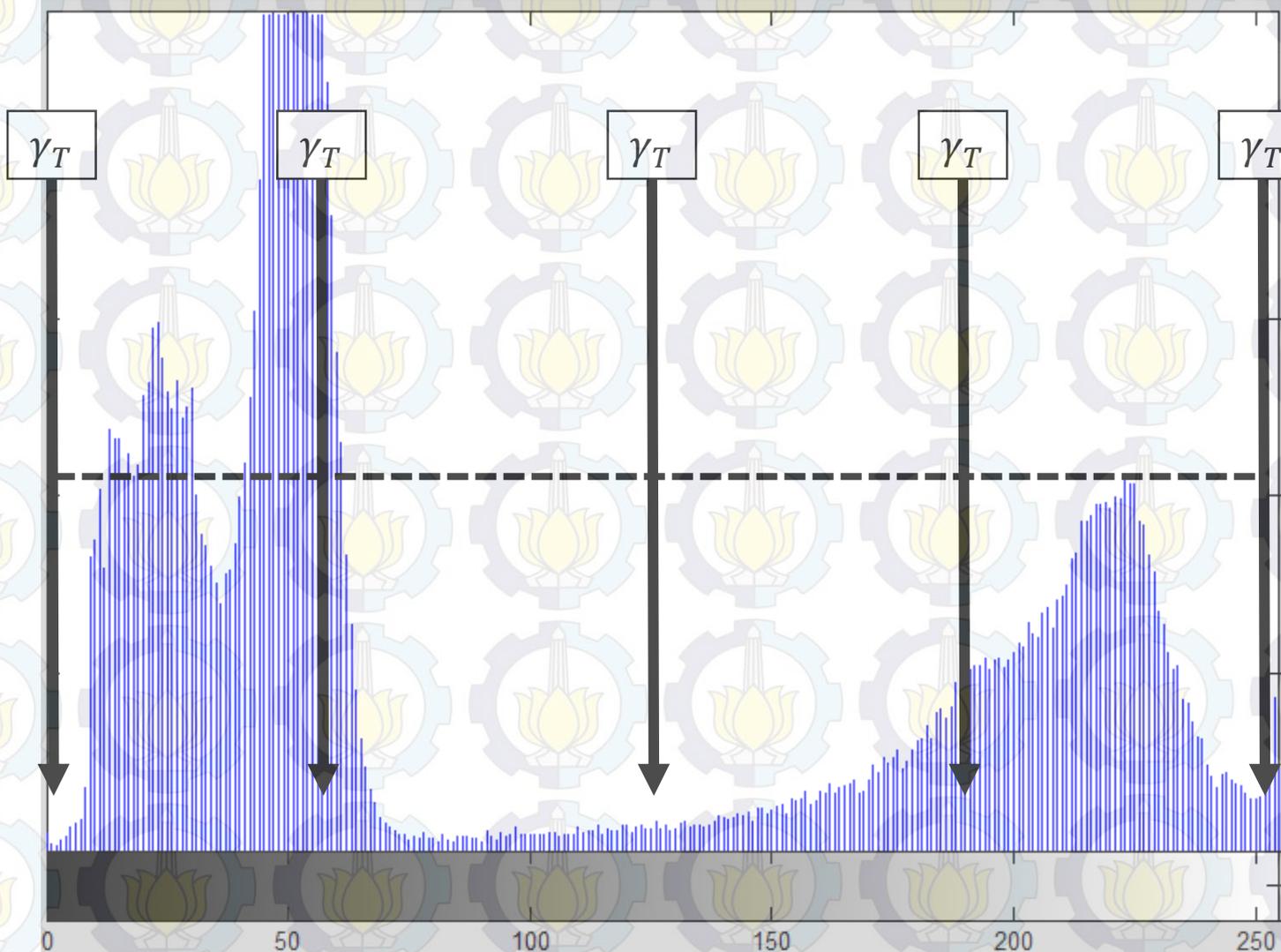
$$\mu_B(g) = Z(g; 0, v_C/2, v_C)$$

$$\mu_W(g) = S(g; v_C, (v_C+L)/2, L)$$

$$S(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \left\{ \frac{x-a}{c-a} \right\}^2, & a \leq x \leq b \\ 1 - 2 \left\{ \frac{x-c}{c-a} \right\}^2, & b \leq x \leq c \\ 1, & x \geq c \end{cases}$$

$$Z(x; a, b, c) = 1 - S(x; a, b, c).$$

Untuk setiap V_C (Looping)



- Hitung Index of Fuzziness

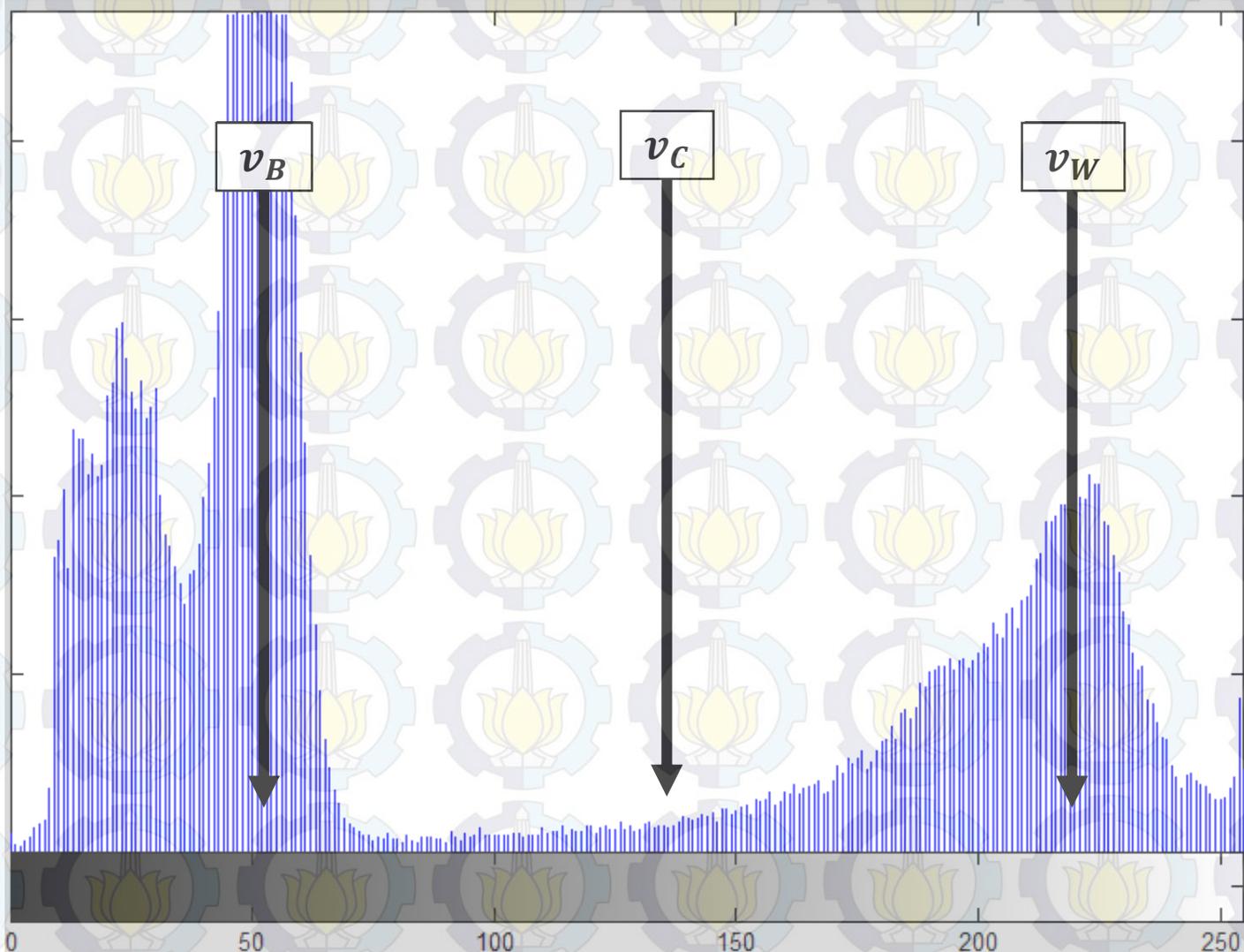
$$\gamma_T = \gamma_B \cdot \gamma_W$$

$$\gamma_B = \frac{2}{N} \sum_{g=0}^L h(g) \times \mu_B(g)$$

$$\gamma_W = \frac{2}{N} \sum_{g=0}^L h(g) \times \mu_W(g)$$

- Dimana
 - N=jumlah pixels dalam citra
 - h(g)=intensitas hist pada g gray level
 - L= gray level maksimal

Pembagian Fuzzy Region

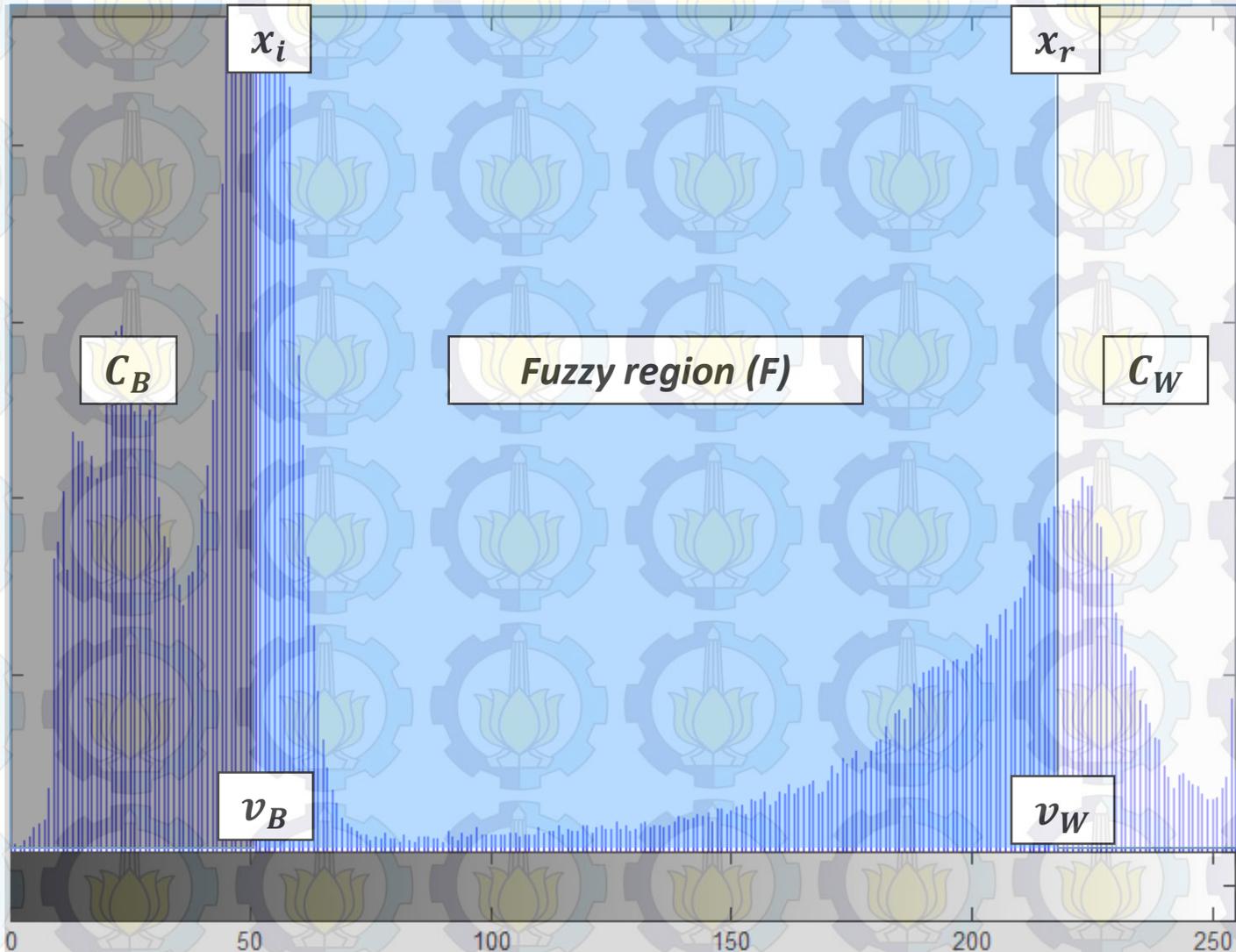


- $v_C = \arg \max(\gamma_T)$
- Hitung nilai v_B dan v_W

$$v_B = \frac{\sum_{g=0}^{v_C} g \cdot h(g)}{\sum_{g=0}^{v_C} h(g)}$$

$$v_W = \frac{\sum_{g=v_C+1}^{L-1} g \cdot h(g)}{\sum_{g=v_C+1}^{L-1} h(g)}$$

Inisialisasi Fuzzy Region



- Inisialisasi awal fuzzy subset C_B dan C_W , x_i , dan x_r berdasarkan v_b dan v_w

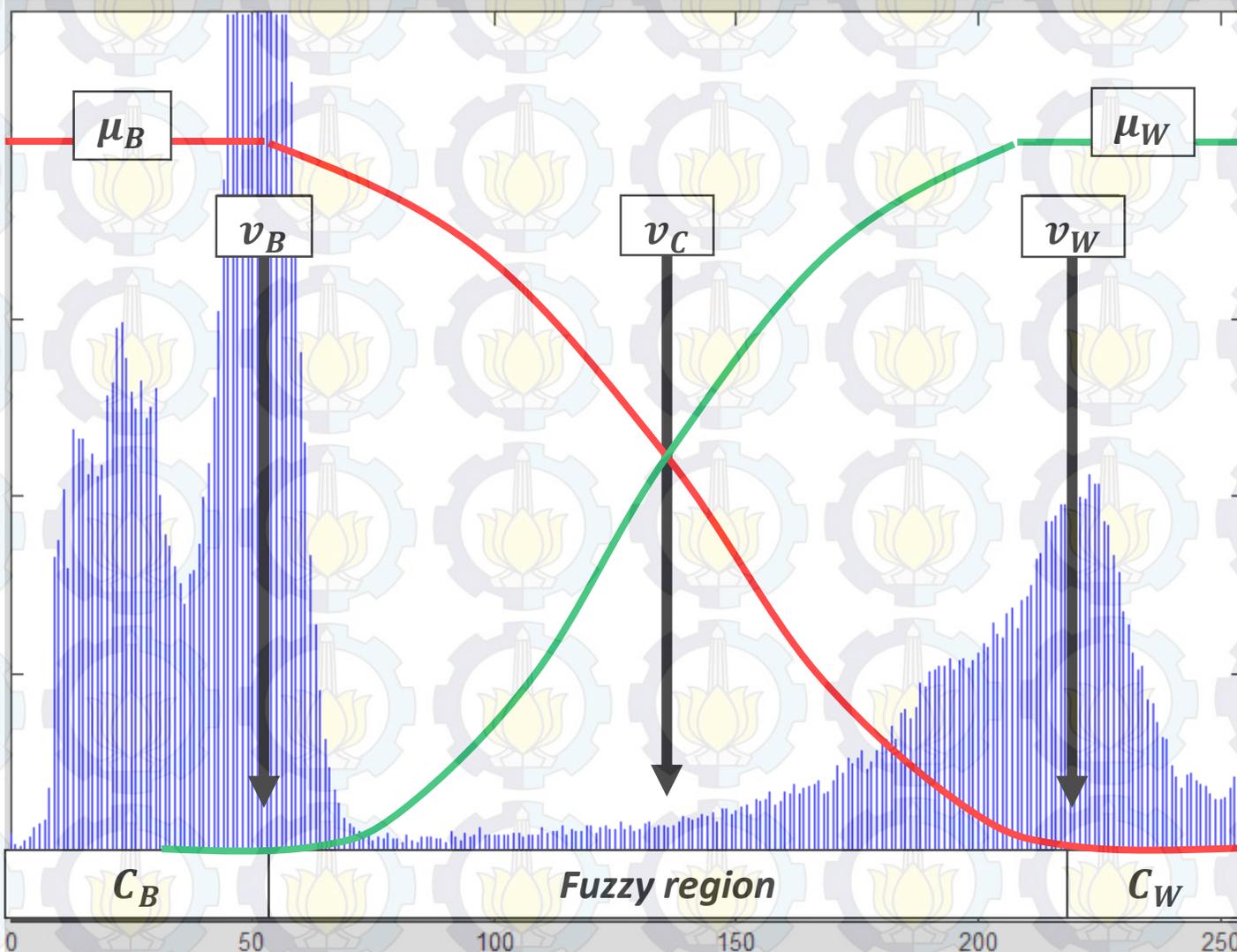
$$\begin{aligned}x_i &= v_B + 1 \\x_r &= v_W - 1\end{aligned}$$

$$F = \{x_i, x_{i+1}, \dots, x_r\}$$

$$\begin{aligned}b_i: X &= \{b_0, b_1, \dots, b_{v_b}\} \\C_B &= \{(b_i, \mu_{C_B}(b_i))\}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}w_i: X &= \{w_{v_w}, w_{v_w+1}, \dots, w_L\} \\C_W &= \{(w_i, \mu_{C_W}(w_i))\}_1\end{aligned}$$

Fuzzy Similarity Measure

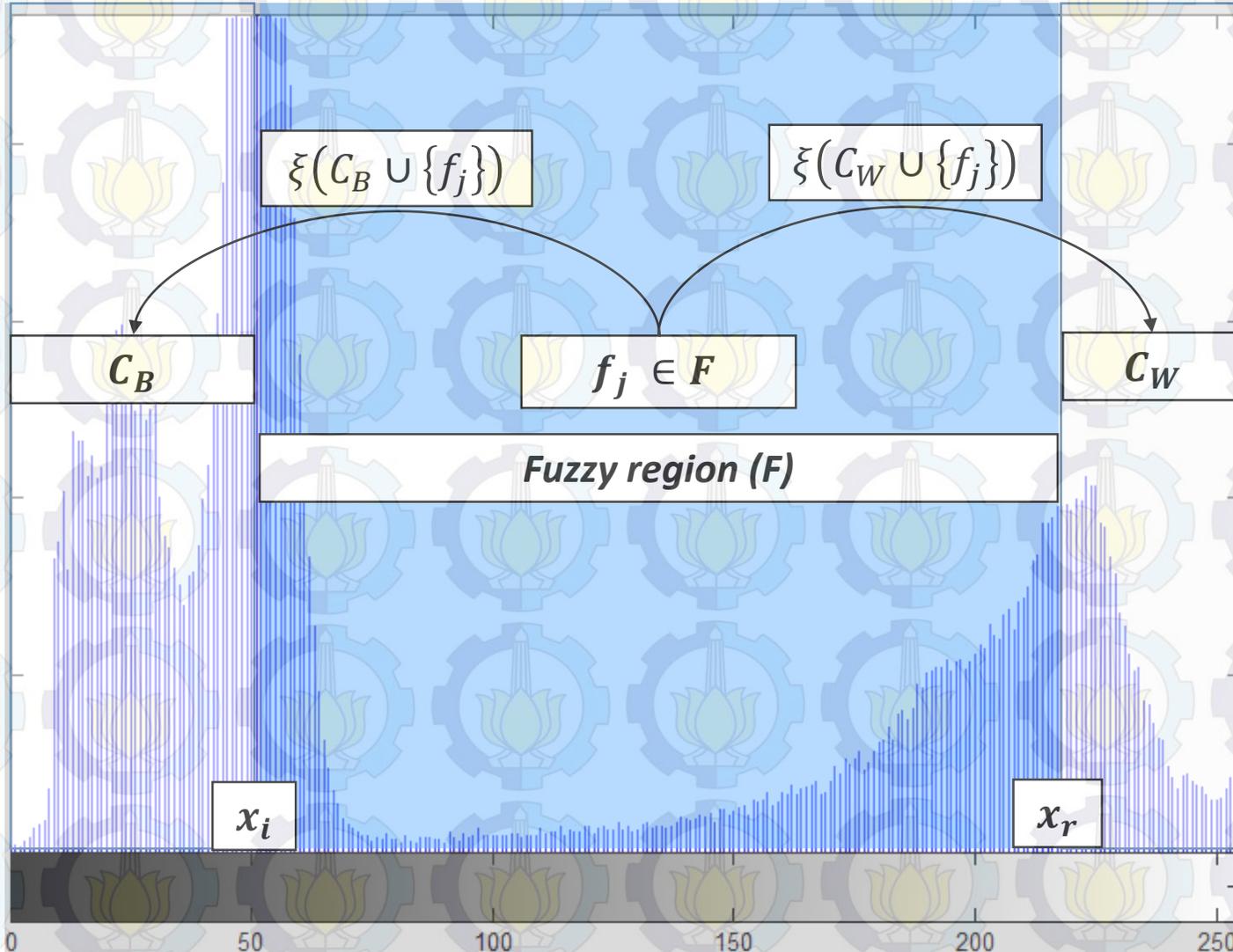


- Inisialisasi fungsi keanggotaan tiap fuzzy set untuk perhitungan Fuzzy Similarity Measure, dimana g adalah gray level

- $\mu_B(g) = Z(g; v_B, v_C, v_W)$

- $\mu_W(g) = S(g; v_B, v_C, v_W)$

Fuzzy Similarity Measure



- Looping $j = (x_i : x_r)$
- Hitung Fuzzy Similarity Measure (ξ) f_j terhadap C_B

$$\xi(C_B \cup \{f_j\}), f \in F$$

- Hitung Fuzzy Similarity Measure (ξ) f_j terhadap C_W

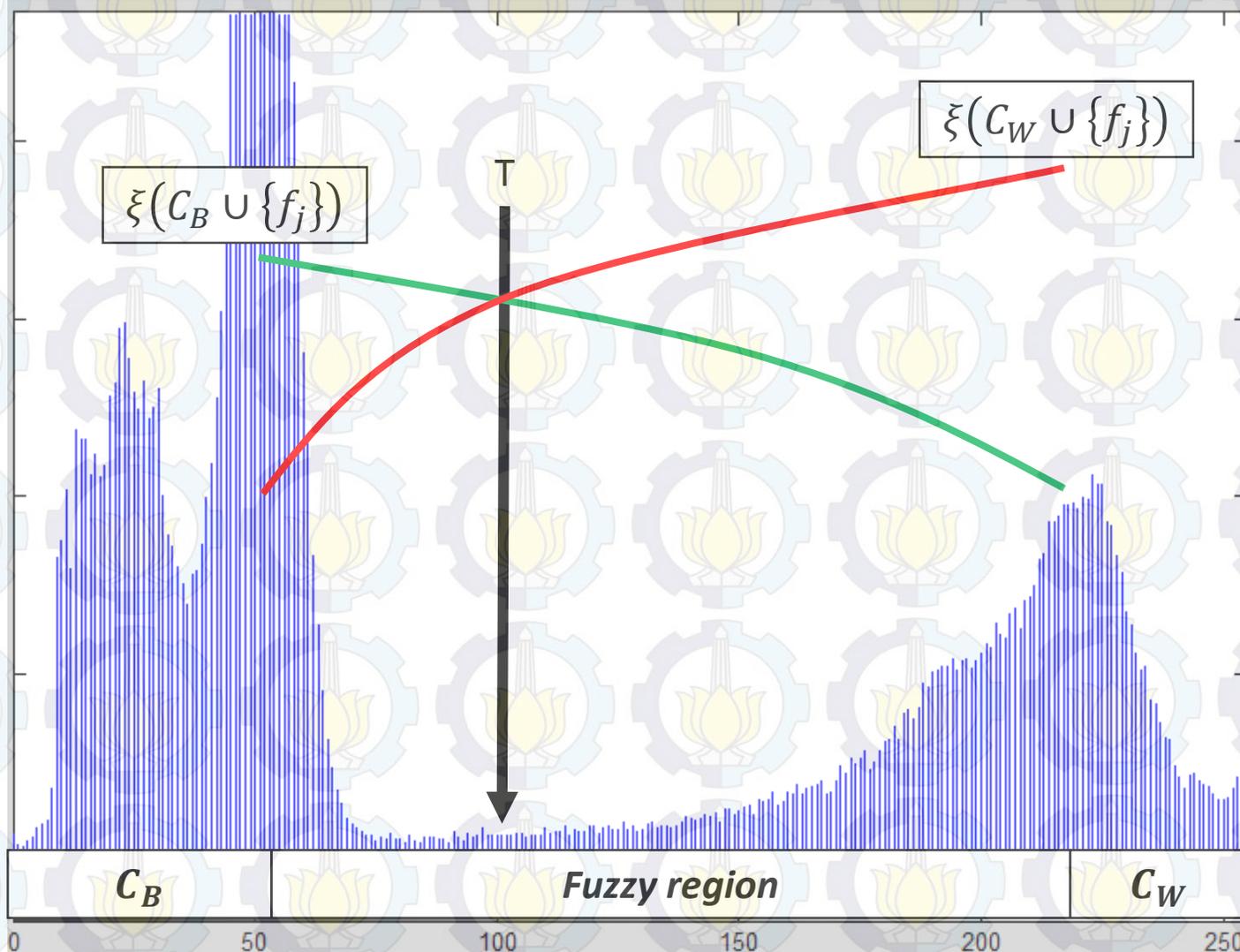
$$\xi(C_W \cup \{f_j\}), f \in F$$

Fuzzy Similarity Measure (ξ)

$$\xi(A) = \frac{\sum_{z=1}^n (z - M(A))^2}{\sum_{z=1}^n h_A(z)}$$

$$M(A) = \sum_{z=1}^n h_A(z) \times \mu_A(z) \times z \times |(\mu_A(z) - \mu_A^*(z))|$$

Thresholding



• Hitung

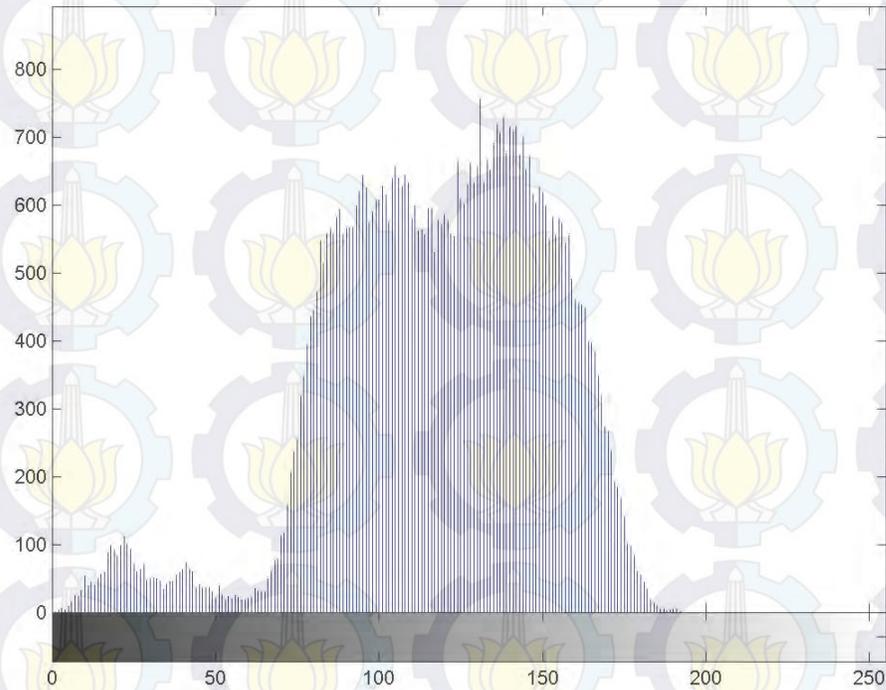
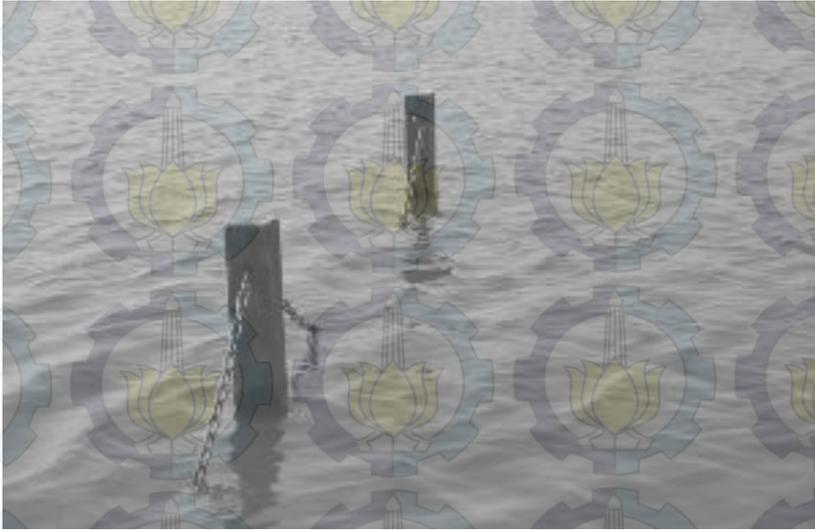
$$\xi_{total} = \xi(C_W \cup \{f_j\}) \cdot \alpha \cdot \xi(C_B \cup \{f_j\}),$$

dimana

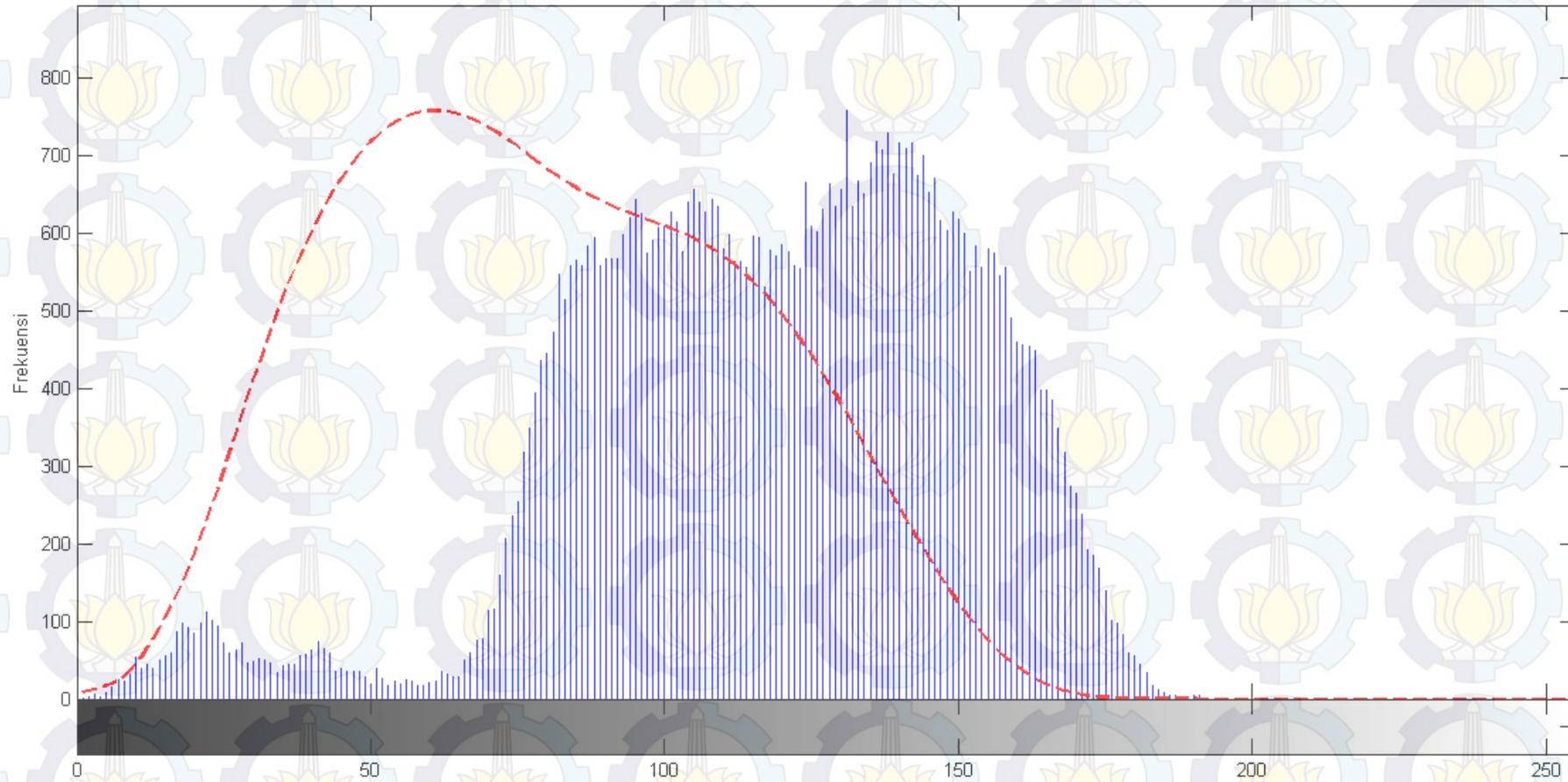
$$\alpha = \frac{\xi(C_W)}{\xi(C_B)}$$

$$T = \arg \max(\xi_{total})$$

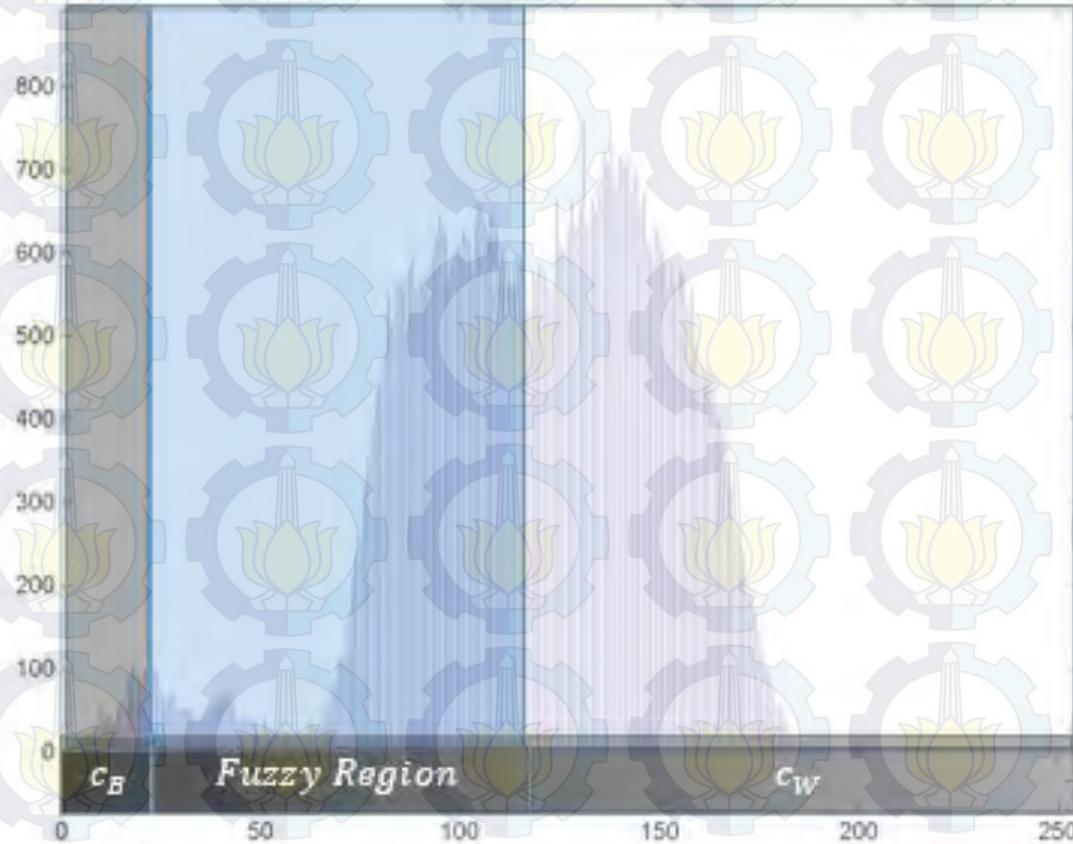
Pembentukan Histogram



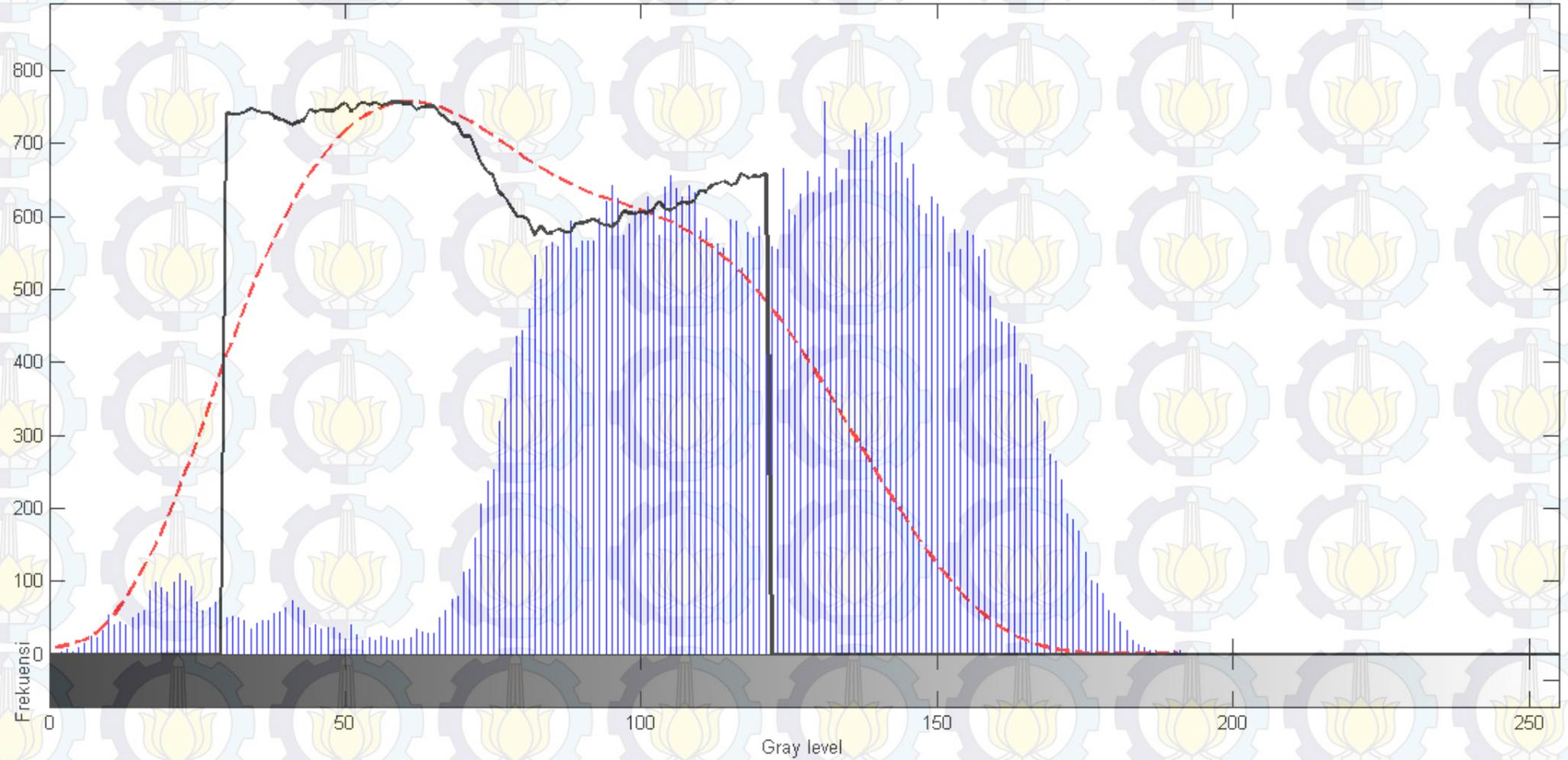
Index of fuzziness



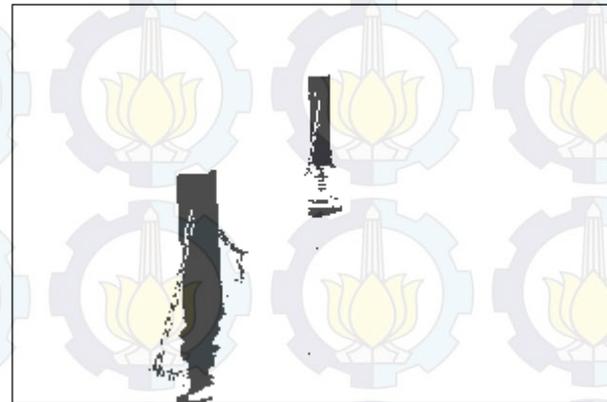
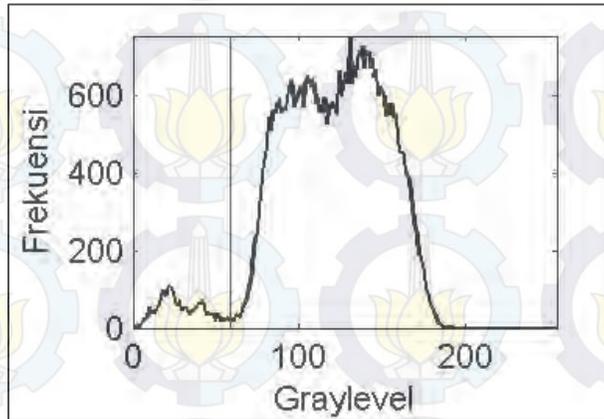
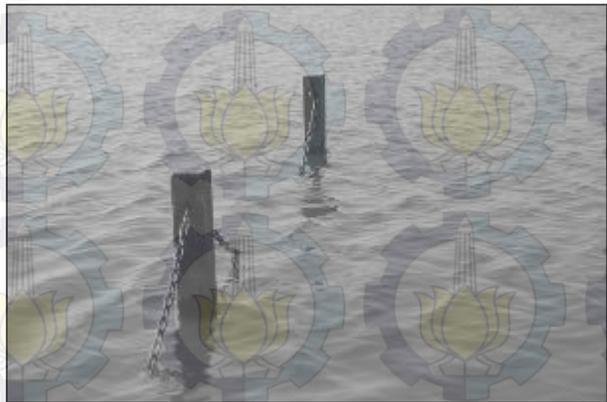
Inisialisasi Fuzzy Region



Fuzzy Similarity Measure



Thresholding

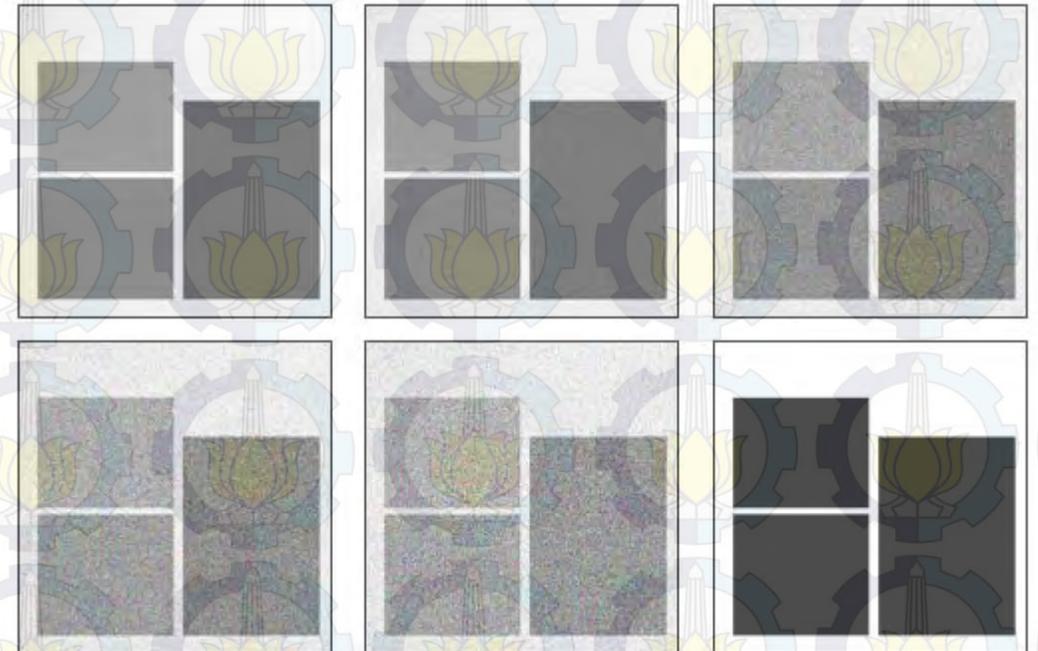


Uji Coba

- ❖ Data Uji Sintetis
- ❖ Data Uji Natural

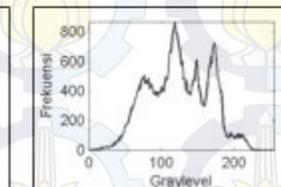
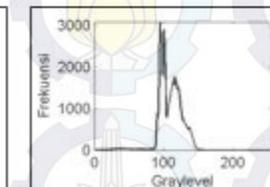
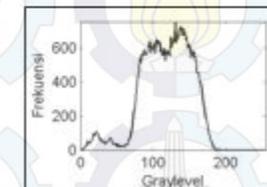
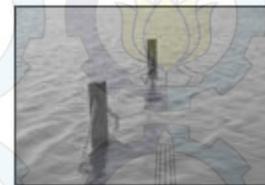
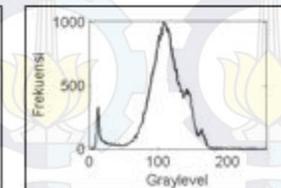
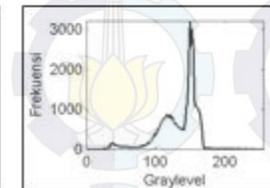
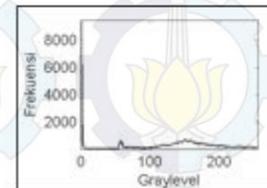
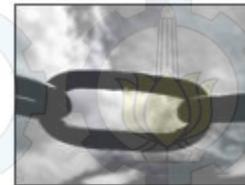
Data Uji Sintetis

- ❖ Data sintetis yang dibuat manual oleh peneliti
 - ✓ Multi objek
 - ✓ Tingkat derau bervariasi
 - ✓ Tipe derau gaussian



Data Uji Natural

- ❖ 75 citra dari dataset Wieszmann dan Tizhoosh
 - ✓ Untuk memudahkan komparasi
 - ✓ Ground truth dengan Gold Standard



Evaluasi

❖ Misclassification Error (ME)

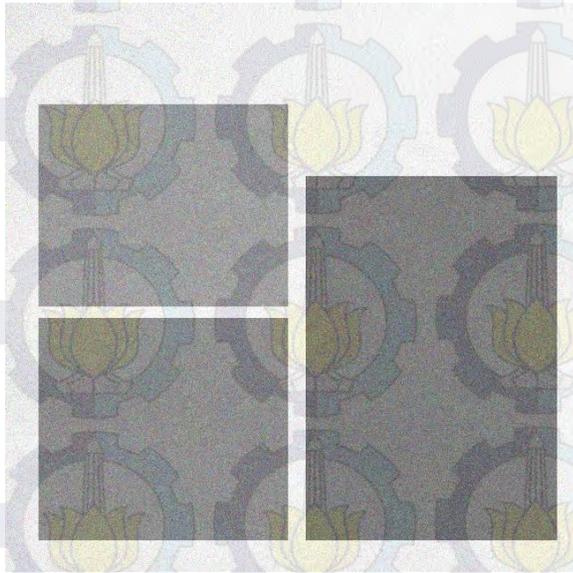
Membandingkan performa thresholding metode yang diusulkan pada objek dunia nyata (Data uji standar, Tizhoosh)

$$ME = 1 - \frac{|B_O \cap B_T| + |F_O \cap F_T|}{|B_O| + |F_O|}$$

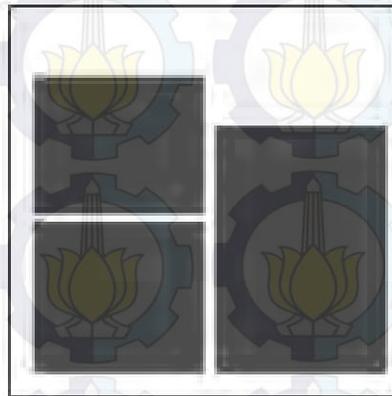
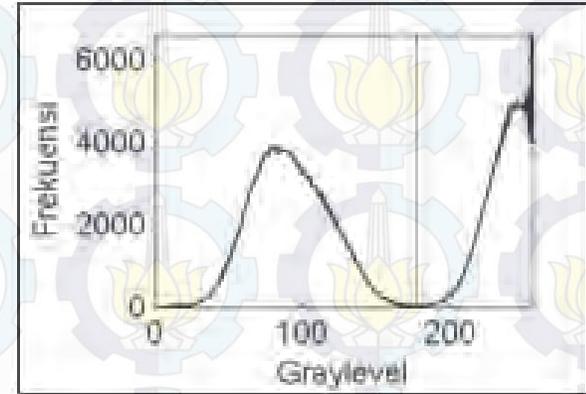
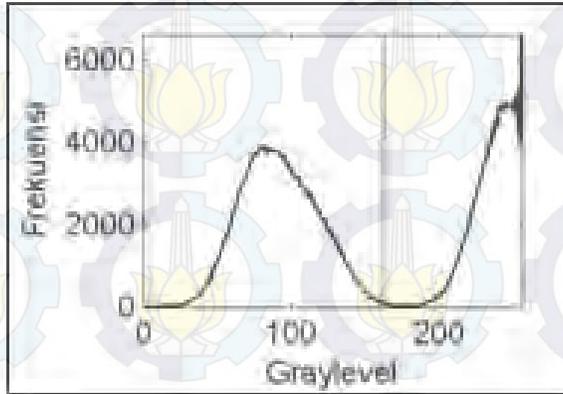
B_O dan F_O adalah *background* dan objek dari citra *ground truth*, B_T dan F_T adalah *background* dan objek dari citra tersegmentasi

Hasil Uji Citra Sintetis

Citra	Metode Otsu	Metode yang diusulkan
$g(0,0)$	0,00	0,00
$g(0.01,0.01)$	0,11	0,01
$g(0.05,0.05)$	7,24	4,41
$g(0.1,0.1)$	17,03	11,51
$g(0.15,0.15)$	23,54	15,09
Rata-rata	9,58	6,21

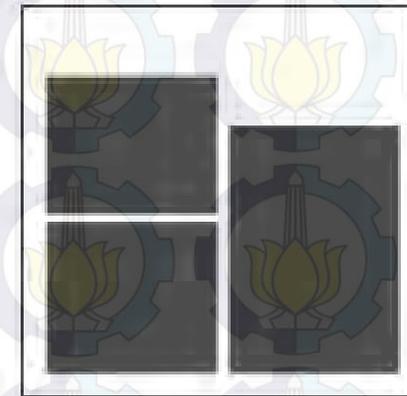


Citra asal
 $g(0.01, 0.01)$



(a)

Metode Otsu



(b)

Metode yang diusulkan

Hasil Uji Citra Natural

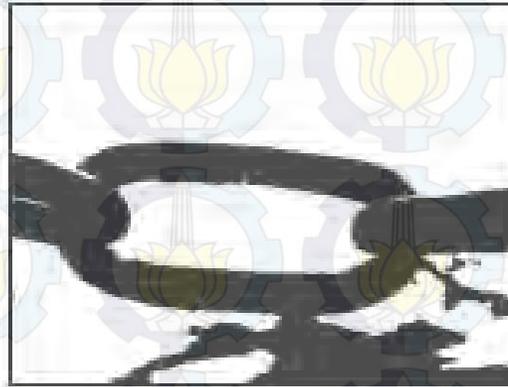
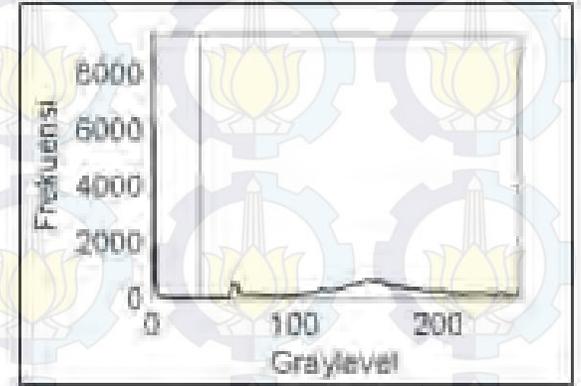
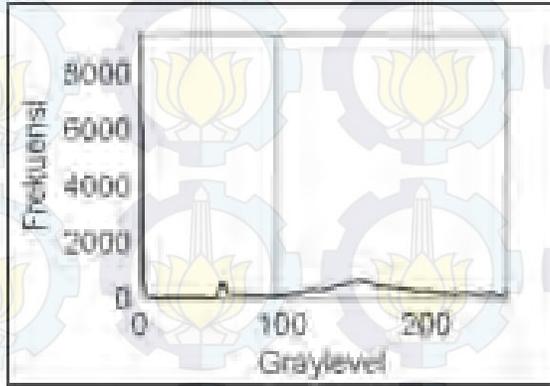
Citra Sample	Metode Thresholding	
	Metode Otsu (%)	Metode yang diusulkan (%)
Sample 1	10,07	2,43
Sample 2	32,00	1,00
Sample 3	26,38	1,56
Sample 4	40,95	2,11
Sample 5	46,22	1,84
Sample 6	39,54	30,63



Citra asal

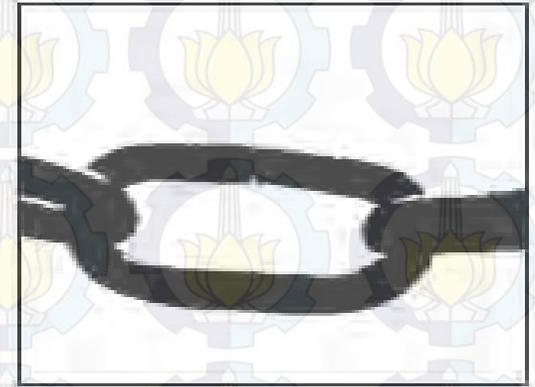


Ground truth



(a)

Metode Otsu

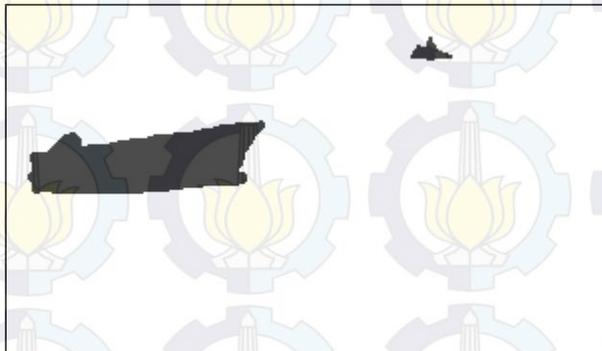
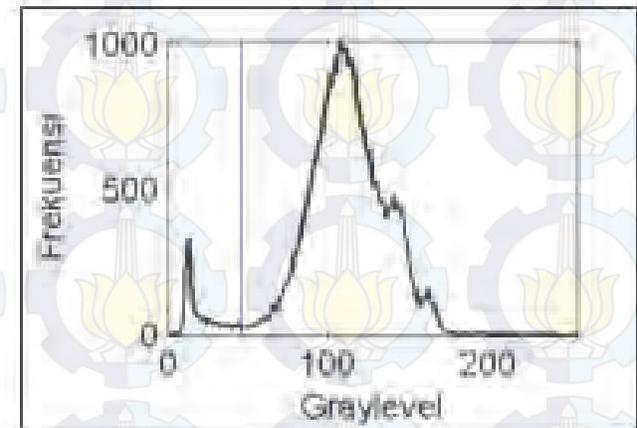
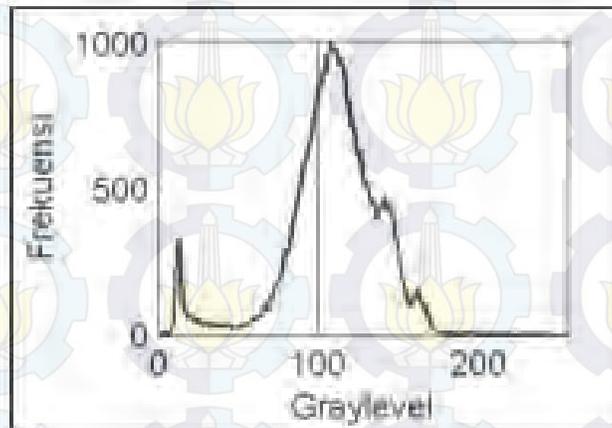


(b)

Metode yang diusulkan



Citra asal



Ground truth



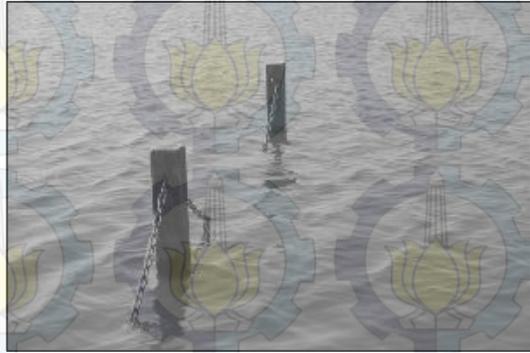
(a)

Metode Otsu

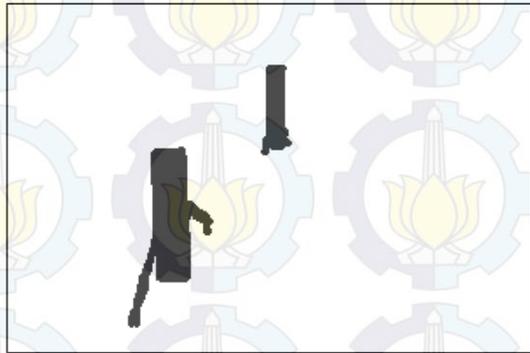


(b)

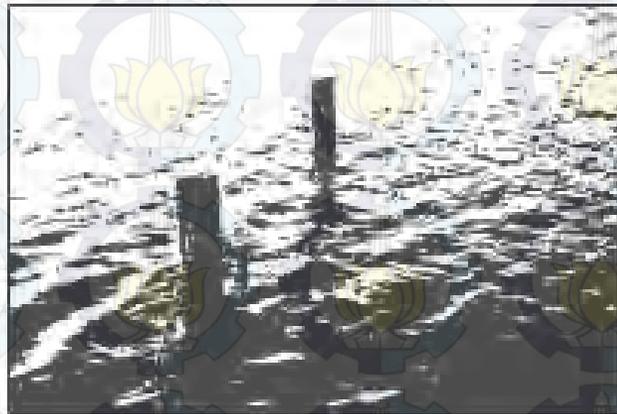
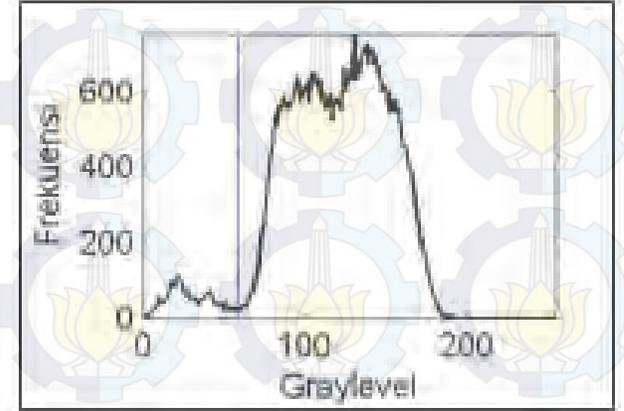
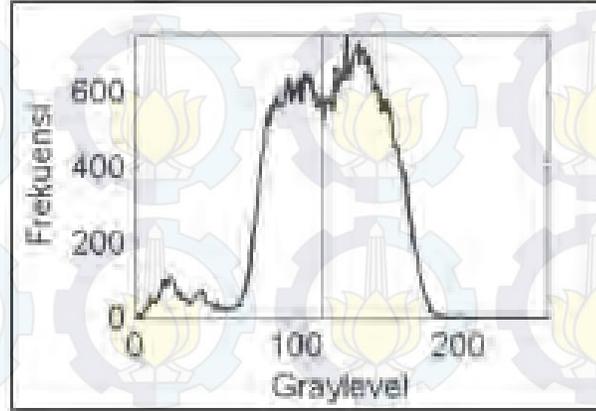
Metode yang diusulkan



Citra asal



Ground truth



(a)

Metode Otsu



(b)

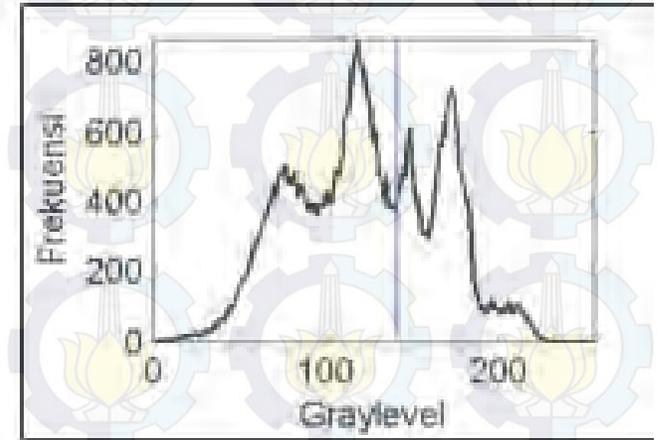
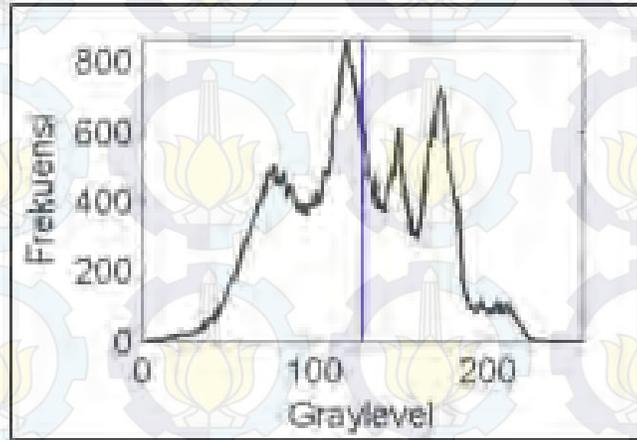
Metode yang diusulkan



Citra asal



Ground truth



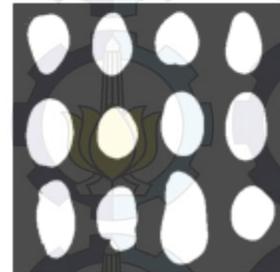
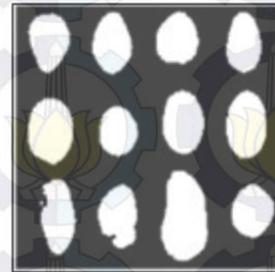
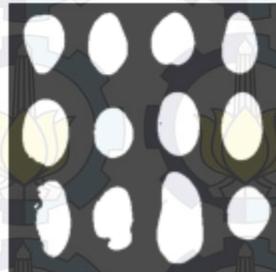
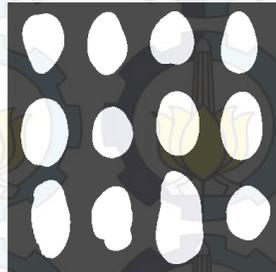
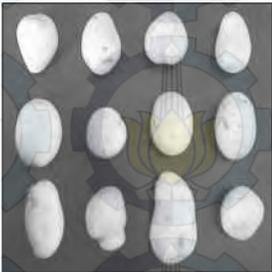
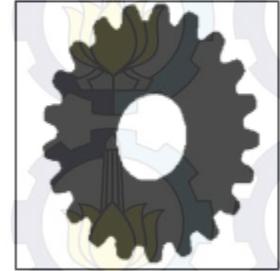
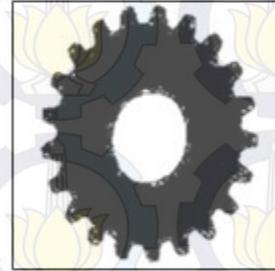
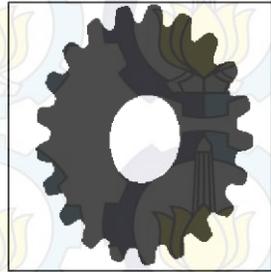
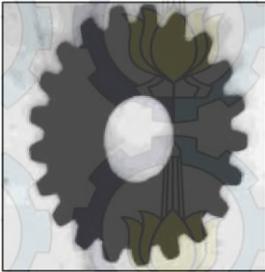
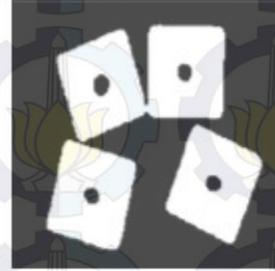
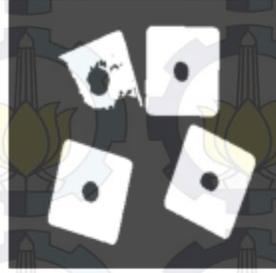
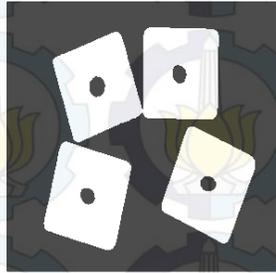
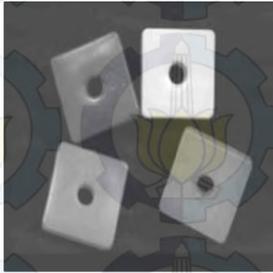
(a)

Metode Otsu



(b)

Metode yang diusulkan



Citra asli

Ground truth

Metode Otsu

Metode Lopes

Metode yang diusulkan

Hasil Uji dataset Tizhoosh

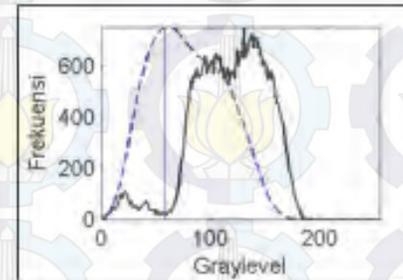
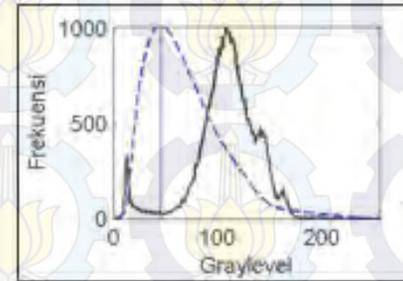
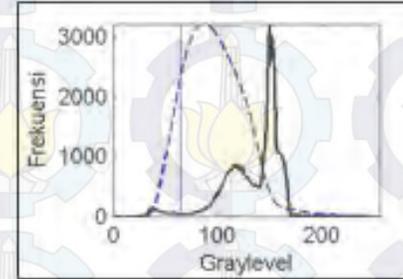
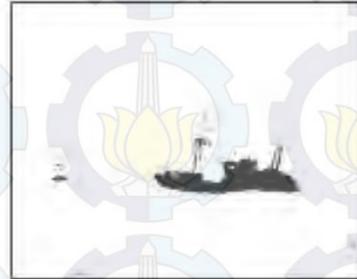
Citra Sample	Metode Thresholding			
	Metode Otsu (%)	Metode yang diusulkan (%)	Metode Lopes 1 (%)	Metode Lopes 2 (%)
Blocks	94.36	99.34	98.87	99.34
Gearwheel	98.23	99.48	95.59	95.59
Potatoes	98.28	99.81	96.98	96.98
Rice	95.73	92.75	82.06	95.91
Shadow	89.66	92.96	93.26	93.26
Stones	96.86	98.14	97.05	97.05
Zimba	97.61	99.51	96.55	98.86
Rata-rata	95.82	97.43	94.34	96.71

Hasil Uji Citra Natural

Nilai rata-rata ME dari 75 citra natural

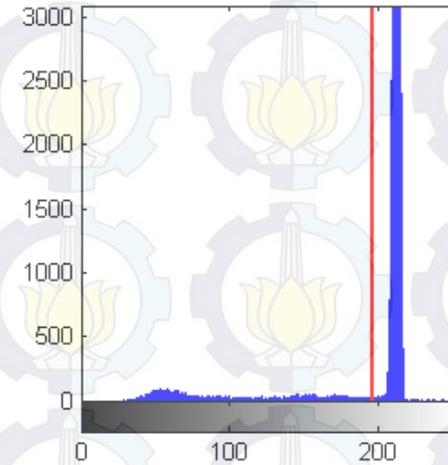
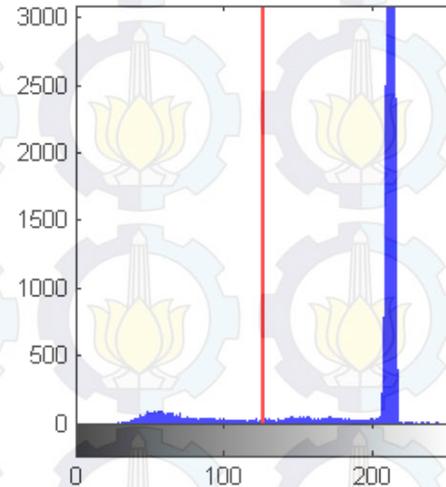
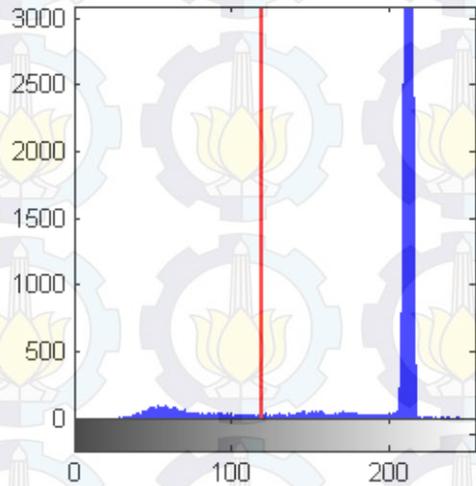
Metode Thresholding	Misclassification Error (%)
Metode Otsu	10,29
Metode yang diusulkan	6,85

Index of fuzziness terbesar sebagai penentu fuzzy region

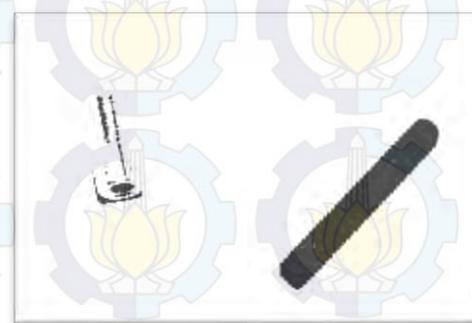


Perbandingan FSM dengan Variance dan IoF

**Posisi
Threshold**



**Thresholded
Image**



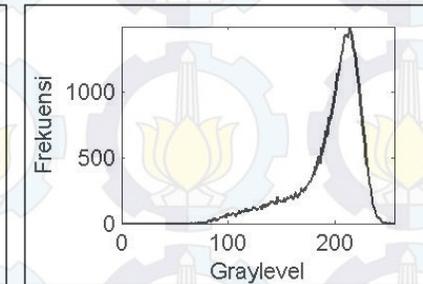
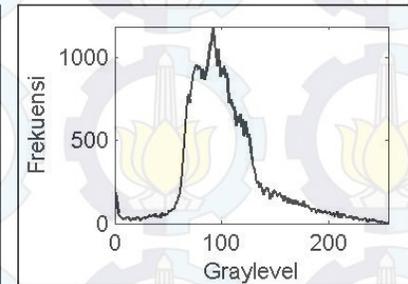
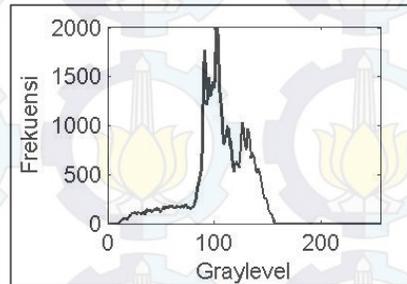
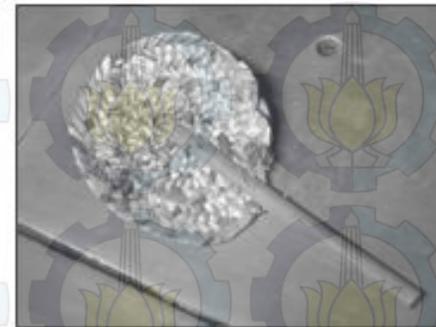
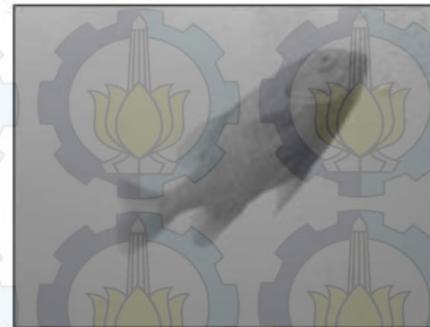
**Index of
fuzziness**

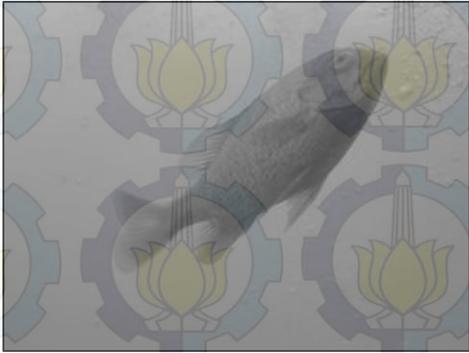
Variance

**Fuzzy
similarity
measure**

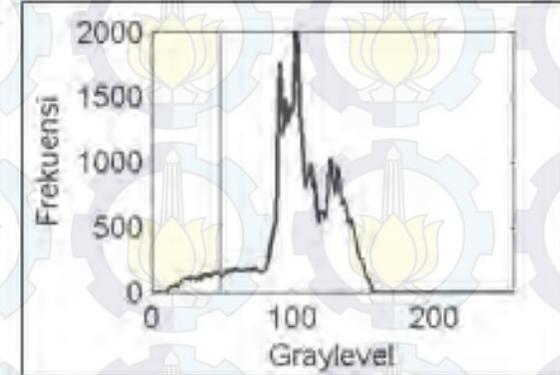
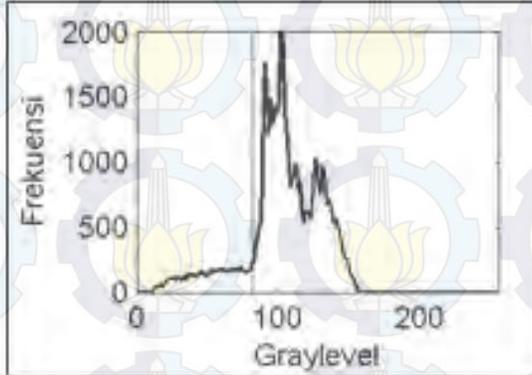
Kelemahan Metode

- Hasil yang kurang baik terjadi pada citra dengan histogram *unimodal*





Citra asal



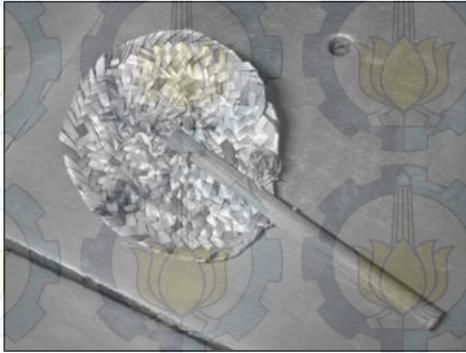
Ground truth



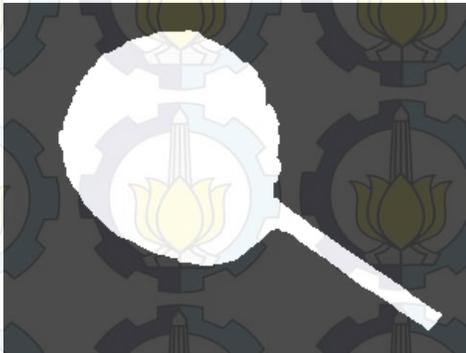
Metode Otsu



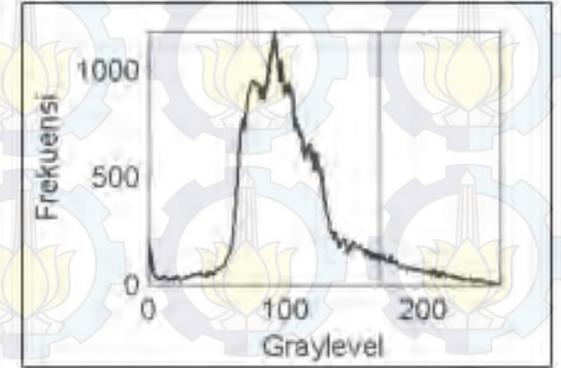
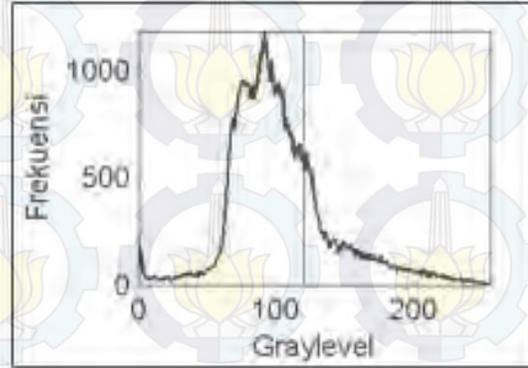
Metode yang diusulkan



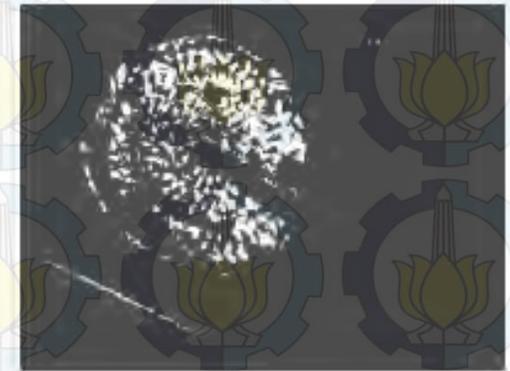
Citra asal



Ground truth



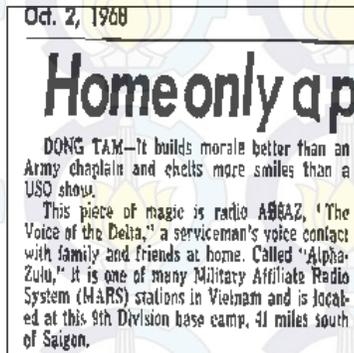
Metode Otsu



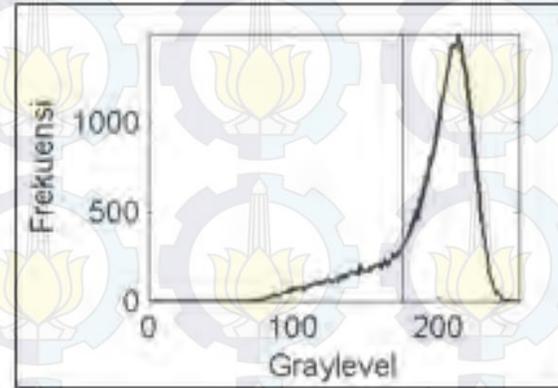
Metode yang diusulkan



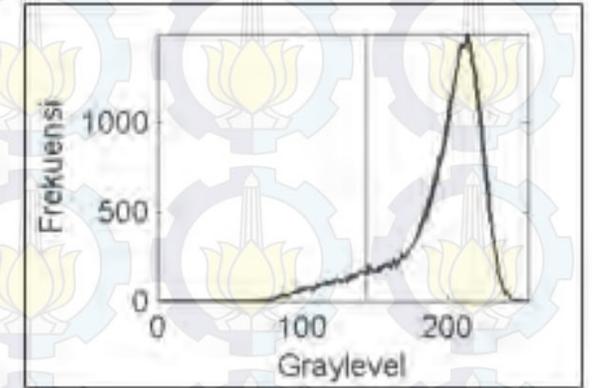
Citra asal



Ground truth



Metode Otsu



Metode yang diusulkan

Kesimpulan

Image thresholding berdasarkan *index of fuzziness* dan *fuzzy similarity measure* berhasil digunakan untuk melakukan *thresholding* terhadap citra dengan berbagai macam jenis histogram dengan performa berdasarkan nilai *ME 6,85%*

Posisi *fuzzy region* yang efektif terletak pada daerah di sekitar gray level dengan nilai *Index of fuzziness terbesar*

Fuzzy similarity measure lebih efektif digunakan untuk menentukan *threshold yang optimal* karena memperhitungkan *intensitas gray level* dan fungsi keanggotaan fuzzy

Saran

Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang pengembangan fuzzy similarity measure yang memperhitungkan jarak threshold dari pusat fuzzy region.

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penentuan fuzzy region berdasarkan pada teori fuzzy sets type II.



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

Terima Kasih

GULPI QORIK OKTAGALU PRATAMASUNU

5113201021

Dosen Pembimbing

Dr. Agus Zainal Arifin, S.Kom, M.Kom

Anny Yuniarti, S.Kom, M.Comp.Sc