

SKRIPSI

*IMAGE FUSION DENGAN METODE YANG  
MEMANFAATKAN INTUITIONISTIC FUZZY SET DI  
DALAM RUANG WARNA HUE, SATURATION, DAN  
INTENSITY (HSI)*



Joshua Lauwrich Nandy

NPM: 2016730072

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
2020



**UNDERGRADUATE THESIS**

**IMAGE FUSION WITH METHOD UTILIZING  
INTUITIONISTIC FUZZY SET IN HUE, SATURATION, AND  
INTENSITY (HSI) COLOR MODEL**



**Joshua Lauwrich Nandy**

**NPM: 2016730072**

**DEPARTMENT OF INFORMATICS  
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES  
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY  
2020**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

***IMAGE FUSION DENGAN METODE YANG MEMANFAATKAN  
INTUITIONISTIC FUZZY SET DI DALAM RUANG WARNA HUE,  
SATURATION, DAN INTENSITY (HSI)***

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,  
Tanggal 18 Juni 2020



Joshua Lauwrich Nandy  
NPM: 2016730072



# LEMBAR PENGESAHAN

## *IMAGE FUSION* DENGAN METODE YANG MEMANFAATKAN *INTUITIONISTIC FUZZY SET* DI DALAM RUANG WARNA *HUE, SATURATION*, DAN *INTENSITY (HSI)*

Joshua Lauwrich Nandy

NPM: 2016730072

Bandung, 18 Juni 2020

Menyetujui,

Pembimbing

Husnul Hakim, M.T.

Ketua Tim Penguji

Anggota Tim Penguji

Vania Natali, M.T.

Natalia, M.Si.

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Mariskha Tri Adithia, P.D.Eng



## PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

***IMAGE FUSION DENGAN METODE YANG MEMANFAATKAN  
INTUITIONISTIC FUZZY SET DI DALAM RUANG WARNA HUE,  
SATURATION, DAN INTENSITY (HSI)***

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,  
Tanggal 18 Juni 2020



Joshua Lauwrich Nandy  
NPM: 2016730072





## ABSTRAK

Pengolahan citra digital merupakan sebuah disiplin ilmu yang mempelajari tentang teknik dan metode yang dapat digunakan dalam memproses citra digital. Salah satu bentuk pengolahan citra digital dapat dilihat pada sebuah teknik yang disebut *image fusion*. *Image fusion* merupakan proses penggabungan beberapa citra masukan yang diperoleh dari berbagai sumber menjadi sebuah citra baru yang memiliki deskripsi paling akurat terhadap objek atau kejadian yang terjadi di dalam citra tersebut. *Image fusion* semakin diperlukan karena memiliki peran penting bagi banyak bidang dalam kehidupan manusia. Metode yang paling sederhana untuk melakukan *image fusion* adalah metode tradisional. Namun, metode ini memiliki beberapa kekurangan. Salah satu di antaranya adalah kurangnya kualitas citra yang dihasilkan. Oleh karena itu, sebuah metode baru yang memanfaatkan logika *fuzzy* diperkenalkan untuk mengatasi masalah ini.

Pada penelitian ini dibangun sebuah perangkat lunak yang mengimplementasikan *image fusion* dengan metode tradisional dan *image fusion* dengan metode *fuzzy*. Perangkat lunak ini juga akan mengukur kualitas citra hasil proses *image fusion* dan menyimpan citra hasil tersebut di dalam *file system*. Perangkat lunak yang dibangun diuji secara eksperimental untuk mencapai tiga tujuan utama, yaitu mengetahui kualitas *image fusion* dengan metode *fuzzy*, mengetahui pengaruh ukuran blok pada *image fusion* dengan metode *fuzzy*, dan mengetahui penerapan *image fusion* dengan metode *fuzzy* pada citra berwarna.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa *image fusion* dengan metode *fuzzy* menghasilkan citra dengan kualitas yang kurang baik. Namun, metode ini dinilai dapat menghasilkan citra dengan tingkat kedetailan yang cukup tinggi. Selain itu, ukuran blok yang dipakai saat proses *image fusion* dengan metode *fuzzy* juga mempengaruhi kualitas citra yang dihasilkan. Semakin besar ukuran blok yang digunakan maka semakin rendah pula kualitas citra yang dihasilkan. Sementara itu dalam beberapa kasus, penerapan *image fusion* dengan metode *fuzzy* pada citra berwarna menghasilkan citra yang memiliki *noise* baru dan intensitas lebih rendah daripada yang seharusnya.

**Kata-kata kunci:** *image fusion, fuzzy, intuitionistic fuzzy set, maximum fusion, minimum fusion, average fusion, HSI, hue, saturation, intensity*



## ABSTRACT

Digital image processing is a study of applying various techniques and methods to process digital images. One of the techniques is called image fusion. Image fusion is a process of combining several input images from various sources into a single image which has the most accurate description of objects and/or events contained within the image. The demand of image fusion is increasing day by day as this technique holds crucial role in many fields. The simplest and most straightforward method is by using the traditional image fusion method. However, this method has some weaknesses such as the unsatisfyingly low quality of the resulting image. Hence, a more modern method utilizing fuzzy logic is proposed to overcome the weaknesses.

This undergraduate thesis builds a software which implements both the traditional method and the fuzzy logic method in applying the image fusion. This software also evaluates the quality of the resulting fused images as well as storing them in the file system. Mainly, this software is experimentally tested to satisfy three objectives, finding the quality of fuzzy method image fusion, understanding the effect of block size to the fuzzy method image fusion, and understanding the application of fuzzy method image fusion on colored image.

It is observed in the test result that fuzzy method generates pretty low quality images. Still, this method is found to be able to generate image with great level of detail. Furthermore, the block size does affect the quality of resulting fused images. A higher block size value will result in lower image quality. On the other hand, in some cases it is found that applying fuzzy method image fusion on colored images will generate fused image with new noise as well as lower quality than expected.

**Keywords:** *image fusion, fuzzy, intuitionistic fuzzy set, maximum fusion, minimum fusion, average fusion, HSI, hue, saturation, intensity*



*"Percayalah kepada TUHAN dengan segenap hatimu, dan janganlah bersandar kepada pengertianmu sendiri. Akuilah Dia dalam segala lakumu, maka Ia akan meluruskan jalanmu."  
Amsal 3:5-6*

*Dipersembahkan untuk Tuhan Yesus Kristus, keluarga, para dosen,  
negara, teman-teman, serta diri sendiri.*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus untuk kasih dan anugrahNya yang selalu memimpin dan menyertai penulis selama berkuliah dan menyelesaikan penyusunan skripsi yang berjudul "*Image Fusion dengan Metode yang Memanfaatkan Intuitionistic Fuzzy Set di Dalam Ruang Warna Hue, Saturation, dan Intensity (HSI)*". Skripsi ini dibuat dan diajukan untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan di Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains, Universitas Katolik Parahyangan. Selama penulisan skripsi, penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat selesai karena bantuan dan dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Husnul Hakim, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mendukung penulis selama proses penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Vania Natali, M.T. dan Ibu Natalia, M.Si. selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun.
3. Keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis.
4. Pdt. O.R.H. Prochorus dan seluruh keluarga GBT Yesus Hidup yang selalu mendoakan dan membantu menyediakan setiap kebutuhan yang penulis perlukan dalam menjalani perkuliahan.
5. Ci Natalia, Ko Hendra, Ka Hanna, Echa, Revi, dan seluruh keluarga PMK1 lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan. Terima kasih untuk doa, dukungan, dan teladan yang kalian berikan selama berkuliah di UNPAR.
6. Ci Natalia, Ci Eri, Ci Erna, Ka Atha, Ka Ina, Ko David, dan seluruh GIBA GKKD Bandung Barat yang tidak bisa penulis sebutkan atas dukungan dan doanya selama penulisan skripsi ini.
7. Teman-teman seperjuangan skripsi, yaitu Jason, Cahyadi, Ferdian, Cantika, Yehezkiel, Kevin R, Jaya, dan Timothy.
8. Ferdiant Joshua sebagai teman seperjuangan skripsi yang selain memberikan dukungan juga bersedia untuk memberikan pinjaman fasilitas yang mendukung penulisan skripsi ini dan persiapan untuk memenuhi syarat kelulusan.

Bandung, Juni 2020

Penulis





# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxv
DAFTAR KODE PROGRAM	xxvii
<b>1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Pembahasan	3
<b>DAFTAR NOTASI</b>	<b>1</b>
<b>2 LANDASAN TEORI</b>	<b>5</b>
2.1 Logika	5
2.1.1 Logika Proposisi [1]	5
2.1.2 Logika <i>Fuzzy</i> [1]	6
2.2 Himpunan ( <i>Set</i> )	6
2.2.1 <i>Crisp Set</i> [1]	6
2.2.2 <i>Fuzzy Set</i> [1]	7
2.2.3 <i>Intuitionistic Fuzzy Set</i> [2] [3]	10
2.3 Entropi <i>fuzzy</i> [2] [3]	11
2.4 Citra	13
2.4.1 Citra <i>Grayscale</i>	14
2.4.2 Citra Berwarna	15
2.5 Pengolahan Citra Digital	19
2.6 <i>Image Fusion</i>	19
2.6.1 <i>Image Fusion</i> dengan metode tradisional [4] [5]	20
2.6.2 <i>Image Fusion</i> dengan metode <i>Fuzzy Set</i>	21
2.6.3 Pengukuran Kualitas Citra <i>Image Fusion</i>	23
<b>3 ANALISIS</b>	<b>27</b>
3.1 Deskripsi Masalah	27
3.2 Analisis Masukan	28
3.3 Analisis Algoritma	29
3.3.1 Fuzzifikasi, Defuzzifikasi, dan Pengukuran Kualitas Citra Pada <i>HSI Color Model</i>	29

3.3.2	Optimisasi Lambda ( $\lambda$ )	30
3.3.3	<i>Blackness</i> dan <i>Whiteness</i>	32
3.4	Studi Kasus	33
3.4.1	Algoritma <i>Image Fusion</i> dengan Metode Tradisional	33
3.4.2	Algoritma <i>Image fusion</i> dengan Metode yang Memanfaatkan <i>Fuzzy Set</i>	37
3.5	Gambaran Umum Perangkat Lunak	41
3.5.1	Diagram Aktivitas	41
3.5.2	Diagram Kelas Singkat	41
3.5.3	<i>Library</i>	43
<b>4</b>	<b>PERANCANGAN</b>	<b>45</b>
4.1	Perancangan Antarmuka	45
4.2	Diagram Kelas Lengkap	47
4.2.1	<i>Package main</i>	48
4.2.2	<i>Package controller</i>	48
4.2.3	<i>Package listener</i>	55
4.2.4	<i>Package view</i>	57
4.2.5	<i>Package model.process</i>	62
4.2.6	<i>Package model.fuzzy</i>	66
4.2.7	<i>Package model.image</i>	72
<b>5</b>	<b>IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN</b>	<b>85</b>
5.1	Implementasi	85
5.1.1	Implementasi Antarmuka	85
5.1.2	Implementasi Algoritma	89
5.1.3	Lingkungan Perangkat Keras	93
5.1.4	Lingkungan Perangkat Lunak	93
5.2	Pengujian	93
5.2.1	Pengujian Fungsional	93
5.2.2	Pengujian Eksperimental	95
5.2.3	Kesimpulan Pengujian	146
<b>6</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>147</b>
6.1	Kesimpulan	147
6.2	Saran	148
	<b>DAFTAR REFERENSI</b>	<b>149</b>
<b>A</b>	<b>KODE PROGRAM</b>	<b>151</b>
A.1	Kelas <i>main.Main</i>	151
A.2	Kelas <i>controller.Controller</i>	152
A.3	Interface <i>listener.AverageFusionListener</i>	159
A.4	Interface <i>listener.FusionAlgorithmListener</i>	160
A.5	Interface <i>listener.FuzzyFusionListener</i>	160
A.6	Interface <i>listener.IntuitionisticFuzzyImageListener</i>	161
A.7	Interface <i>listener.MaximumFusionListener</i>	161
A.8	Interface <i>listener.MinimumFusionListener</i>	161
A.9	Interface <i>listener.SaveHandlerListener</i>	161
A.10	Kelas <i>view.LogHandler</i>	162
A.11	Kelas <i>view.ProgressHandler</i>	163
A.12	Kelas <i>view.QualityMetric</i>	164
A.13	Kelas <i>view.SaveHandler</i>	165

A.14 Interface <i>model.fuzzy.Fuzzyable</i> . . . . .	166
A.15 Kelas <i>model.fuzzy.FuzzyNumber</i> . . . . .	166
A.16 Kelas <i>model.fuzzy.IntuitionisticFuzzyNumber</i> . . . . .	167
A.17 Enumerate <i>model.image.ColorChannels</i> . . . . .	168
A.18 Kelas <i>model.image.Color</i> . . . . .	168
A.19 Kelas <i>model.image.Image</i> . . . . .	171
A.20 Kelas <i>model.image.IntuitionisticFuzzyImage</i> . . . . .	175
A.21 Interface <i>model.process.Fusion</i> . . . . .	178
A.22 Kelas Abstrak <i>model.process.FusionAlgorithm</i> . . . . .	178
A.23 Kelas <i>model.process.AverageFusion</i> . . . . .	178
A.24 Kelas <i>model.process.MinimumFusion</i> . . . . .	179
A.25 Kelas <i>model.process.MaximumFusion</i> . . . . .	180
A.26 Kelas <i>model.process.FuzzyFusion</i> . . . . .	181
A.27 Kelas <i>model.process.Wrapper</i> . . . . .	183



## DAFTAR GAMBAR

1.1	Contoh pemanfaatan <i>image fusion</i> di bidang pertahanan . . . . .	1
2.1	Contoh <i>triangular membership function</i> untuk $A$ dengan $a = 4$ , $b = 5$ , dan $c = 6$ . . . . .	8
2.2	Contoh <i>trapezoidal membership function</i> untuk $A$ dengan $a = 2$ , $b = 3$ , $c = 6$ , dan $d = 7$ . . . . .	9
2.3	Contoh <i>Gaussian membership function</i> untuk $A$ dengan $m = 0,5$ dan $\sigma = 7$ . . . . .	9
2.4	Contoh <i>fuzzy singleton membership function</i> untuk $A$ dengan $m = 0,5$ dan $\theta = 7$ . . . . .	10
2.5	Representasi geometri dari <i>intuitionistic fuzzy set</i> [3] . . . . .	11
2.6	Representasi vektor dari <i>intuitionistic fuzzy set</i> dan komplementnya [2] . . . . .	12
2.7	<i>Sampling</i> dan <i>quantization</i> [6] . . . . .	14
2.8	Hasil proses <i>sampling</i> dan <i>quantization</i> [6] . . . . .	15
2.9	Perbandingan beberapa contoh <i>image sampling</i> dan <i>image quantization</i> [7] . . . . .	15
2.10	Contoh representasi citra dalam komputer . . . . .	16
2.11	Spektrum gelombang elektromagnetik [6] . . . . .	16
2.12	<i>RGB color model</i> [6] . . . . .	17
2.13	Warna biru navi muda dengan 9.8% merah, 45.49% hijau dan 82.35% biru . . . . .	17
2.14	<i>HSI Color Model</i> [6] . . . . .	17
2.15	Kategori <i>image fusion</i> [8] . . . . .	20
3.1	Contoh citra dengan berbagai kondisi: <i>underexposed</i> , <i>overexposed</i> , dan normal [2] . . . . .	30
3.2	Plot fungsi entropi terhadap $\lambda$ dengan berbagai intensitas . . . . .	31
3.3	Plot fungsi entropi terhadap $\lambda$ dengan berbagai kombinasi intensitas . . . . .	32
3.4	Plot fungsi entropi terhadap $\lambda$ dengan intensitas $g = \frac{1}{3}$ . . . . .	32
3.5	Citra masukan untuk studi kasus . . . . .	34
3.6	Hasil <i>image fusion</i> dengan menggunakan metode tradisional . . . . .	37
3.7	Dekomposisi blok pada kedua citra masukan . . . . .	39
3.8	Jumlah derajat kehitaman dan derajat keputihan pada setiap blok citra masukan . . . . .	39
3.9	Hasil citra <i>image fusion</i> dengan menggunakan metode yang memanfaatkan <i>fuzzy set</i> . . . . .	41
3.10	Diagram aktivitas . . . . .	42
3.11	Diagram kelas singkat . . . . .	44
4.1	Rancangan antarmuka utama dari perangkat lunak yang dibangun . . . . .	45
4.2	Rancangan antarmuka pendukung untuk memilih <i>folder</i> atau <i>file</i> pada <i>file system</i> . . . . .	47
4.3	Rancangan antarmuka pendukung untuk menampilkan pengukuran kualitas citra hasil proses <i>image fusion</i> . . . . .	48
4.4	Rancangan antarmuka pendukung untuk menampilkan citra hasil proses <i>image fusion</i> . . . . .	49
4.5	Rancangan antarmuka pendukung untuk menampilkan pembuat perangkat lunak ini . . . . .	50
4.6	Diagram kelas <i>package main</i> . . . . .	50
4.7	Diagram kelas <i>package controller</i> . . . . .	51
4.8	Diagram kelas <i>package listener</i> . . . . .	56
4.9	Diagram kelas <i>package view</i> . . . . .	59
4.10	Diagram kelas <i>package model.process</i> . . . . .	63
4.11	Diagram kelas <i>package model.fuzzy</i> . . . . .	68

4.12	Diagram kelas <i>package model.image</i> . . . . .	71
5.1	Antarmuka utama pada perangkat lunak yang dibangun . . . . .	86
5.2	Antarmuka pendukung untuk memilih <i>folder</i> atau <i>file</i> pada <i>file system</i> . . . . .	87
5.3	Antarmuka pendukung untuk menampilkan pengukuran kualitas citra hasil proses <i>image fusion</i> . . . . .	87
5.4	Antarmuka pendukung untuk menampilkan citra hasil proses <i>image fusion</i> . . . . .	88
5.5	Antarmuka pendukung untuk menampilkan pembuat perangkat lunak . . . . .	88
5.6	Berbagai <i>dialog</i> peringatan yang dapat muncul pada perangkat lunak yang dibangun . . . . .	88
5.7	Citra keluaran perangkat lunak pada pengujian fungsional . . . . .	94
5.8	Kasus uji 1 dengan jenis citra berwarna . . . . .	96
5.9	Kasus uji 1 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	96
5.10	Hasil plot kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 1 dengan jenis citra berwarna . . . . .	98
5.11	Hasil plot kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 1 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	98
5.12	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 1 dengan metode tradisional . . . . .	99
5.13	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 1 dengan metode <i>fuzzy</i> . . . . .	99
5.14	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 1 dengan metode tradisional . . . . .	100
5.15	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 1 dengan metode <i>fuzzy</i> . . . . .	100
5.16	Kasus uji 2 dengan jenis citra berwarna . . . . .	101
5.17	Kasus uji 2 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	101
5.18	Hasil plot kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 2 dengan jenis citra berwarna . . . . .	103
5.19	Hasil plot kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 2 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	103
5.20	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 2 dengan metode tradisional . . . . .	104
5.21	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 2 dengan metode <i>fuzzy</i> . . . . .	104
5.22	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 2 dengan metode tradisional . . . . .	105
5.23	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 2 dengan metode <i>fuzzy</i> . . . . .	105
5.24	Kasus uji 3 dengan jenis citra berwarna . . . . .	106
5.25	Kasus uji 3 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	106
5.26	Hasil plot kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 3 dengan jenis citra berwarna . . . . .	108
5.27	Hasil plot kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 3 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	108
5.28	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 3 dengan metode tradisional . . . . .	109
5.29	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 3 dengan metode <i>fuzzy</i> . . . . .	109
5.30	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 3 dengan metode tradisional . . . . .	110
5.31	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 3 dengan metode <i>fuzzy</i> . . . . .	110
5.32	Kasus uji 4 dengan jenis citra berwarna . . . . .	111
5.33	Kasus uji 4 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	111
5.34	Hasil plot kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 4 dengan jenis citra berwarna . . . . .	113
5.35	Hasil plot kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 4 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	113
5.36	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 4 dengan metode tradisional . . . . .	114
5.37	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 4 dengan metode <i>fuzzy</i> . . . . .	114
5.38	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 4 dengan metode tradisional . . . . .	115
5.39	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 4 dengan metode <i>fuzzy</i> . . . . .	115
5.40	Kasus uji 5 dengan jenis citra berwarna . . . . .	116
5.41	Kasus uji 5 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	116
5.42	Hasil plot kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 5 dengan jenis citra berwarna . . . . .	118
5.43	Hasil plot kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 5 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	118
5.44	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 5 dengan metode tradisional . . . . .	119
5.45	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 5 dengan metode <i>fuzzy</i> . . . . .	119
5.46	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 5 dengan metode tradisional . . . . .	120
5.47	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 5 dengan metode <i>fuzzy</i> . . . . .	120
5.48	Kasus uji 6 dengan jenis citra berwarna . . . . .	121
5.49	Kasus uji 6 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	121

5.50	Hasil plot kualitas image fusion pada kasus uji 6 dengan jenis citra berwarna . . .	123
5.51	Hasil plot kualitas image fusion pada kasus uji 6 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . .	123
5.52	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 6 dengan metode tradisional	124
5.53	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 6 dengan metode <i>fuzzy</i> . .	124
5.54	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 6 dengan metode tradisional	125
5.55	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 6 dengan metode <i>fuzzy</i> . .	125
5.56	Kasus uji 7 dengan jenis citra berwarna . . . . .	126
5.57	Kasus uji 7 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	126
5.58	Hasil plot kualitas image fusion pada kasus uji 7 dengan jenis citra berwarna . . .	128
5.59	Hasil plot kualitas image fusion pada kasus uji 7 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . .	128
5.60	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 7 dengan metode tradisional	129
5.61	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 7 dengan metode <i>fuzzy</i> . .	129
5.62	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 7 dengan metode tradisional	130
5.63	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 7 dengan metode <i>fuzzy</i> . .	130
5.64	Kasus uji 8 dengan jenis citra berwarna . . . . .	131
5.65	Kasus uji 8 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	131
5.66	Hasil plot kualitas image fusion pada kasus uji 8 dengan jenis citra berwarna . . .	133
5.67	Hasil plot kualitas image fusion pada kasus uji 8 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . .	133
5.68	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 8 dengan metode tradisional	134
5.69	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 8 dengan metode <i>fuzzy</i> . .	134
5.70	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 8 dengan metode tradisional	135
5.71	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 8 dengan metode <i>fuzzy</i> . .	135
5.72	Kasus uji 9 dengan jenis citra berwarna . . . . .	136
5.73	Kasus uji 9 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	136
5.74	Hasil plot kualitas image fusion pada kasus uji 9 dengan jenis citra berwarna . . .	138
5.75	Hasil plot kualitas image fusion pada kasus uji 9 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . .	138
5.76	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 9 dengan metode tradisional	139
5.77	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 9 dengan metode <i>fuzzy</i> . .	139
5.78	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 9 dengan metode tradisional	140
5.79	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 9 dengan metode <i>fuzzy</i> . .	140
5.80	Kasus uji 10 dengan jenis citra berwarna . . . . .	141
5.81	Kasus uji 10 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	141
5.82	Hasil plot kualitas image fusion pada kasus uji 10 dengan jenis citra berwarna . . .	143
5.83	Hasil plot kualitas image fusion pada kasus uji 10 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . .	143
5.84	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 10 dengan metode tradisional	144
5.85	Citra berwarna hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 10 dengan metode <i>fuzzy</i> .	144
5.86	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 10 dengan metode tradisional	145
5.87	Citra <i>grayscale</i> hasil proses <i>image fusion</i> pada kasus uji 10 dengan metode <i>fuzzy</i> .	145





## DAFTAR TABEL

2.1 Nilai kebenaran untuk negasi . . . . .	5
2.2 Nilai kebenaran untuk disjungsi . . . . .	5
2.3 Nilai kebenaran untuk konjungsi . . . . .	6
2.4 Nilai kebenaran untuk implikasi . . . . .	6
2.5 Operasi-operasi dasar himpunan . . . . .	7
2.6 Sifat-sifat himpunan . . . . .	7
3.1 Representasi citra masukan pertama dalam <i>RGB color model</i> . . . . .	34
3.2 Representasi citra masukan kedua dalam <i>RGB color model</i> . . . . .	34
3.3 Konversi citra hasil <i>image fusion</i> dengan algoritma minimum pada <i>intensity channel</i> . . . . .	35
3.4 Perhitungan sementara untuk mendapatkan nilai <i>RF</i> . . . . .	35
3.5 Perhitungan sementara untuk mendapatkan nilai <i>CF</i> . . . . .	35
3.6 Intensitas <i>pixel</i> yang sudah dikurangi rata-rata sebelum dapat menghitung <i>STD</i> . . . . .	36
3.7 Representasi citra masukan pertama dalam <i>HSI color model</i> . . . . .	38
3.8 Representasi citra masukan kedua dalam <i>HSI color model</i> . . . . .	38
3.9 Representasi citra masukan pertama dalam <i>intuitionistic fuzzy set</i> . . . . .	39
3.10 Representasi citra masukan kedua dalam <i>intuitionistic fuzzy set</i> . . . . .	39
3.11 Representasi citra hasil dalam <i>HSI color model</i> . . . . .	40
3.12 Representasi citra hasil dalam <i>RGB color model</i> . . . . .	40
5.1 Spesifikasi perangkat keras . . . . .	93
5.2 Spesifikasi perangkat lunak . . . . .	93
5.3 Spesifikasi <i>library</i> . . . . .	93
5.4 Perhitungan kualitas citra keluaran perangkat lunak pada pengujian fungsional . . . . .	94
5.5 Hasil pengujian eksperimental untuk menentukan besarnya ketelitian atau kenaikan $\lambda$ di setiap iterasi . . . . .	95
5.6 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 1 dengan jenis citra berwarna . . . . .	97
5.7 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 1 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	97
5.8 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 2 dengan jenis citra berwarna . . . . .	102
5.9 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 2 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	102
5.10 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 3 dengan jenis citra berwarna . . . . .	107
5.11 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 3 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	107
5.12 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 4 dengan jenis citra berwarna . . . . .	112
5.13 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 4 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	112
5.14 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 5 dengan jenis citra berwarna . . . . .	117
5.15 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 5 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	117
5.16 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 6 dengan jenis citra berwarna . . . . .	122
5.17 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 6 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	122
5.18 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 7 dengan jenis citra berwarna . . . . .	127
5.19 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 7 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	127
5.20 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 8 dengan jenis citra berwarna . . . . .	132
5.21 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 8 dengan jenis citra <i>grayscale</i> . . . . .	132
5.22 Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 9 dengan jenis citra berwarna . . . . .	137

5.23	Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 9 dengan jenis citra <i>grayscale</i>	137
5.24	Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 10 dengan jenis citra berwarna	142
5.25	Hasil pengukuran kualitas <i>image fusion</i> pada kasus uji 10 dengan jenis citra <i>grayscale</i>	142

## DAFTAR KODE PROGRAM

5.1	Implementasi <i>image fusion</i> dengan algoritma minimum . . . . .	89
5.2	Implementasi <i>image fusion</i> dengan algoritma maksimum . . . . .	89
5.3	Implementasi <i>image fusion</i> dengan algoritma rata-rata . . . . .	90
5.4	Implementasi <i>image fusion</i> dengan algoritma yang memanfaatkan <i>fuzzy set</i> . . . . .	90
5.5	Implementasi pencarian lambda optimum . . . . .	92
A.1	Main.java . . . . .	151
A.2	Controller.java . . . . .	152
A.3	AverageFusionListener.java . . . . .	159
A.4	FusionAlgorithmListener.java . . . . .	160
A.5	FuzzyFusionListener.java . . . . .	160
A.6	IntuitionisticFuzzyImageListener.java . . . . .	161
A.7	MaximumFusionListener.java . . . . .	161
A.8	MinimumFusionListener.java . . . . .	161
A.9	SaveHandlerListener.java . . . . .	161
A.10	LogHandler.java . . . . .	162
A.11	ProgressHandler.java . . . . .	163
A.12	QualityMetric.java . . . . .	164
A.13	SaveHandler.java . . . . .	165
A.14	Fuzzyable.java . . . . .	166
A.15	FuzzyNumber.java . . . . .	166
A.16	IntuitionisticFuzzyNumber.java . . . . .	167
A.17	ColorChannels.java . . . . .	168
A.18	Color.java . . . . .	168
A.19	Image.java . . . . .	171
A.20	IntuitionisticFuzzyImage.java . . . . .	175
A.21	Fusion.java . . . . .	178
A.22	FusionAlgorithm.java . . . . .	178
A.23	AverageFusion.java . . . . .	178
A.24	MinimumFusion.java . . . . .	179
A.25	MaximumFusion.java . . . . .	180
A.26	FuzzyFusion.java . . . . .	181
A.27	Wrapper.java . . . . .	183

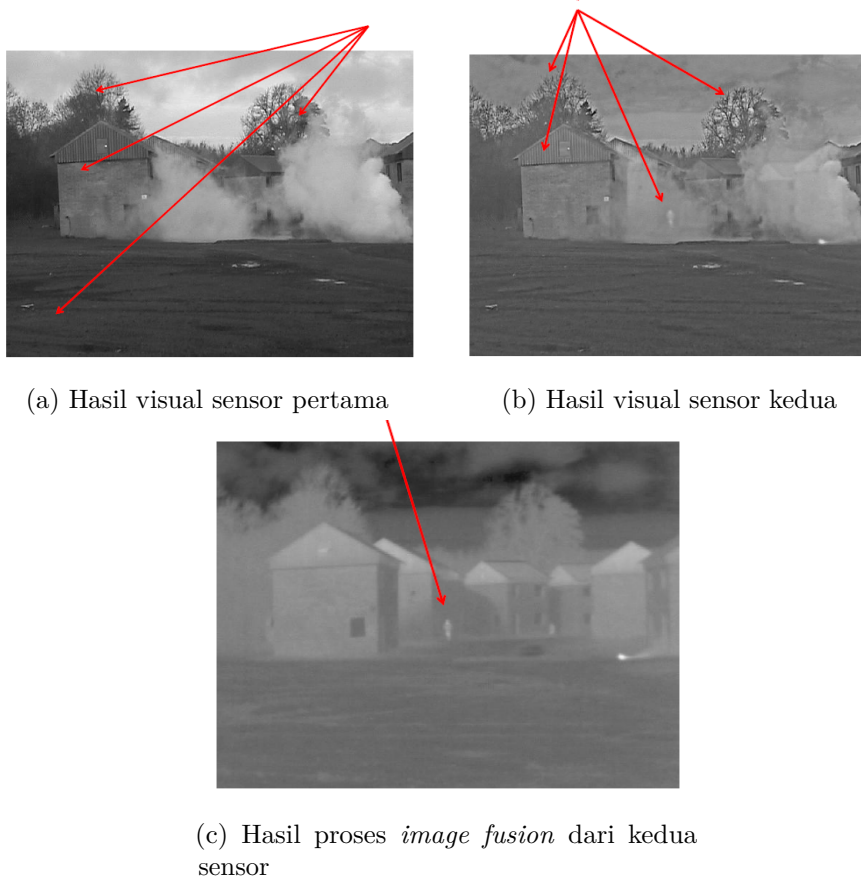


# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Pengolahan citra digital merupakan sebuah disiplin ilmu yang mempelajari tentang teknik dan metode yang dapat digunakan dalam memproses citra digital [9]. Salah satu bentuk pengolahan citra digital dapat dilihat pada sebuah teknik yang disebut *image fusion*. *Image fusion* merupakan proses penggabungan beberapa citra masukan yang diperoleh dari berbagai sumber menjadi sebuah citra baru yang memiliki deskripsi paling akurat terhadap objek atau kejadian yang terjadi di dalam citra tersebut [10]. Di dalam proses penggabungan ini perubahan yang terjadi dapat berupa pengurangan informasi citra yang tidak diperlukan atau perubahan informasi dan kualitas citra dari yang kurang baik menjadi lebih baik.



Gambar 1.1: Contoh pemanfaatan *image fusion* di bidang pertahanan

*Image fusion* dibagi ke dalam beberapa kategori, yaitu *multiview fusion*, *multimodal fusion*, *multitemporal fusion*, dan *multifocus fusion*. Setiap kategori tersebut memiliki peran penting bagi

banyak bidang dalam kehidupan manusia. Sebagai contoh pemanfaatan *image fusion* dengan kategori *multimodal* di bidang pertahanan dapat dilihat pada Gambar 1.1. Terdapat dua buah sensor visual yang dipakai untuk melakukan *tracking* pada seseorang. Sensor visual pertama (Gambar 1.1a) menghasilkan detail tekstur yang sangat baik. Sensor visual kedua (Gambar 1.1b) merupakan sensor *infrared* yang dapat mendeteksi orang di balik asap tetapi kurang dalam hal kualitasnya. Oleh karena itu, teknik *image fusion* digunakan pada kedua citra sehingga didapatkan citra dengan detail yang baik dan dapat melakukan *tracking* pada orang tersebut (Gambar 1.1c).

Ada berbagai macam metode yang digunakan dalam proses *image fusion*. Salah satunya adalah metode tradisional, misalnya dengan menggunakan algoritma rata-rata. Algoritma ini digunakan karena mudah dimengerti dan memiliki kompleksitas serta *running time* yang relatif kecil. Maksud dari *running time* di sini adalah waktu yang diperlukan untuk menjalankan sebuah program atau algoritma untuk  $n$  buah input. Walaupun demikian, penggunaan algoritma tersebut memiliki beberapa kekurangan. Salah satu di antaranya adalah kurangnya kualitas citra yang dihasilkan. Oleh karena itu, diperlukan metode lain yang dapat menghasilkan citra dengan kualitas yang lebih baik. Salah satu metode lain tersebut adalah metode yang memanfaatkan *fuzzy set* dalam melakukan *image fusion*. Berkebalikan dengan metode tradisional, metode yang memanfaatkan *fuzzy set* terdiri dari berbagai tahap dan memiliki kompleksitas dan *running time* yang relatif besar.

Pada penelitian ini, dibangun sebuah perangkat lunak yang dapat melakukan *image fusion* dengan metode tradisional dan metode yang memanfaatkan *fuzzy set*. Keluaran dari perangkat lunak ini adalah citra hasil proses *image fusion* beserta hasil dari pengukuran kualitas citra tersebut. Pengukuran kualitas citra ini memanfaatkan metode pengukuran objektif dengan dua jenis pengukuran, yaitu pengukuran dengan citra referensi (*with reference image*) dan pengukuran tanpa citra referensi (*without reference image*). Perhitungan kualitas citra pada metode pengukuran dengan citra referensi menggunakan empat buah metode, yaitu *root mean square error (RMSE)*, *peak-signal-to-noise-ratio (PSNR)*, *correlation (CORR)*, dan *structural similarity index measure (SSIM)*. Perhitungan kualitas citra pada metode pengukuran tanpa citra referensi menggunakan dua buah metode, yaitu *spatial frequency (SF)* dan *standard deviation (STD)*. Dari hasil yang didapatkan, metode yang memanfaatkan *fuzzy set* dalam melakukan *image fusion* diharapkan dapat memberikan hasil lebih baik dibandingkan *image fusion* dengan metode tradisional.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari deskripsi dan latar belakang yang telah dipaparkan adalah:

1. Bagaimana cara kerja algoritma tradisional dan algoritma yang menerapkan *fuzzy set* untuk melakukan *image fusion*?
2. Bagaimana membangun perangkat lunak untuk melakukan *image fusion*?
3. Bagaimana menguji kualitas hasil *image fusion* dari perangkat lunak yang dibangun?

## 1.3 Tujuan

Adapun tujuan penelitian dari rumusan masalah yang telah dipaparkan adalah:

1. Mempelajari cara kerja algoritma tradisional dan algoritma yang menerapkan *fuzzy set* untuk melakukan *image fusion*.
2. Membangun perangkat lunak yang dapat melakukan *image fusion*.
3. Menguji kualitas hasil *image fusion* dari perangkat lunak yang dibangun.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah untuk penelitian ini adalah:

1. Jenis *image fusion* yang dilakukan pada penelitian ini adalah *multifocus image fusion*.

2. Total waktu (*running time*) yang diperlukan dalam menjalankan seluruh algoritma *image fusion* tidak menjadi prioritas dan tujuan dalam penelitian ini sehingga ada kemungkinan proses yang dilakukan berlangsung lama.

## 1.5 Metodologi

Metodologi penelitian yang digunakan adalah:

1. Melakukan studi literatur mengenai pengolahan citra digital dan konsep *image fusion*.
2. Melakukan studi literatur mengenai algoritma metode tradisional dalam melakukan *image fusion*.
3. Melakukan studi literatur mengenai konsep *fuzzy set*.
4. Melakukan studi literatur mengenai penerapan konsep *fuzzy set* dalam *image fusion*.
5. Melakukan studi literatur mengenai metode yang dipakai untuk melakukan pengukuran hasil citra *image fusion* yang menggunakan kedua metode, yaitu metode tradisional dan metode yang menerapkan *fuzzy set*.
6. Melakukan analisis masalah dan analisis kebutuhan perangkat lunak untuk melakukan *image fusion* menggunakan kedua metode, yaitu metode tradisional dan metode yang menerapkan *fuzzy set*.
7. Melakukan perancangan perangkat lunak untuk melakukan *image fusion* menggunakan kedua metode, yaitu metode tradisional dan metode yang menerapkan *fuzzy set*.
8. Mengimplementasikan seluruh algoritma sesuai dengan desain yang sudah dirancang dengan bahasa pemrograman Java.
9. Melakukan pengujian dan eksperimen dengan beberapa jenis citra masukan.
10. Menulis dokumen skripsi.

## 1.6 Sistematika Pembahasan

Laporan penelitian disusun ke dalam enam bab sebagai berikut:

- Bab 1 Pendahuluan  
Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika pembahasan.
- Bab 2 Dasar Teori  
Bab ini berisi dasar teori tentang logika *fuzzy*, dasar-dasar pengolahan citra digital, *image fusion* dengan metode tradisional, *image fusion* dengan metode yang menerapkan *fuzzy set*, dan metode pengukuran kualitas hasil citra *image fusion*.
- Bab 3 Analisis  
Bab ini berisi deskripsi masalah, analisis masukan, analisis algoritma dan diagram aliran proses.
- Bab 4 Perancangan  
Bab ini berisi perancangan perangkat lunak yang dibangun, meliputi perancangan antarmuka dan diagram kelas yang lengkap.
- Bab 5 Implementasi dan Pengujian  
Bab ini berisi implementasi antarmuka perangkat lunak, pengujian fungsional, pengujian eksperimental, dan kesimpulan dari pengujian.
- Bab 6 Kesimpulan dan Saran  
Bab ini berisi kesimpulan dari awal hingga akhir penelitian beserta saran untuk pengembangan selanjutnya.



