



**Perbaikan Citra Inframerah dengan Metode *Cellular Automata* (CA) dan  
Metode *Histogram Equalization* (HE)**

**PROPOSAL SKRIPSI**

Oleh

**Annisa Yuniar Hidayah**

**NIM 141810101014**

**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER**

**2018**



**PERBAIKAN CITRA INFRAMERAH DENGAN METODE  
CELLULAR AUTOMATA DAN METODE  
HISTOGRAM EQUALIZATION**

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

**Annisa Yuniar Hidayah  
NIM 141810101014**

**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ayahanda Ir. Didik Hadiono, M.Si dan Ibunda Sri Wahyuni tercinta yang selalu mendoakan dan memberi dukungan serta kasih sayang untuk putri tercintanya;
2. Kakak Fitroh Andini S.Pd dan Adik Dhaniswara yang selalu memberikan semangat untuk saya;
3. Guru-guru sekolah sejak taman kanak-kanak sampai perguruan tinggi yang telah memberikan ilmu dan pengalaman berharga serta membimbing dengan penuh kesabaran;
4. Almamater Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember, SMA Negeri 2 Jember, SMP Negeri 1 Jember, SD Negeri Patrang 1 dan TK Al-Islah.

**MOTTO**

“Barang siapa yang merasa letih di malam hari karena bekerja, maka di malam itu  
ia diampuni”

(HR. Ahmad)\*)

“Yakinlah kamu bisa dan kamu sudah separuh jalan menuju kesana”

(Theodore Roosevelt)\*\*)

---

\*) HR. Ahmad

\*\*) Theodore Roosevelt

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Annisa Yuniar Hidayah

NIM : 141810101014

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “Perbaikan Citra Inframerah dengan Metode *Cellular Automata* dan Metode *Histogram Equalization*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juli 2018  
Yang menyatakan,

Annisa Yuniar Hidayah  
NIM 141810101014

**SKRIPSI**

**PERBAIKAN CITRA INFRAMERAH DENGAN METODE  
CELLULAR AUTOMATA DAN METODE  
HISTOGRAM EQUALIZATION**

Oleh  
Annisa Yuniar Hidayah  
NIM. 141810101014

**Pembimbing**

Dosen Pembimbing Utama : Abduh Riski, S.Si, M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Ahmad Kamsyakawuni, S.Si., M.Kom.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Perbaikan Citra Inframerah dengan Metode *Cellular Automata* dan Metode *Histogram Equalization*” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Jember

Tim Penguji :

Ketua,

Abduh Riski, S.Si., M.Si.  
NIP 11900406 201504 1 001

Anggota II,

Kusbudiono, S.Si., M.Si  
NIP 19770430 200501 1 001

Anggota I,

Ahmad Kamsyakawuni, S.Si., M.Kom.  
NIP 19721129 199802 1 001

Anggota III,

Dr. Mohamat Fatekurohman, S.Si., M.Si.  
NIP 19690606 199803 1 001

Mengesahkan

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Universitas Jember

Drs.Sujito, Ph.D.  
NIP 19610204 198711 1 001

## RINGKASAN

Perbaikan Citra Inframerah dengan Metode *Cellular Automata* dan Metode *Histogram Equalization*; Annisa Yuniar Hidayah; 141810101014; 2018; 54 Halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Kemajuan teknologi pada saat ini sudah semakin pesat, salah satunya pada bidang perbaikan kualitas citra. Citra yang dihasilkan dari alat optik tidak selalu memiliki kualitas yang baik, seringkali didapati citra dengan gangguan seperti noise, citra terlalu gelap maupun citra yang terlalu terang. Saat ini kualitas citra yang kurang baik dapat diatasi dengan beberapa metode perbaikan citra. Citra yang dipilih adalah citra inframerah karena citra hasil kamera inframerah memiliki beberapa kekurangan seperti terdapat *outliner* seperti *noise*, kontras yang rendah, dan gambar yang buram. Kamera inframerah dapat digunakan di berbagai bidang dan biasanya digunakan untuk alasan keamanan, karena kamera inframerah menangkap citra dari gelombang inframerah yang dipancarkan objek, sehingga banyaknya cahaya tidak berpengaruh pada hasil gambar yang dihasilkan. Oleh sebab itu perbaikan kualitas citra pada citra inframerah dianggap sangat dibutuhkan agar tidak ada informasi yang hilang dari citra tersebut. Metode yang digunakan untuk perbaikan citra adalah metode *Cellular Automata* dan metode *Histogram Equalization*. Tujuan dari penelitian ini yaitu agar didapat hasil perbaikn citra inframerah yang lebih baik dari kedua metode, serta dapat mengetahui dan membandingkan hasil dari kedua metode tersebut.

Perbaikan citra dengan metode *Cellular Automata* diawali dengan menentukan model kerangka *Cellular Automata*, selanjutnya dicari status awal sel menggunakan pendeteksian tepi degan operator Prewitt, setelah itu dicari status sel dan himpunan tetangga (*neighbourhood*) yang kemudian dilakukan perulangan dengan fungsi transisi *Cellular Automata* hingga didapat hasil yang maksimal. Sedangkan tahapan perbaikan citra dengan metode *Histogram Equalization* yang pertama dalah mencari nilai frekuensi dari matriks citra awal, kemudian dicari

nilai kumulatif dan nilai derajat keabuan baru untuk citra hasil perbaikan. Selanjutnya, dari kedua metode tersebut akan dilakukan programasi untuk perbaikan citra inframerah dengan bantuan *software* MATLAB.

Hasil penelitian ini yaitu berupa program perbaikan citra inframerah menggunakan *software* MATLAB, dan didapat hasil citra yang lebih baik setelah mengalami proses perbaikan dengan metode *Cellular Automata* dan metode *Histogram Equalization*. Perbandingan hasil kedua metode secara visual didapat hasil perbaikan menggunakan metode *Cellular Automata* lebih baik daripada metode *Histogram Equalization* karena metode CA dapat mempertahankan detail citra sehingga tidak mengurangi nilai informasi yang ada pada citra tersebut. Jika dibandingkan dengan uji *Linear Index of Fuzziness*, hasil perbaikan dengan metode *Cellular Automata* lebih baik dari *Histogram Equalization* pada sebagian citra saja karena terdapat beberapa citra dengan hasil perbaikan menggunakan metode *Histogram Equalization* lebih baik dari *Cellular Automata*.

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perbaikan Citra dengan Metode *Cellular Automata* dan Metode *Histogram Equalization*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) dan mencapai gelar Sarjana Sains (S.Si) pada Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

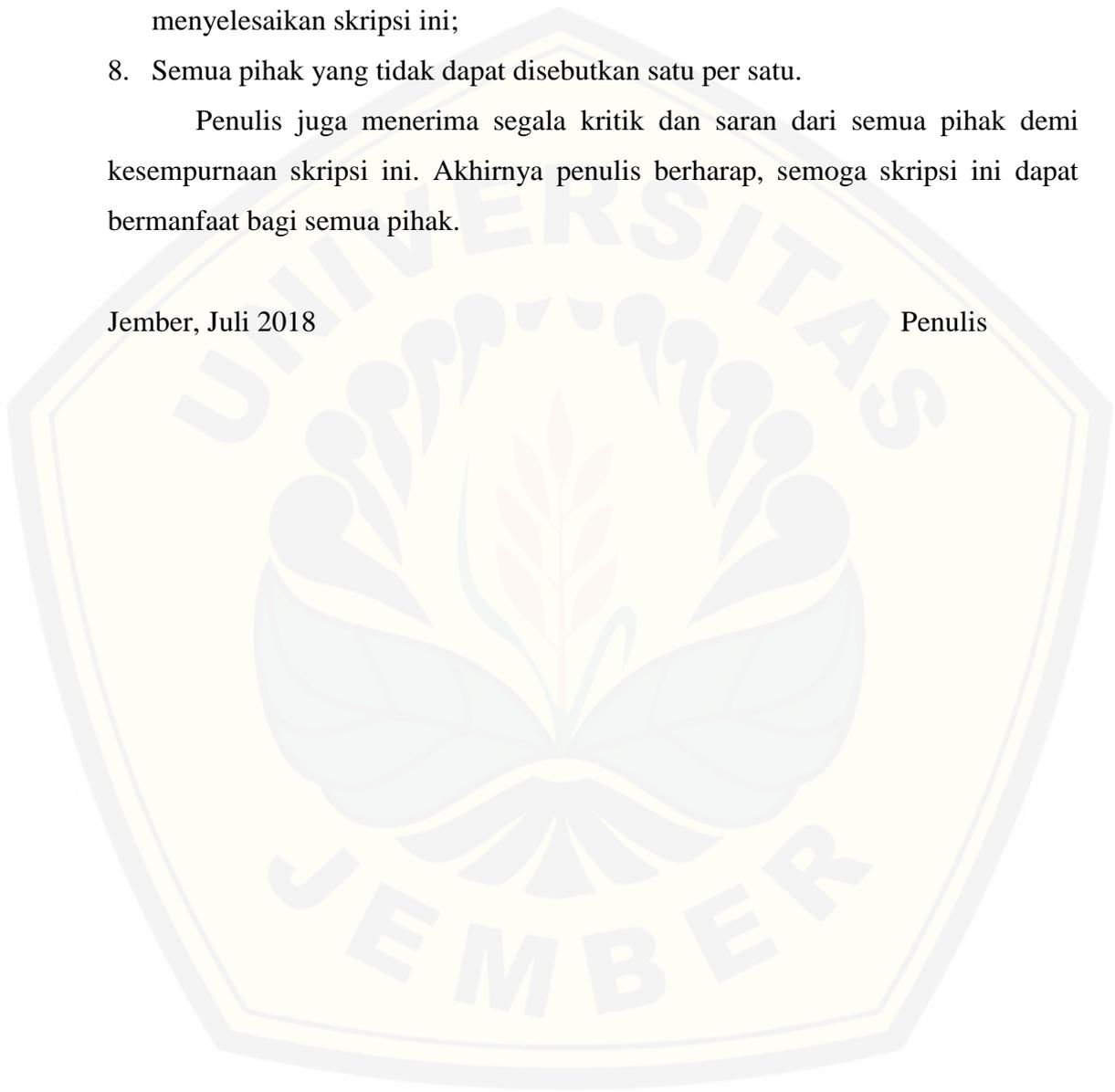
1. Abduh Riski, S.Si, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ahmad Kamsyakawuni, S.Si., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah sabar meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
2. Kusbudiono, S.Si, M.Si. dan Dr. Mohamat Fatekurohman, S.Si., M.Si. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan skripsi ini;
3. Seluruh Dosen dan Karyawan Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini;
4. Sahabat dari jaman maba, saat ini dan seterusnya (Dinda, Fay, Rofiah, Vivi), Sahabat pergosipan dan pergupuhan (Anin, Elsha, Ifa, Firda ), Sahabat rasa guru les (Gita dan Haris), terimakasih atas momen bahagia dan kebersamaan saat kuliah serta telah memberikan motivasi, semangat dan dorongan secara spiritual untuk membantu menyelesaikan skripsi ini;
5. Teman-teman KKN UMD76, teman-teman main dari jaman SMA hingga sekarang (Ratih, Febri, Difa, Defita, Sofi, Nafis) yang telah membantu dan memberikan semangat untuk penyelesaian skripsi ini;

6. Teman-teman angkatan 2014 (EXTREME), terimakasih atas kebersamaan selama waktu kuliah yang telah memberikan kenangan, semangat dan motivasi;
7. Saudara, keluarga serta adik-adik tercinta yang telah memberi semangat dalam menyelesaikan skripsi ini;
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Jember, Juli 2018

Penulis



DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	3
<b>1.3 Tujuan Penelitian</b> .....	3
<b>1.4 Manfaat Penelitian</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>2.1 Citra</b> .....	4
2.2.1 Citra Digital .....	4
2.2.2 Citra Inframerah .....	8
<b>2.2 Pendeteksian Tepi</b> .....	10
<b>2.3 Metode Cellular Automata</b> .....	12
<b>2.4 Metode Histogram Equalization</b> .....	18
<b>2.5 Linear Index of Fuzziness</b> .....	19
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	21
<b>3.1 Data Penelitian</b> .....	21
<b>3.2 Langkah-langkah Penelitian</b> .....	21

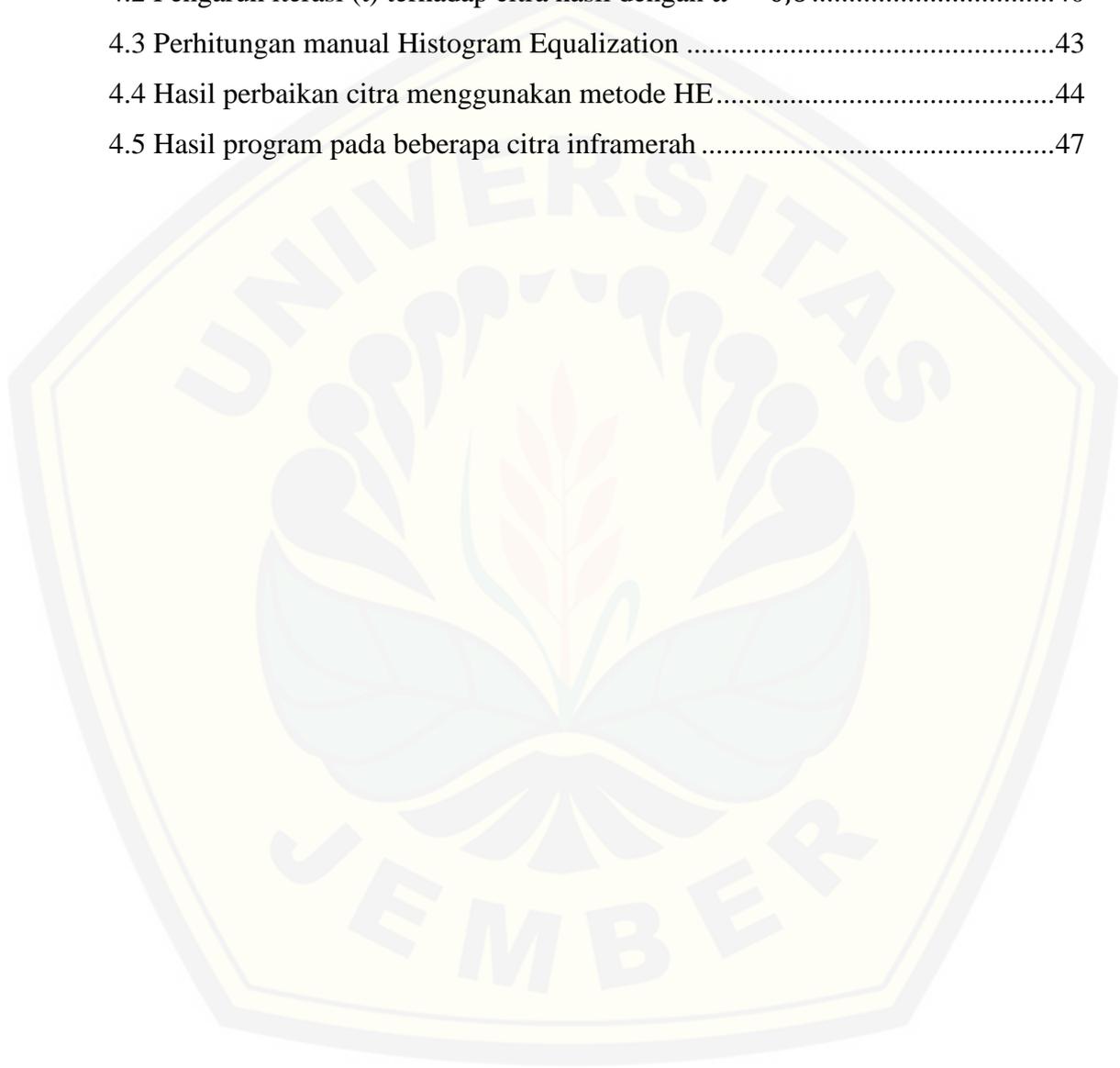
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	25
<b>4.1 Hasil Penelitian</b> .....	25
4.1.1 <i>Cellular Automata</i> .....	25
4.1.2 <i>Histogram Equalization</i> .....	41
4.1.3 <i>Linear Index of Fuzziness</i> .....	44
4.1.4 Perbandingan Hasil Program .....	47
<b>4.2 Pembahasan</b> .....	49
<b>BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	52
<b>5.1 Kesimpulan</b> .....	52
<b>5.2 Saran</b> .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	53
<b>LAMPIRAN</b> .....	55

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Citra Digital.....	5
2.2 Citra biner dengan ukuran $h \times w$ <i>pixel</i> .....	6
2.3 Citra <i>greyscale</i> dengan ukuran $h \times w$ <i>pixel</i> .....	7
2.4 Citra RGB dengan ukuran $h \times w$ <i>pixel</i> .....	7
2.5 Spektrum Elektromagnetik.....	8
2.6 Contoh citra <i>visible</i> dan citra <i>nonvisible</i> .....	10
2.7 Titik-titik pada operator Prewitt.....	11
2.8 Susunan sel-sel <i>Cellular Automata</i> .....	13
2.9 Model Von Neuman <i>neighbourhood</i> .....	15
2.10 <i>Cellular Automata</i> dua dimensi .....	16
2.11 Citra Awal dan Histogramnya.....	19
2.12 Citra Hasil Perbaikan HE dan Histogramnya.....	19
3.1 Citra Inframerah .....	21
3.2 <i>Flowchart</i> langkah-langkah penelitian.....	24

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
4.1 Pengaruh parameter $\alpha$ terhadap citra hasil dengan $t = 5$ .....	38
4.2 Pengaruh iterasi ( $t$ ) terhadap citra hasil dengan $\alpha = 0,6$ .....	40
4.3 Perhitungan manual Histogram Equalization .....	43
4.4 Hasil perbaikan citra menggunakan metode HE .....	44
4.5 Hasil program pada beberapa citra inframerah .....	47



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kemajuan teknologi pada saat ini sudah berkembang pesat, salah satunya pada bidang pengolahan dan perbaikan kualitas citra. Kualitas dari sebuah citra dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi kamera, kondisi alam maupun faktor pengguna pada saat proses citra itu diambil yang dapat membuat kualitas citra yang dihasilkan kurang baik, misalnya seperti terdapat *noise* pada suatu citra, citra yang terlalu terang atau gelap, citra buram atau kabur dan sebagainya. Saat ini kualitas citra yang buruk dapat diatasi dengan perbaikan kualitas citra. Perbaikan kualitas citra bertujuan untuk memperbaiki kualitas dari suatu citra dengan cara memanipulasi parameter-parameter citra dan ciri-ciri khusus yang terdapat didalam citra lebih ditonjolkan sehingga akan didapat kualitas citra yang lebih baik dari sebelumnya. Kebanyakan penelitian mengajukan beberapa metode baru terkait perbaikan citra yang mudah diterapkan dan memiliki pengaruh yang signifikan untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan pada citra, tetapi metode-metode tersebut tidak semuanya bisa diterapkan pada berbagai kondisi citra. Contohnya meskipun suatu metode perbaikan citra dapat diterapkan dengan baik pada permasalahan citra inframerah, belum tentu metode tersebut akan cocok diterapkan pada permasalahan citra lain, karena tiap metode memiliki spesialisasi dan batasan tersendiri.

Saat ini kamera inframerah banyak digunakan untuk mendeteksi objek yang sulit terlihat dengan mata manusia ataupun dengan kamera biasa, karena radiasi sinar inframerah memiliki panjang gelombang yang lebih panjang dari cahaya tampak lainnya. Berbeda dengan kamera biasa yang menangkap sinyal dari sinar tampak, kamera inframerah menggunakan radiasi inframerah untuk menangkap pancaran radiasi inframerah dari objek. Setiap benda yang memiliki temperatur pastinya memancarkan radiasi sinar inframerah maka dari itu kamera inframerah dapat digunakan untuk mendeteksi semua benda dalam keadaan apapun. Citra inframerah dipilih pada penelitian ini karena peranannya yang sangat penting pada berbagai bidang mulai dari kesehatan, konstruksi,

kependudukan, pertanian, industri, militer dan sebagainya. Kamera inframerah banyak digunakan untuk kepentingan keamanan seperti kamera CCTV yang dipasang pada persimpangan jalan raya atau pada gedung-gedung tertentu. Kamera inframerah dapat digunakan untuk menangkap gambar dalam keadaan gelap maupun terang atau dapat dikatakan keadaan cahaya di sekitar objek tidak berpengaruh pada kamera inframerah. Selain kelebihan yang sudah disebutkan, citra inframerah memiliki beberapa kekurangan seperti memiliki kualitas yang kurang baik, misalnya terdapat *outlier* seperti *noise*, kontras yang rendah dan tepian gambar yang buram, maka dari itu perbaikan kualitas pada citra inframerah sangat diperlukan untuk memperjelas detail objek pada gambar agar dapat lebih mudah untuk dideteksi atau dikenali.

Beberapa penelitian tentang perbaikan kualitas citra inframerah sudah pernah dilakukan, salah satunya adalah yang dilakukan oleh Zhang, dkk (2014) yang menggunakan distribusi gradien domain baru berdasarkan metode visualisasi untuk citra inframerah dan menghasilkan kinerja yang baik pada beberapa citra inframerah. Menurut Ashiba, dkk (2015), *histogram equalization* atau perataan histogram memegang peranan yang penting dalam perbaikan kontras citra dan mereka berhasil menerapkan *contrast limited adaptive histogram equalization* untuk peningkatan kualitas citra inframerah. *Cellular Automata* pertama kali diusulkan oleh John Von Neuman yang digunakan untuk memperoleh evolusi biologis *self-reproduction* secara sederhana. Qin (2015) berhasil mengaplikasikan *Cellular Automata* menjadi *saliency detection* yaitu sebagai pendeteksi objek yang menonjol (*salient*) atau objek utama pada sebuah citra.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, penulis tertarik untuk menggunakan metode *histogram equalization* dan menggunakan distribusi gradien untuk selanjutnya diproses dengan metode *Cellular Automata* untuk perbaikan citra inframerah. *Cellular Automata* digunakan untuk mengeksploitasi hubungan antara daerah yang penting (daerah yang perlu diperbaiki) dan daerah yang tidak penting (daerah yang tidak perlu diperbaiki) atau background gambar yang terdapat pada citra inframerah. Selanjutnya diterapkan metode iterasi yang ada pada *Cellular Automata* untuk meng-update status (*state*) setiap sel dari

model *Cellular Automata*. Diharapkan detail penting pada citra inframerah akan disempurnakan secara efektif dengan metode ini. *Histogram Equalization* juga digunakan untuk memperbaiki kontras citra inframerah agar hasilnya dapat dibandingkan dengan metode *Cellular Automata* untuk diketahui metode mana yang memiliki hasil yang lebih baik untuk diterapkan pada citra inframerah.

## 1.2 Rumusan Masalah

Adapun masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

- a. bagaimana melakukan perbaikan citra inframerah dengan metode *Cellular Automata* dan metode *Histogram Equalization* ?
- b. bagaimana perbandingan citra inframerah hasil perbaikan dengan metode *Cellular Automata* dan metode *Histogram Equalization* menggunakan *Linear Index of Fuzziness* ?

## 1.3 Tujuan

Tujuan yang diinginkan dari penelitian ini adalah:

- a. melakukan perbaikan citra inframerah dengan metode *Cellular Automata* dan metode *Histogram Equalization* yang diharapkan dapat memperbaiki kualitas citra inframerah.
- b. untuk mengetahui perbandingan hasil perbaikan dengan metode *Cellular Automata* dengan metode *Histogram Equalization* sehingga dapat mengetahui kelebihan dan kekurangan metode yang diteliti.

## 1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah dapat memberikan tambahan pengetahuan kepada pembaca tentang perbaikan citra inframerah dengan metode *Cellular Automata* dan *Histogram Equalization*. Menghasilkan kualitas citra inframerah yang lebih baik dari sebelumnya setelah dilakukan proses perbaikan citra dengan metode *Cellular Automata* dan *Histogram Equalization* serta mengetahui metode mana yang akan menghasilkan citra inframerah keluaran yang lebih baik.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Citra

Secara harfiah, citra (*image*) adalah gambar pada bidang dimensi dua. Ditinjau dari sudut pandang matematis, citra merupakan fungsi menerus (*continue*) dari intensitas cahaya pada bidang dimensi dua. Sumber cahaya menerangi objek, objek memantulkan kembali sebagian dari berkas cahaya. Pantulan cahaya ini ditangkap oleh alat-alat optik, seperti mata pada manusia, kamera, pemindai (*scanner*) dan lain-lain sehingga bayangan objek dalam bentuk citra dapat terekam, atau dapat dikatakan citra merupakan suatu representasi (gambaran), kemiripan, atau imitasi dari suatu objek. Citra sebagai keluaran suatu sistem perekaman data dapat bersifat optik berupa foto, bersifat analog berupa sinyal-sinyal video seperti gambar pada monitor televisi, atau bersifat digital yang dapat langsung disimpan pada suatu media penyimpanan (Sutoyo, 2009).

#### 2.1.1 Citra Digital

Sebuah citra digital adalah kesatuan dari sekumpulan beberapa kotak-kotak persegi dari sebuah titik yang diatur dalam  $m$  baris dan  $n$  kolom. Dimana  $m \times n$  merepresentasikan nilai dari resolusi gambar, dan titik yang ada dalam gambar disebut sebagai *pixel*. Secara umum citra dibagi menjadi dua macam yaitu citra kontinu dan citra diskrit. Citra kontinu adalah citra yang dihasilkan dari sistem optik yang menerima sinyal analog, misalnya mata manusia dan kamera analog. Sedangkan citra diskrit adalah citra yang dihasilkan melalui proses digitalisasi terhadap citra kontinu dan direpresentasikan sebagai sebuah matriks yang masing-masing elemennya merepresentasikan nilai identitas (Salomon, 2007).

*Pixel* pada citra digital mempunyai dua parameter, yaitu koordinat dan intensitas warna. Nilai yang terdapat pada koordinat  $(x, y)$ , yaitu besar intensitas warna dari *pixel* di titik itu. Sehingga citra digital dapat ditulis dalam bentuk matriks sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & \dots & f(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

Berdasarkan matriks tersebut, citra digital dapat dituliskan sebagai fungsi intensitas  $f(x,y)$ , di mana harga  $x$  (baris) dan  $y$  (kolom) merupakan koordinat posisi dan  $f(x,y)$  adalah nilai fungsi pada setiap titik  $(x,y)$  yang menyatakan besar intensitas citra atau disebut dengan tingkat keabuan dari *pixel* di titik tersebut. Nilai  $f(x,y)$  dari suatu citra digital berada pada skala keabuan 0 sampai  $L-1$ . Skala keabuan 0 biasanya digunakan untuk menyatakan intensitas hitam, sementara  $L-1$  menyatakan warna paling terang. Gambar (2.1) adalah citra paprika yang merupakan contoh dari citra digital berwarna (RGB). (Arymurthy, 1992).



Gambar 2.1 Citra Digital

Berdasarkan warna – warna penyusunnya, menurut Prijono dan Wijaya (2007) citra digital dapat dibagi menjadi tiga macam yaitu :

a. Citra Biner

Citra biner yaitu citra yang hanya terdiri atas dua warna, hitam dan putih. Oleh karena itu, setiap *pixel* pada citra biner cukup direpresentasikan dengan 1 *bit* yang dapat dilihat dalam Gambar (2.2) citra biner yang memiliki *pixel* dengan dua kemungkinan nilai, 0 atau 1 dengan 0 merepresentasikan warna hitam dan 1 merepresentasikan warna putih. Gambar (2.2) merupakan contoh dari citra biner.



Gambar 2.2 Citra biner dengan ukuran  $h \times w$  *pixel*

b. Citra *Grayscale*

Citra *grayscale* yaitu citra yang nilai *pixel*-nya mempresentasikan derajat keabuan atau intensitas warna hitam putih. Nilai paling rendah menunjukkan warna hitam dan nilai paling tinggi menunjukkan warna putih. Pada umumnya citra *grayscale* memiliki kedalaman *pixel* 8 bit (256 derajat keabuan) yaitu nilainya berkisar antara 0 sampai 255, meskipun ada juga citra *grayscale* yang kedalaman *pixel*-nya bukan 8 bit, misalnya 16 bit.

Citra *grayscale* merupakan citra satu kanal, dimana  $f(x, y)$  merupakan fungsi tingkat keabuan dari hitam ke putih. Intensitas  $f$  dari gambar hitam putih pada titik  $(x, y)$  disebut dengan tingkat atau nilai keabuan (*gray level*), yang dalam hal ini nilai keabuannya bergerak dari hitam ke putih.

Skala keabuan pada citra digital merupakan bilangan bulat yang dimulai dari 0 sampai  $2^n - 1$  (atau  $L - 1$ , dimana  $L = 2^n$  adalah banyaknya skala keabuan,  $n$  adalah kedalaman *pixel* dan  $L - 1$  adalah derajat keabuan maksimum). Perubahan nilai keabuan dari nilai yang kecil hingga nilai yang besar merepresentasikan nilai intensitas atau kecerahan warna yang akan dihasilkan pada tiap *pixel*, dengan kata lain semakin besar nilai keabuan maka warna yang dihasilkan juga semakin cerah, sehingga nilai keabuan 0 merepresentasikan warna hitam dan nilai keabuan  $L - 1$  merepresentasikan warna putih. Contoh citra *grayscale* dapat dilihat pada Gambar (2.3).



Gambar 2.3 Citra *grayscale* dengan ukuran  $h \times w$  *pixel*

c. Citra RGB

Citra RGB (citra warna *atau truecolor*) yaitu citra yang tersusun dari tiga kanal. Setiap kanal memiliki nilai *pixel* yang mempresentasikan warna – warna penyusunnya yaitu merah, hijau, dan biru. Sama seperti pada citra *grayscale*, nilai intensitas warna citra RGB tergantung pada kedalaman *pixel* yang digunakan. Gambar (2.4) merupakan contoh dari citra RGB.



Gambar 2.4 Citra RGB dengan ukuran  $h \times w$  *pixel*

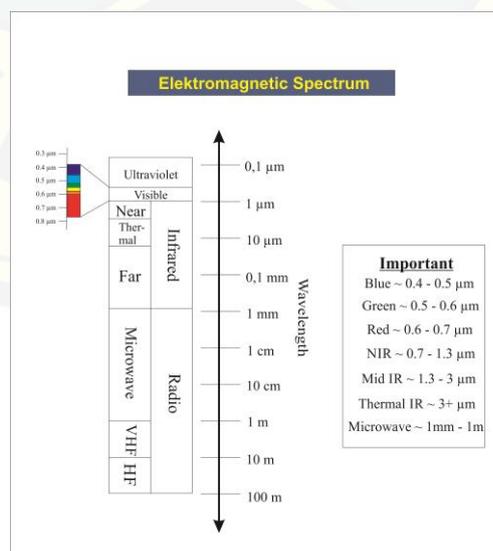
Intensitas di setiap titik pada citra berwarna merupakan kombinasi dari tiga intensitas, yaitu:

- 1) nilai keabuan merah ( $f_r(x, y)$ );
- 2) nilai keabuan hijau ( $f_g(x, y)$ );
- 3) nilai keabuan biru ( $f_b(x, y)$ );

### 2.1.2 Citra Inframerah

Citra menurut gelombang elektromagnetik dapat dibedakan menjadi citra *visible* dan citra *nonvisible*. Citra *visible* merupakan citra yang dihasilkan dari gelombang elektromagnetik sinar tampak atau sinar yang dapat dilihat oleh mata manusia tanpa alat bantu apapun, sedangkan citra *nonvisible* merupakan citra yang dihasilkan dari gelombang elektromagnetik selain sinar tampak yang tidak dapat dilihat oleh mata manusia seperti sinar *x-ray*, sinar inframerah, sinar *gamma* dan sebagainya. Contoh dari citra *visible* yaitu citra digital yang dihasilkan oleh kamera biasa (dapat berupa citra biner, citra *grayscale* dan citra RGB), sedangkan untuk citra *nonvisible* salah satu contohnya adalah citra digital yang dihasilkan dari kamera *X-ray* dan kamera inframerah. (Gonzales, 2008)

Inframerah adalah radiasi elektromagnetis yang berada pada rentang 700 nm – 1000  $\mu\text{m}$ . Radiasi inframerah dipancarkan oleh setiap benda yang memiliki temperatur yang berada di atas suhu nol mutlak. Manusia tidak dapat menggunakan mata telanjang untuk melihat langsung radiasi ini, namun dapat dirasakan sebagai panas. Radiasi ini dapat ditemui sehari-hari dalam wujud panas dari matahari, api atau dari tubuh manusia. Radiasi inframerah mengandung informasi yang dapat mewakili kondisi atau karakteristik suatu benda, yang ditunjukkan oleh perbedaan pada suhu permukaan (Chandra, 2015). Gambar (2.5) memperlihatkan bagian-bagian gelombang spektrum elektromagnetik.



Gambar 2.5 Spektrum Elektromagnetik (Sumber: Syah, 2010)

Inframerah ditemukan secara tidak sengaja oleh Sir William Herschell, astronom kerajaan Inggris ketika sedang mengadakan penelitian mencari bahan penyaring optik yang akan digunakan untuk mengurangi kecerahan gambar matahari dalam tata surya teleskop. Setiap benda pasti memancarkan radiasi sinar inframerah. Jumlah sinar inframerah yang dipancarkan bergantung pada suhu dan warna benda. Jenis-jenis inframerah berdasarkan panjang gelombang:

- a. Inframerah jarak dekat dengan panjang gelombang  $0,75 - 1,5 \mu\text{m}$
- b. Inframerah jarak menengah dengan panjang gelombang  $1,50 - 10 \mu\text{m}$
- c. Inframerah jarak jauh dengan panjang gelombang  $10 - 100 \mu\text{m}$

Sinar inframerah memiliki panjang gelombang yang lebih panjang dari sinar tampak, tetapi lebih pendek dari radiasi gelombang radio. Inframerah berarti "bawah merah" (dari bahasa Latin *infra* adalah "bawah"), merah merupakan warna dari cahaya tampak dengan gelombang terpanjang. Karakteristik dari sinar inframerah adalah sebagai berikut (Arif,2010):

- a. tidak dapat dilihat oleh manusia
- b. tidak dapat menembus materi yang tidak tembus pandang
- c. Panjang gelombang pada inframerah memiliki hubungan yang berlawanan atau berbanding terbalik dengan suhu. Ketika suhu mengalami kenaikan, maka panjang gelombang mengalami penurunan.

Citra inframerah merupakan citra yang dihasilkan dari gelombang elektromagnetik inframerah. Berbeda dengan kamera biasa yang menangkap gambar pada gelombang sinar tampak, kamera inframerah memanfaatkan sensor radiasi dari inframerah dan dianggap lebih efektif untuk malam hari atau dalam keadaan gelap dikarenakan kamera ini menangkap radiasi inframerah yang dipancarkan tiap objek yang ada, sehingga bentuk dan keadaan objek akan tergambar dengan jelas meski tidak ada cahaya sedikitpun. Kebanyakan yang digunakan adalah radiasi inframerah *thermal*, karena inframerah *thermal* mendeteksi objek berdasarkan suhu objek sekalipun objek tersebut memiliki suhu sangat dingin sehingga hasilnya akan lebih akurat. Terdapat dua jenis citra inframerah *thermal* yaitu citra inframerah hitam putih dan citra inframerah berwarna. Pada penelitian ini, yang akan dipakai adalah citra inframerah hitam

putih, berikut adalah contoh citra, Gambar (2.6 (a)) citra visible (RGB) dan Gambar (2.6 (b)) menunjukkan citra inframerah hitam putih.



Gambar 2.6 Contoh citra *visible* dan citra *nonvisible* (Sumber: Hwang, 2015)

## 2.2 Pendeteksian Tepi (*Edge Detection*)

Tepi dalam citra adalah perubahan nilai intensitas derajat keabuan yang mendadak (besar) dalam jarak yang singkat, perbedaan intensitas inilah yang menampilkan detail dari sebuah citra. Tepi pada citra mencirikan batas-batas objek yang sangat berguna untuk proses identifikasi objek dalam citra. Karena peranannya yang penting, operasi pendeteksian tepi dilakukan untuk meningkatkan penampakan garis batas atau detail dari suatu objek dalam citra. pendeteksian tepi akan sangat membantu untuk proses perbaikan selanjutnya pada citra yang memiliki masalah terlalu gelap, terlalu terang dan citra *blurring*, dimana nilai intensitas tepi dan *background* hampir sama yang menyebabkan tepi citra sulit untuk diidentifikasi.

Terdapat beberapa teknik yang digunakan untuk mendeteksi tepi, salah satunya yaitu operator gradien pertama (*differential gradient*). Pendeteksian tepi menggunakan operator gradient pertama dilakukan dengan menghitung turunan pertama (*gradient*) dari citra terhadap arah-x dan arah-y dan kemudian dicari nilai magnitudo dari gradient yang merupakan kekuatan tepi pada citra. Terdapat beberapa operator lain yang menjadi bagian dari operator gradient pertama yaitu, operator selisih terpusat (*center-difference*), operator sobel, operator prewitt dan

operator Robert. Operator yang akan dipakai untuk mendeteksi tepi pada penelitian ini adalah Operator Prewitt.

Operator Prewitt adalah magnitudo dari gradient yang dihitung dengan Persamaan (2.1) dimana turunan parsial  $s_x$  dan  $s_y$  dinyatakan dengan Persamaan (2.2) dan (2.3),

$$G[f(x, y)] = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad (2.1)$$

$$s_x = (a_2 + ca_3 + a_4) - (a_0 + ca_7 + a_6) \quad (2.2)$$

$$s_y = (a_0 + ca_1 + a_2) - (a_6 + ca_5 + a_4) \quad (2.3)$$

pengaturan *pixel* untuk operator prewitt dapat dilihat pada Gambar (2.7).

$a_0$	$a_1$	$a_2$
$ca_3$	(x,y)	$ca_4$
$a_5$	$a_6$	$a_7$

Gambar 2.7 Titik-titik pada Operator Prewitt

Berdasarkan Gambar (2.7), Persamaan (2.2) dan (2.3) dengan konstanta  $c = 2$ , bentuk *mask*  $S_x$  da  $S_y$  dapat dinyatakan sebagai matriks pada Persamaan (2.4),

$$S_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ dan } S_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

selanjutnya untuk mendapatkan matriks tepi  $g(x, y)$ , dilakukan operasi pengambangan (*threshold*) dengan Persamaan (2.5) untuk mendeteksi suatu *pixel* merupakan tepi atau bukan tepi,

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & G[f(x, y)] \geq T \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.5)$$

pada Persamaan (2.5), T adalah nilai ambang yang dicari dengan rumus tertentu sesuai dengan kebutuhan penelitan, *pixel* tepi dinyatakan dengan 1 (putih) sedangkan *pixel* bukan tepi dinyatakan dengan 0 (hitam). Hasil dari Persamaan

(2.5) adalah matriks  $g(x, y)$  yang merupakan hasil pendeteksian tepi menggunakan operator Prewitt. (Munir, 2004).

Nilai ambang Threshold (T) pada penelitian ini dicari menggunakan metode Global Thresholding. Menurut Jin-Won (2013), untuk mendapatkan hasil tepi yang lebih detail nilai ambang T dicari dengan algoritma berikut:

- 1) Menentukan nilai threshold awal dengan Persamaan (2.6)

$$T = \frac{\max(f(x,y)) + \min(f(x,y))}{2} \quad (2.6)$$

- 2) Memisahkan citra menjadi 2 region ( $M1$  dan  $M2$ ) berdasarkan nilai *threshold* awal dengan persamaan berikut,

$$M1 = \begin{cases} G1(x, y) \rightarrow G1 < T1 \\ 0 \rightarrow \text{lainnya} \end{cases} \text{ dan } M2 = \begin{cases} G1(x, y) \rightarrow G1 \geq T1 \\ 0 \rightarrow \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.7)$$

- 3) Menghitung rata-rata dari  $M1$  dan  $M2$ , misal  $m1$  dan  $m2$
- 4) Menghitung rata-rata dari langkah 3 dengan Persamaan (2.8)

$$T2 = \frac{\text{mean}(M1) + \text{mean}(M2)}{2} \quad (2.8)$$

- 5) Ulangi langkah 2 sampai 4 hingga tidak ada perubahan pada nilai  $T2$
- 6) Nilai  $T2$  yang paling akhir akan digunakan untuk mendeteksi tepi.

### 2.3 Metode Cellular Automata

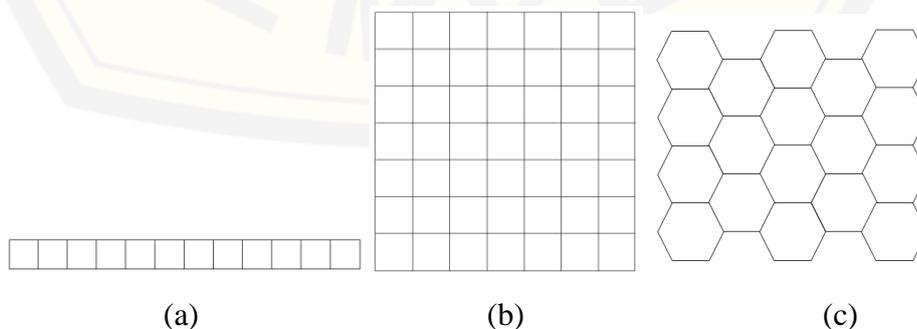
*Cellular Automata* (CA) diperkenalkan pertama kali oleh John Von Neumann pada tahun 1948 yang digunakan untuk memperoleh evolusi biologis *self-reproduction* secara sederhana. Joh Von Neumann mendefinisikan *Cellular Automata* sebagai suatu sistem diskrit dan dinamis yang memodelkan permasalahan yang kompleks berdasarkan prinsip penyederhanaan dan aturan lokal dalam sel-sel yang membentuk kisi-kisi (Tsfatsion, 2005). Stephen Wolfram mendefinisikan CA adalah matematika sederhana yang menggambarkan suatu sistem alam (Wolfram, 1983). *Cellular Automata* merepresentasikan suatu sistem sebagai sekumpulan sel yang berinteraksi sesuai aturan tertentu. Di samping kesederhanaan strukturnya, CA juga dapat digunakan untuk memperlihatkan fenomena kompleks yang dinamis dan dapat menerangkan berbagai macam proses dan sistem fisik.

*Cellular Automata* terdiri dari sel-sel yang seragam dan tetap dalam satu, dua atau  $n$ -dimensi array. Secara umum yang digunakan adalah CA satu atau dua dimensi karena kesulitan dalam memvisualisasikan dengan dimensi yang lebih tinggi. Sel-sel tersebut merupakan representasi dari sistem fisik dan masing-masing sel memiliki nilai atau yang disebut dengan status (*state*). Sel-sel tersebut akan berinteraksi secara lokal dengan sel-sel tetangganya. *State* tiap sel akan diperbarui secara serentak pada tiap *time-step* berdasarkan kondisi sel itu sendiri dan sel-sel tetangganya pada *time-step* sebelumnya. Algoritma yang digunakan untuk menghitung kondisi dari sel pada *time-step* selanjutnya ditentukan oleh suatu aturan-aturan yang disebut fungsi transisi. Biasanya fungsi transisi yang sama diterapkan pada semua sel pada sebuah *Cellular Automata*.

Secara umum terdapat empat unsur pembentuk *Cellular Automata*, tetapi ada juga yang menyatakan bahwa terdapat unsur pembentuk CA yang kelima yaitu status awal sel, sehingga unsur-unsur pembentuk CA adalah sebagai berikut (Riski, 2011).

a. Geometri

Geometri adalah bentuk sel serta bentuk sistem yang disusun oleh sel-sel tersebut. Geometri CA terdiri atas dimensi CA tersebut (1-dimensi, 2-dimensi, dst), dan bentuk geometri dari masing-masing sel penyusunnya. Citra memiliki bentuk geometri 2 dimensi segi empat sesuai dengan bentuk *pixel* pada citra. Gambar (2.8) (a) merupakan bentuk 1 dimensi segiempat, (b) merupakan bentuk 2 dimensi segiempat dan (c) merupakan bentuk dua dimensi segi enam.



Gambar 2.8 Susunan sel-sel *Cellular Automata*

b. Status (*State*) Sel

Status sel adalah himpunan keadaan atau status yang dapat dimiliki oleh masing-masing sel CA tersebut. Status dapat berupa angka maupun sifat tertentu. Status sel yang dipakai untuk masing-masing sel pada penelitian ini yaitu berupa nilai gradien setiap *pixel* citra inframerah. Status sel juga dapat dinyatakan dengan nilai kumulatif atau *Cumulative Distribution Function* (CDF) berdasarkan nilai gradien yang dimodifikasi dengan Persamaan (2.9) sebagai status sel, dari persamaan tersebut nilai CDF dicari berdasarkan nilai gradien tiap *pixel* secara horizontal dan vertikal ( $C_x$  dan  $C_y$ ) disimbolkan dengan  $u$  dan  $v$  yang dicari dengan Persamaan (2.10) dan nilai  $uu$  dan  $vv$  dicari dengan Persamaan (2.11),

$$C_{new}^1 = \frac{u+v}{2} \quad (2.9)$$

$$\{u, v\} = \begin{cases} u + \frac{v-u}{2} & , uu^2 \geq vv^2 \\ v - \frac{v-u}{2} & , \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.10)$$

$$uu = C_x - \exp\left(u + \frac{v-u}{2}\right) \text{ dan } vv = C_y - \exp\left(v - \frac{v-u}{2}\right) \quad (2.11)$$

dimana  $C_x$ ,  $C_y$  adalah nilai CDF berdasarkan arah  $x$  dan  $y$ , untuk iterasi pertama, nilai  $u = 0$  dan  $v = 1$ . (Qi, 2016)

Penulis pada penelitian ini menerapkan Persamaan (2.9) sampai (2.11) sebagai Persamaan untuk mencari status sel, hanya saja terdapat sedikit perubahan, jika pada Persamaan (2.11) menggunakan gradient  $x$  dan  $y$  untuk mengupdate status sel, pada penelitian ini, penulis menggunakan nilai gradient hasil deteksi tepi hasil dari Persamaan (2.5), sehingga untuk mendapatkan status sel, digunakan Persamaan (2.12) berikut,

$$c(x, y) = \begin{cases} \frac{u+1}{2} + \frac{1}{4} & \rightarrow u^2(x, y) \geq T4 \\ \frac{u+1}{2} & \rightarrow \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.12)$$

dimana  $T4$  didapat dari Persamaan (2.8), nilai  $u^2$  diperoleh dari Persamaan (2.14) dan nilai  $u$  diperoleh dari Persamaan (2.13) berdasarkan nilai gradient hasil deteksi tepi, untuk iterasi pertama ditetapkan nilai  $u_{lama} = 0$  dan untuk

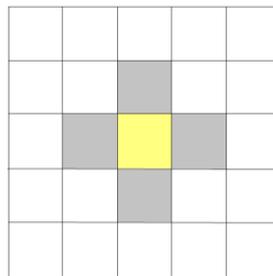
iterasi kedua dan seterusnya nilai  $u_{lama}$  adalah hasil nilai  $u_{baru}$  dari iterasi sebelumnya.

$$u_{baru}(x, y) = \begin{cases} g(x, y) - \exp(u_{lama} + \left(\frac{1-u_{lama}}{2}\right)) & \rightarrow g(x, y) \geq T3 \\ u & \rightarrow \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.13)$$

$$u^2(x, y) \quad (2.14)$$

c. *Neighbourhood*

*Neighbourhood* adalah sel-sel yang dapat mempengaruhi status suatu sel pada CA. Umumnya *neighbourhood* suatu sel hanya meliputi sel-sel yang berada disekitarnya. Salah satu contoh dari *neighbourhood* CA dua dimensi adalah Von Neumann *neighbourhood* (Gambar (2.9)). Suatu sel (warna kuning) pada model Von Neumann *neighbourhood* dikelilingi oleh empat sel tetangga yang berada pada arah utara, timur, selatan dan barat. Selain itu *neighbourhood* pada CA juga bisa terdapat pada himpunan sell CA lain yang saling bersesuaian. *Neighbourhood* pada penelitian ini adalah matriks-matriks sel yang saling bersesuaian  $c1$  dan  $c2$  yang dicari dari Persamaan (2.12).



Gambar 2.9 Model Von Neuman *neighbourhood* pada *Cellular Automata*

d. Fungsi Transisi

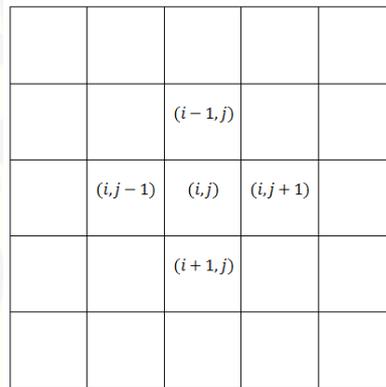
Fungsi transisi adalah aturan yang menentukan bagaimana status suatu sel berubah berdasarkan status sel tersebut sekarang dan status tetangganya. Fungsi transisi diterapkan terhadap semua sel secara serentak (*parallel*). Pada umumnya fungsi transisi yang sama diterapkan kepada semua sel.

Status dari suatu sel untuk *time-step*  $t + 1$  dihitung berdasarkan suatu fungsi transisi  $\delta$  dari status sel tersebut dan status dari sel-sel tetangganya pada *time-step*  $t$ . Sebagai ilustrasi, misalkan terdapat sebuah *Cellular Automata* dua

dimensi seperti pada Gambar (2.10), pada contoh ini sel  $(i, j)$  mempunyai delapan sel tetangga yang berdekatan. Fungsi transisi *Cellular Automata* yang akan digunakan untuk menghitung sel  $(i, j)$  pada *time-step*  $t + 1$  merupakan fungsi dari status sel  $(i, j)$  itu sendiri dan status sel-sel tetangganya pada *time-step*  $t$ . Jadi,

$$C_{i,j}^{t+1} = \delta(C_{i-1,j}^t, C_{i,j-1}^t, C_{i,j}^t, C_{i,j+1}^t, C_{i+1,j}^t) \quad (2.15)$$

dimana  $C_{i,j}^t$  dan  $C_{i,j}^{t+1}$  adalah status sel  $(i, j)$  pada *time-step*  $t$  dan  $t + 1$ . (Ilachinski, 2001)



Gambar 2.10 *Cellular Automata* dua dimensi

Persamaan (2.16) merupakan fungsi transisi yang digunakan untuk mendapatkan meng-*update* status sel pada penelitian ini.

$$C^{t+1} = \text{mean}(I) + I(\alpha c1^t + (1 - \alpha)c2^t) \quad (2.16)$$

$\text{Mean}(I)$  pada Persamaan (2.16) merupakan rata-rata dari matriks awal citra, nilai  $\alpha$  merupakan parameter yang digunakan untuk mengatur kedalaman sel  $c1$  dan  $c2$  yang bernilai antara 0 sampai 1. (Wei, 2016)

e. Status Awal Sel

Status awal sel adalah *state* yang dimiliki oleh masing-masing sel pada saat sistem mulai berjalan. Dalam simulasi menggunakan *Cellular Automata* status awal sel dapat dibangkitkan secara random. Misalkan pada penelitian ini, status awal sel  $c1$  dapat berupa matriks gradien citra tepi yang diperoleh dari Persamaan (2.1) dan untuk status awal sel  $c2$  dihitung dengan Persamaan (2.17).

$$g_2(x, y) = 1 - g(x, y) \quad (2.17)$$

Cellular Automata juga memiliki karakteristik-karakteristik umum sebagai berikut (Ilachinski,2001):

- Bentuk geometri sel diskrit, yaitu geometrinya berbentuk  $n$ -dimensi array  $(1, \dots, n)$ ,
- Homogenitas artinya semua sel adalah ekuivalen,
- Status sel diskrit, artinya status sel tetap berupa salah satu himpunan terbatas keadaan diskrit,
- Interaksi local, artinya sel hanya berinteraksi dengan sel-sel yang menjadi tetangganya (lingkungan lokal),
- Dinamik diskrit, artinya status sebuah sel akan berubah dalam satuan waktu diskrit yang perubahannya telah diatur oleh sebuah fungsi transisi yang diterapkan pada sel tersebut dimana fungsi tersebut telah didefinisikan dengan memperhatikan status sel tersebut dan status sel tetangganya.

*Cellular Automata* terdiri dari lima unsur pembentuk atau dapat dituliskan sebagai 5 pasangan (tupel)  $(L, Q, N, \delta, C_0)$  dimana:

$L$ : Adalah geometri *Cellular Automata* yaitu bentuk sel serta bentuk sistem yang disusun oleh sel-sel tersebut dengan  $d$  adalah dimensi dari bentuk geometri tersebut.

$Q$ : Himpunan berhingga status sel.

$N$ : Himpunan sel yang mempengaruhi status sel pada langkah berikutnya dengan  $n$  adalah jumlah sel tetangga (*neighbours*) yang mempengaruhi sel tersebut dan  $r$  adalah jari-jari *neighbourhood*.

$\delta$ : Fungsi transisi yang diterapkan pada sistem untuk setiap *time-step*. Pada tiap *time-step* fungsi diterapkan serentak pada semua sel. *Input* fungsi ini adalah status dirinya dan status sel tetangganya. Sehingga fungsi transisi dapat didefinisikan seperti pada Persamaan (2.7),

$$\delta: Q^{n+1} \rightarrow Q \quad (2.18)$$

dimana  $Q$  adalah status sel pada *time-step* ke- $t+1$  dan  $Q^{n+1}$  adalah himpunan status sel tersebut dan status sel-sel tetangganya pada *time-step* ke- $t$ .

$C_0$ : Kondisi awal sel, kondisi awal merupakan himpunan yang berisi status tiap-tiap sel dari *Cellular Automata* pada *time-step* ke-0 atau pada waktu sistem mulai berjalan. (Riski, 2011)

#### 2.4 Metode *Histogram Equalization*

Histogram citra memberikan informasi tentang penyebaran intensitas *pixel-pixel* di dalam citra. Misalnya, citra yang terlalu terang atau terlalu gelap memiliki penyebaran intensitas *pixel* yang tidak merata dan histogram yang sempit. Metode *Histogram Equalization* atau perataan histogram adalah proses perataan histogram citra dengan mengubah nilai keabuan suatu *pixel* menjadi nilai keabuan baru yang berbeda dari aslinya melalui suatu proses transformasi. Perataan histogram merupakan salah satu metode untuk perbaikan kontras citra yang sering digunakan untuk menyebarkan nilai intensitas pada citra yang terlalu terang atau terlalu gelap dan memiliki histogram yang sempit menjadi histogram dengan *pixel* yang berdistribusi seragam sehingga diperoleh penyebaran histogram yang merata (Ashiba, 2015).

Langkah-langkah metode *Histogram Equalization* adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung histogram atau frekuensi setiap nilai keabuan  $n(k)$ .
- b. Menormalisasi setiap frekuensi dengan membagi nilai tersebut dengan jumlah seluruh *pixel*.

$$p(k) = \frac{n(k)}{k} \quad (2.19)$$

dengan  $k$  adalah derajat keabuan dan  $L - 1$  merupakan nilai derajat keabuan terbesar pada citra.

- c. Menghitung penjumlahan kumulatif dari histogram ternormalisir.

$$v(k) = \sum_{r=0}^{L-1} p(r_k) \quad (2.20)$$

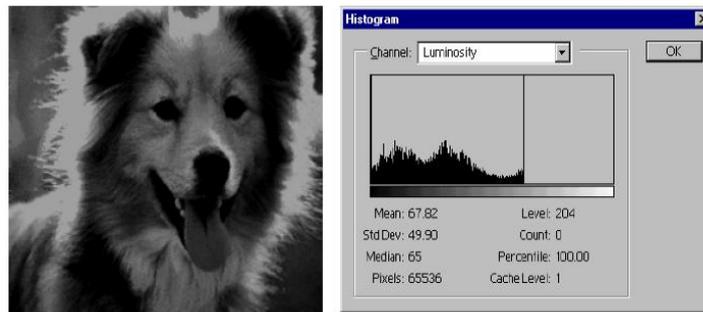
dimana  $L$  derajat keabuan.

- d. Memetakan tingkat keabuan citra masukan ke suatu tingkat keabuan citra keluaran berdasarkan  $s(k)$ .

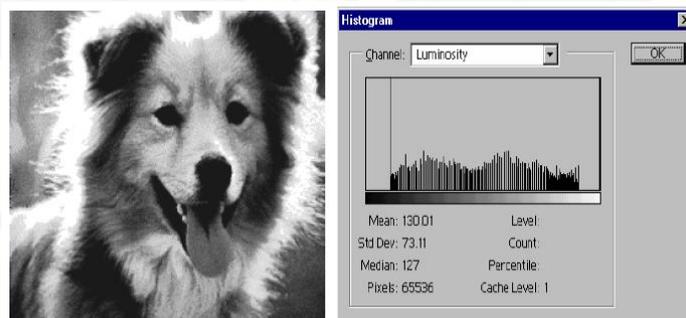
$$s(k) = \text{round}((L - 1)v(k)) \quad (2.21)$$

dimana  $L$  derajat keabuan.

Contoh dari hasil perbaikan citra menggunakan metode *Histogram Equalization* ditunjukkan pada Gambar (2.11) dan Gambar (2.12). Histogram pada Gambar (2.11) persebarannya cenderung berkelompok di sebelah kiri. Hal ini dikarenakan citra tersebut memiliki kontras yang terlalu gelap. Setelah dilakukan perbaikan menggunakan metode *Histogram Equalization*, didapat histogram baru seperti pada Gambar (2.12). Terlihat bahwa histogram dari citra menjadi lebih rata dan tidak berkelompok, gambar yang dihasilkan dari proses *Histogram Equalization* juga terlihat lebih baik dari sebelumnya, jika pada Gambar (2.11) citra terlalu gelap, dapat dilihat pada Gambar (2.12) citra yang dihasilkan terlihat lebih terang. (Munir, 2004).



Gambar 2.11 Citra awal dan histogramnya



Gambar 2.12 citra hasil perbaikan HE dan histogramnya

## 2.5 Linear Index of Fuzziness

Teori *fuzzy set* menetapkan suatu derajat keanggotaan ( $\mu_A$ ) kepada semua anggota dalam semesta berdasarkan potensinya untuk masuk ke dalam suatu kelas, dimana tidak ada pemisah yang jelas antar anggota yang termasuk pada suatu kelas ataupun 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. (Pramatasunu, 2016)

*Index of fuzziness* digunakan untuk menentukan nilai *fuzziness* atau ambiguitas suatu himpunan *fuzzy* dengan cara membandingkan derajat keanggotaannya dengan himpunan *crisp* terdekatnya. Himpunan *crisp* adalah himpunan yang menyatakan suatu objek merupakan anggota dari suatu himpunan, artinya objek tersebut memiliki nilai keanggotaan 0 atau 1, nilai 0 menandakan suatu objek bukan anggota himpunan sedangkan 1 menyatakan objek tersebut adalah anggota dari suatu himpunan. *Linear index of fuzziness* digunakan untuk menghitung nilai *index of fuzziness* sebagai pembanding beberapa metode perbaikan citra infamerah untuk mengetahui metode mana yang menghasilkan kualitas citra yang lebih baik. Arnold Kaufmann memperkenalkan *linear index of fuzziness* sebagai Persamaan (2.22),

$$\gamma = \frac{2}{M \times N} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n \min(\mu_{xy}, 1 - \mu_{mxy}) \quad (2.22)$$

dengan,

$$\mu_{xy} = \sin\left(\frac{\pi}{2} \times \left(1 - \frac{I_{ij}}{I_{max}}\right)\right) \quad (2.23)$$

dimana suatu citra dengan ukuran  $M \times N$ , dan mengkalkulasi kekaburan pada perbedaan nilai keanggotaan dan komplementnya. Nilai  $\mu_{xy}$  pada Persamaan (2.23) merupakan fungsi keanggotaan himpunan *fuzzy* dan nilai  $\gamma$  pada Persamaan (2.22) merepresentasikan ambiguitas (*fuzziness*) dalam suatu himpunan *fuzzy*. Semakin kecil nilai *index of fuzziness* maka semakin akan kecil ambiguitas antar anggota dalam suatu himpunan *fuzzy* sehingga semakin baik kualitas citra yang dihasilkan dari metode tersebut (Haubecker, 1999).

### BAB.3 METODE PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai data penelitian yang digunakan dan langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan.

#### 3.1 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu berupa 10 citra inframerah hitam putih dengan kedalaman 8 bit.



Gambar 3.1 Citra Inframerah (Sumber: Soonmin Hwang, dkk, 2015)

#### 3.2 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini, secara sistematis sebagai berikut

a. Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan dan mempelajari berbagai teori penunjang penelitian. Teori yang dipelajari meliputi algoritma *Histogram Equalization*, Cellular Automata dan teori penunjang lainnya. Studi literature dilakukan sebagai pedoman penelitian baik pengaplikasian dan analisis yang dilakukan. Selain itu studi literatur juga bertujuan agar lebih memahami teori-teori yang digunakan dalam penelitian ini.

b. Pengambilan sampel

Pengambilan sampel merupakan langkah untuk pengumpulan beberapa contoh citra yang digunakan dalam penelitian yang mana citra yang diambil merupakan citra foto inframerah hitam putih.

c. Penerapan metode untuk perbaikan citra

1) Membuat model Cellular Automata

Pada langkah ini dibuat model Cellular Automata dari citra inframerah sebagai 5-tupel  $(L, Q, N, \delta, C_0)$ , dimana:

L: Geometri sel, untuk citra, geometri sel berbentuk segi empat dua-dimensi.

Q: Himpunan berhingga status sel

N: Himpunan sel yang memengaruhi status setiap sel,

$\delta$ : Fungsi transisi yang akan digunakan untuk memperbarui status sel yang sesuai dengan tahapan perubahan status sel pada langkah 1 dan diterapkan secara bersamaan pada semua sel.

$C_0$ : keadaan awal sistem. Keadaan awal sistem berupa matriks citra tepi, berisi informasi kekuatan tepi citra yang ditentukan dengan nilai ambang T.

Langkah-langkah metode *Cellular Automata* untuk memperbaiki kualitas citra sebagai berikut:

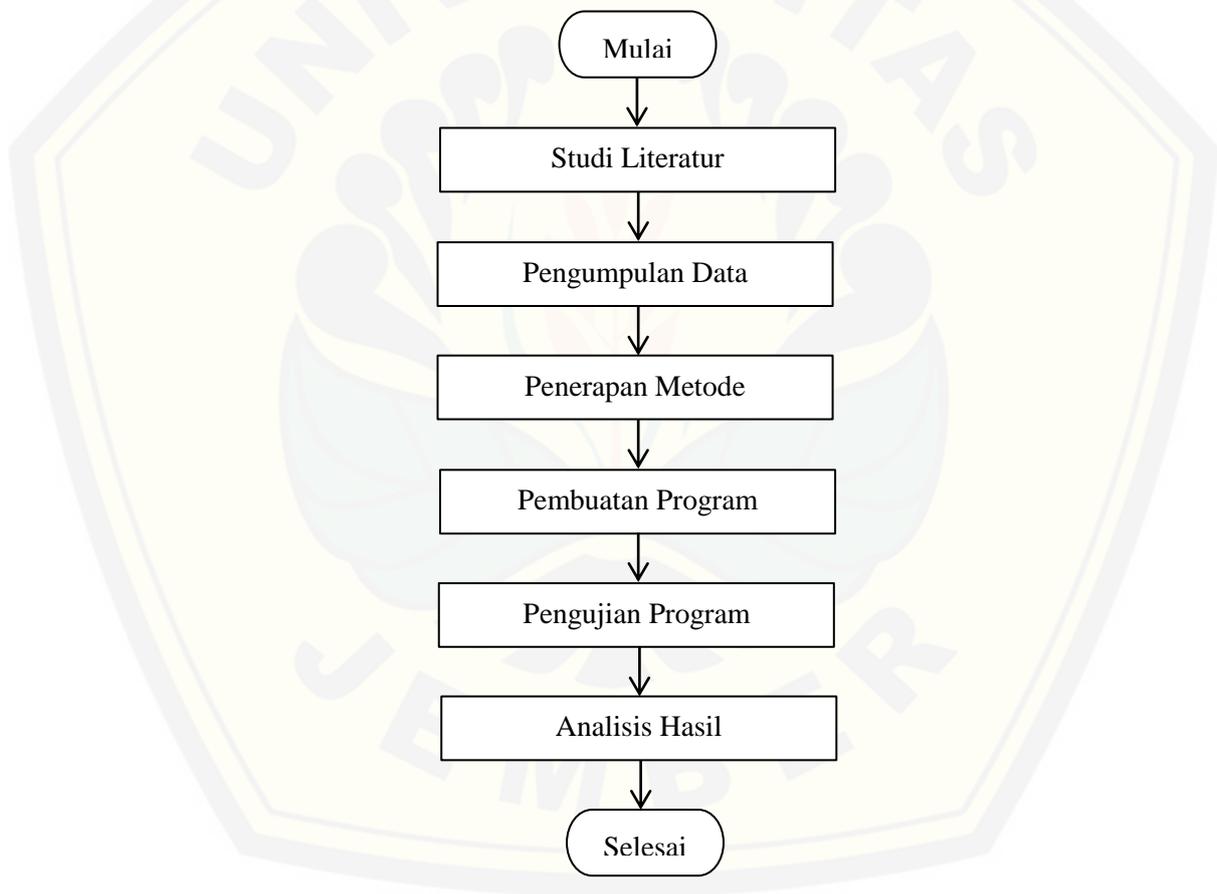
- a) masukkan citra yang akan diperbaiki
- b) mengkonvolusi citra dengan mask konvolusi pada Persamaan (2.4)
- c) menghitung magnitude gradien dengan Persamaan (2.1)
- d) menormalisasi hasil pada langkah (c)
- e) menghitung nilai ambang T (*threshold*) untuk menentukan citra tepi
- f) menentukan citra tepi dengan Persamaan (2.5) untuk status awal sel  
*Cellular Automata*
- g) menghitung nilai status sel *Cellular Automata* dengan Persamaan (2.12)
- h) melakukan fungsi transisi Cellular Automata berdasarkan Persamaan (2.16) dan diulang hingga mendapat hasil yang diinginkan.

- 2) Langkah-langkah metode *Histogram Equalization* untuk memperbaiki kualitas citra sebagai berikut:
  - a) Masukkan citra yang akan diperbaiki.
  - b) Menghitung histogram atau frekuensi setiap nilai keabuan  $n(k)$
  - c) Menormalisasi setiap frekuensi dengan menghitung  $p(k)$  menggunakan Persamaan (2.19)
  - d) Menghitung penjumlahan kumulatif dari histogram ternormalisir  $v(k)$  menggunakan Persamaan (2.20)
  - e) Memetakan tingkat keabuan citra masukan ke suatu tingkat keabuan citra keluaran berdasarkan  $s(k)$  seperti pada Persamaan (2.21).
- 3) Langkah-langkah perbandingan metode *Cellular Automata* dan Metode *Histogram Equalization* adalah sebagai berikut:
  - a) masukkan citra inframerah hasil metode *Cellular Automata* dan metode *Histogram Equalization*
  - b) menghitung nilai keanggotaan  $\mu_{xy}$  dengan Persamaan (2.23)
  - c) menghitung  $\gamma$  dari citra hasil perbaikan *Cellular Automata* dan *Histogram Equalization* dengan Persamaan (2.22)
  - d) membandingkan nilai  $\gamma$  yang diperoleh dari kedua metode. Nilai  $\gamma$  yang lebih kecil menunjukkan metode paling baik
- d. Pembuatan program  
Tahap pembuatan program akan dibuat desain sistem perbaikan citra terlebih dahulu sebelum pembuatan program pada MATLAB. Citra yang akan dimasukkan akan diproses dengan dua metode yang berbeda yaitu *Histogram Equalization* dan *Cellular Automata* yang nantinya akan menghasilkan dua buah citra yang berbeda. Selanjutnya dibuat program perbaikan citra menggunakan GUIDE (*Graphic User Interface Designer*) yang ada pada MATLAB.
- e. Pengujian program  
Pada tahap ini, program yang telah dibuat akan diujikan pada sampel-sampel citra yang telah dikumpulkan.

f. Analisis hasil

Pada tahap ini, citra hasil perbaikan menggunakan metode *Cellular Automata* akan dibandingkan dengan citra hasil perbaikan menggunakan metode *Histogram Equalization* dan keduanya akan dibandingkan juga dengan citra asli. Selanjutnya akan dihitung *Index Linear of Fuzziness* dari metode *Cellular Automata* dan *Histogram Equalization* untuk mengetahui metode mana yang memiliki kinerja yang lebih baik terhadap citra inframerah.

Langkah-langkah penelitian dalam diagram alur dapat dilihat pada Gambar (3.1) berikut.



Gambar 3.2 Flowchart langkah-langkah penelitian

## BAB.5 KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan dapat disimpulkan beberapa hal dibawah ini:

- a. Citra hasil perbaikan dengan metode *Cellular Automata* dan *Histogram Equalization* secara visual terlihat lebih baik daripada citra asli. Citra asli yang awalnya terlalu gelap dapat terlihat lebih cerah tanpa membuat detail citra hilang setelah dilakukan proses perbaikan dengan metode CA.
- b. Secara visual, hasil perbaikan citra menggunakan metode *Cellular Automata* terlihat lebih baik dibanding dengan perbaikan menggunakan metode *Histogram Equalization*, karena meskipun citra hasil perbaikan HE lebih terang jika dibanding dengan CA, pada citra hasil dari metode HE terdapat beberapa detail citra yang hilang dan akan mengurangi informasi dari citra inframerah. Berbeda dengan metode CA, meskipun citra yang dihasilkan tidak terlalu terang akan tetapi detail citra tetap dipertahankan. Berdasarkan *Linear Index of Fuzziness*, sebuah metode dikatakan lebih baik jika menghasilkan citra dengan nilai  $\gamma$  lebih kecil, jika dilihat dari hasil  $\gamma$  dari kedua metode, metode *Cellular Automata* tidak selalu lebih baik dibanding dengan *Histogram Equalization*, karena pada beberapa citra didapati nilai  $\gamma$  dari metode *Histogram Equalization* malah lebih kecil dari metode *Cellular Automata*, hal ini disebabkan oleh kondisi masing-masing citra inframerah.

### 5.2 Saran

Saran dari peneliti untuk selanjutnya, agar bisa diteliti lagi tentang perbaikan citra menggunakan metode *Cellular Automata* agar didapat hasil kontras dan brightness serta dapat mengurangi timbulnya *noise* yang lebih baik dan agar nilai *Linear Index of Fuzziness* dari CA bisa semakin kecil, bisa juga dilakukan variasi dalam menentukan status sel dan fungsi transisi agar didapat hasil yang lebih baik.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Syah, A. F. 2010. Penginderahan Jarak Jauh dan Aplikasinya di Wilayah Pesisir dan Lautan. *Jurnal Kelautan*. 3(1): 23.
- Arif, M. 2011. Pengendalian Bahan Radiasi Elektromagnetik di tempat Kerja, Radiasi Elektromagnetik, Higiene Industri. *Skripsi*. Jakarta: Universitas Esa Unggul.
- Arymurthy, A. M dan S. Setiawan. 1992. *Pengantar Pengolahan Citra*. Jakarta:PT. Elex Media Komputindo.
- Ashiba, H. I., H. M. Mansour, M. F. El-Kordy, dan H. M Ahmed. 2015. A New Approach for Contrast Enhancement of Infrared Images Based on Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization. *Applied Mathematics and Information Sciences Letters*. 3(3):123-125
- Chandra, A. H. 2015. Studi Awal Potensi Aplikasi Kamera Thermal Inframerah. *Skripsi*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Gonzales, R. C dan R. E. Woods. 2008. *Digital Image Processing*. 3<sup>th</sup> edition. New Jersey: Pearson Education, Inc.
- Haubecker, H dan H. Tizhoosh. 1999. *Fuzzy Image Processing*. Germany: Academic Press.
- Ilachinski, A. 2001. *Cellular Automata: A Discrete Universe*. Singapore: World Scientific Publishing.
- Jin-Won, J., L. Sewon, H. H. Jung, dan B. K Ryul. 2013. Global Thresholding Algorithm Based on Boundary Selection. *International Conference on Control, Automation and System*.20(23)
- Munir, R. 2004. *Pengolahan Citra Digital dengan Pendekatan Algoritmik*, Bandung: Penerbit Informatika.
- Pramatasunu, G. Q. O., A. Z. Arifin, A. Yuniarti, A. Y. Wijaya, W. N. Khotimah, dan D.A. Navastara. 2016. Segmentasi Citra Panoramik Gigi Menggunakan Similaritas antar Gray Level Berdasarkan Index of Fuzziness. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*. 14(1): 84-85.
- Prijono, A dan M.C Wijaya. 2007. *Pengolahan Citra Digital menggunakan MATLAB*. Bandung: Informatika.

- Riski, A. 2011. Simulasi Arus Lalu Lintas Dengan *Cellular Automata*. *Skripsi*. Jember: Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Salomon, D. 2007. *Data Compression The Complete Reference*. 4<sup>th</sup> Edition. London: Springer-Verlag.
- Soonmin, H., P. Jaesik, K. Namil, C. Yukyung dan K. I. So. 2015. Multispectral Pedestrian Detection: Benchmark Dataset and Baseline. CVPR.
- Tesfatsion, L. Tanpa Tahun. *Cellular Automata: Basic Intro*. [Serial Online]. <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/CellularAutomataIntro.LT.pdf> [10 Februari2018]
- Wolfram, S. 1983. *Cellular Automata*. [Serial Online]. <http://www.stephen-wolfram.com/publications/academic/cellular-automata.pdf> [10 Februari 2018]
- Qi, W., J. Han, Y. Zhang, dan L. Bai. 2016. Infrared Image Enhancement Using Cellular Automata. *Infrared Physics and Technology*. 76: 684-690.
- Qin, Y., H. Liu, Y. Xu, dan H. Wang. 2015. Saliency Detection via Cellular Automata. *Vision Pattern Recogn. IEEE Comput*. 110-119.
- Zhang, F., W. Xie, G. Ma, dan Q. Qin. 2014. High Dynamic Range Compression and Detail Enhancement of Infrared images in the Gradient Domain. *Infrared Phys. Technol*. 67:441-454.

## LAMPIRAN

### Lampiran A. Script Program

#### Script *Histogram Equalization*

```
%HE
[rows,cols,chan]= size(handles.data);
if chan==3
    A=rgb2gray(handles.data);
else
    A=handles.data;
end
% I=imhist(A);
out=histeq(A);
axes(handles.axes3);
imshow(out);
set(handles.axes3, 'UserData',out);
```

#### Script *Cellular Automata*

```
%CA
alpha= str2num(get(handles.edit4, 'string'));
iter= str2num(get(handles.edit3, 'string'));
[rows,cols,chan]= size(handles.data);
if chan==3
    A2=rgb2gray(handles.data);
else
    A2=handles.data;
end
A=im2double(A2).*255;

Mx=[-1 0 1; -2 0 2; -1 0 1];
My=[1 2 1; 0 0 0; -1 -2 -1];
Gy=imfilter(A,My, 'symmetric');
Gx=imfilter(A,Mx, 'symmetric');
grad1=sqrt(Gx.^2+Gy.^2);

% Global threshold
mmax=max(max(grad1));
mmin=min(min(grad1));
T=(mmax+mmin)/2;
T=(T./mmax);% normalisasi threshold
grad2=grad1./mmax;% normalisasi citra

[r c]=size(grad2);
an=1;
while an<=100
    for ii=1:r
        for jj=1:c
```

```

        if grad2(ii,jj)<T
            M1(ii,jj)=grad2(ii,jj);
        else
            M2(ii,jj)=grad2(ii,jj);
        end
    end
end
miu1=mean2(M1);
miu2=mean2(M2);
T=(miu1+miu2)/2;
an=an+1;
end

for ii=1:r
    for jj=1:c
        if grad2(ii,jj)<T
            grad(ii,jj)=0;
        else
            grad(ii,jj)=1;
        end
    end
end

%uu
celluc1= zeros(rows,cols);
celluc2= zeros(rows,cols);
rat=mean2(A);
for m= 1:iter
    max1=max(max(grad));
    min1=min(min(grad));
    T1=(max1+min1)/2;
    for i= 1:rows
        for j= 1:cols
            if grad(i,j) >= T1
                uu1(i,j)=grad(i,j)-exp((1-celluc1(i,j))/2);
            else
                uu1(i,j)= celluc1(i,j);
            end
        end
    end
end
uu2c1= uu1.^2;
maxu=max(max(uu2c1));
minu=min(min(uu2c1));
s= (maxu+minu)/2;
for i= 1:rows
    for j= 1:cols
        if uu2c1(i,j) >= s
            cellbarc1(i,j)=((celluc1(i,j)+1)/2)+(1/4);
        else
            cellbarc1(i,j)= (celluc1(i,j)+1)/2;
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    celluc1=cellbarc1;

    grad3=1-grad;
    max2=max(max(grad3));
    min2=min(min(grad3));
    T2=(max2+min2)/2;
    for i= 1:rows
        for j= 1:cols
            if grad3(i,j) >= T2
                uu2(i,j)=grad3(i,j)-exp((1-celluc2(i,j))/2);
            else
                uu2(i,j)= celluc2(i,j);
            end
        end
    end
    uu2c2= uu2.^2;
    maxu2=max(max(uu2c2));
    minu2=min(min(uu2c2));
    s2= (maxu2+minu2)/2;
    for i= 1:rows
        for j= 1:cols
            if uu2c2(i,j) >= s2
                cellbarc2(i,j)=((celluc2(i,j)+1)/2)+(1/4);
            else
                cellbarc2(i,j)= (celluc2(i,j)+1)/2;
            end
        end
    end
    celluc2=cellbarc2;
    %iterasi
    for i=1:rows
        for j=1:cols
            rat1(i,j)=rat;
        end
    end
    for i=1:rows
        for j=1:cols
            c1(i,j)= A(i,j)*(alpha.*cellbarc1(i,j));
            c2(i,j)= A(i,j)*((1-alpha).*cellbarc2(i,j));
            c3(i,j)= c1(i,j)+c2(i,j);
        end
    end
    CA=(rat1+c3);
end
axes(handles.axes2);
imshow(uint8(CA));
set(handles.axes2, 'UserData', CA);

```

**Script Linear Index of Fuzziness**

```
guidata(hObject,handles);
I=double(get(handles.axes2,'UserData'));
[rows cols chan]= size(I);
maxi=max(max(max(I)));
for i= 1:rows
    for j= 1:cols
        fxy(i,j)=sin((pi/2)*(1-(I(i,j)/maxi)));
        f2(i,j)=min(fxy(i,j),(1-fxy(i,j)));
    end
end
for i= 1:rows
    for j= 1:cols
        f3(i,j)=min(fxy(i,j),f2(i,j));
    end
end
g=(2/(rows*cols))*sum(sum(sum(f3)));
set(handles.text7,'string',num2str(g));
```