

TESIS

**AKSELERASI PROSES INPAINTING DENGAN PERSAMAAN  
DIFERENSIAL PARSIAL ORDE KEEMPAT SECARA  
PARALEL PADA GPU CUDA**



EDWIN PRANANTA

No.Mhs: 135302086/PS/MTF

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INFORMATIKA

PROGRAM PASCASARJANA

UNIVERSITAS ATMAJAYA YOGYAKARTA

2015



UNIVERSITAS ATMAJAYA YOGYAKARTA

# PROGRAM PASCASARJANA

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INFORMATIKA

## PENGESAHAN TESIS

Nama : EDWIN PRANANTA  
Nomor Mahasiswa : 135302086/PS/MTF  
Konsentrasi : Soft Computing  
Judul Thesis : AKSELERASI PROSES INPAINTING DENGAN  
PERSAMAAN DIFERENSIAL PARSIAL ORDE  
KEEMPAT SECARA PARALEL PADA GPU  
CUDA

| Nama Penguji                                        | Tanggal        | Tanda Tangan |
|-----------------------------------------------------|----------------|--------------|
| (Ketua)<br>Dr. Pranowo, ST, MT                      | 11/10/15       |              |
| (Sekretaris)<br>Ir. A. Djoko Budiyanto, M.Eng. Ph.D | 11/10/15       |              |
| (Anggota)<br>Dr. Ir. Alb. Joko Santoso, MT          | 6 Oktober 2015 |              |

Ketua Program Studi

UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
PROGRAM PASCASARJANA

Prof. Ir. Suyoto, M.Sc., Ph.D.

## SURAT PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Edwin Prananta

Nomor Mahasiswa : 135302086

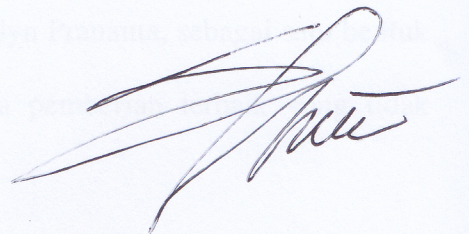
Jurusan : Magister Teknik Informatika

Konsentrasi : Soft Computing

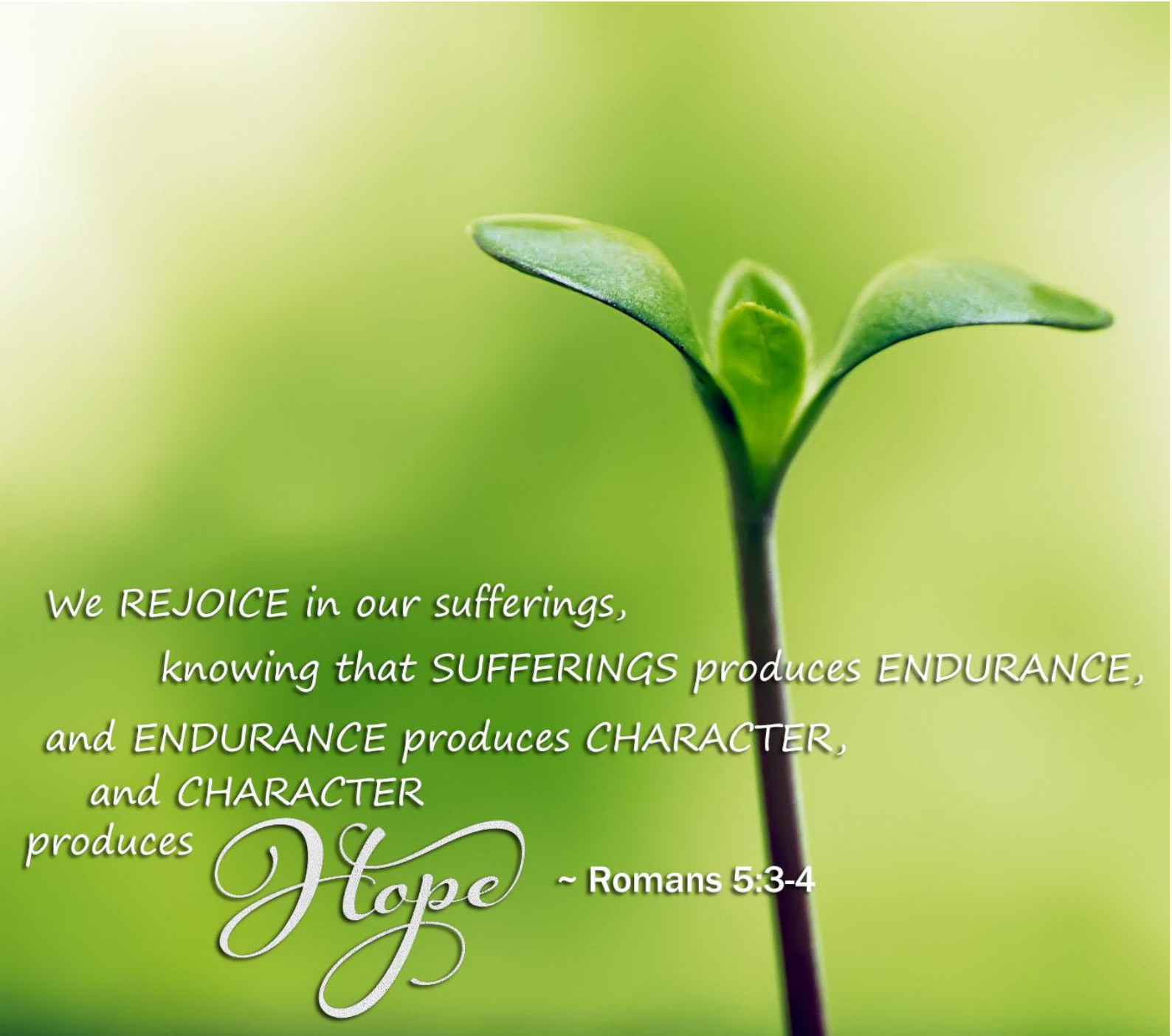
Judul Tesis : AKSELERASI PROSES INPAINTING DENGAN  
PERSAMAAAN DIFERENSIAL PARSIAL ORDE  
KEEMPAT SECARA PARALEL PADA GPU CUDA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis ini adalah benar-benar karya tulis saya dan bukan merupakan karya orang lain atau bajakan dari karya tulis orang lain. Semua sumber baik yang dikutip dan dirujuk telah saya nyatakan dengan benar dengan menyebutkan sumber asli di dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 3 Agustus 2015



Edwin Prananta



We REJOICE in our sufferings,  
knowing that SUFFERINGS produces ENDURANCE,  
and ENDURANCE produces CHARACTER,  
and CHARACTER  
produces *Hope* ~ Romans 5:3-4

Tesis ini saya persembahkan kepada Ayah saya, Hartono dan Ibu saya, Iwiyanti, serta Istri saya, Fanny Chandra Kristina dan anak saya, Kimberly Evelyn Prananta, sebagai satu bentuk terima kasih atas doa, motivasi, kepercayaan, dan semua pemberian terbaik yang tidak mungkin bisa saya balas sampai kapanpun.

Yogyakarta, September 2015

## INTISARI

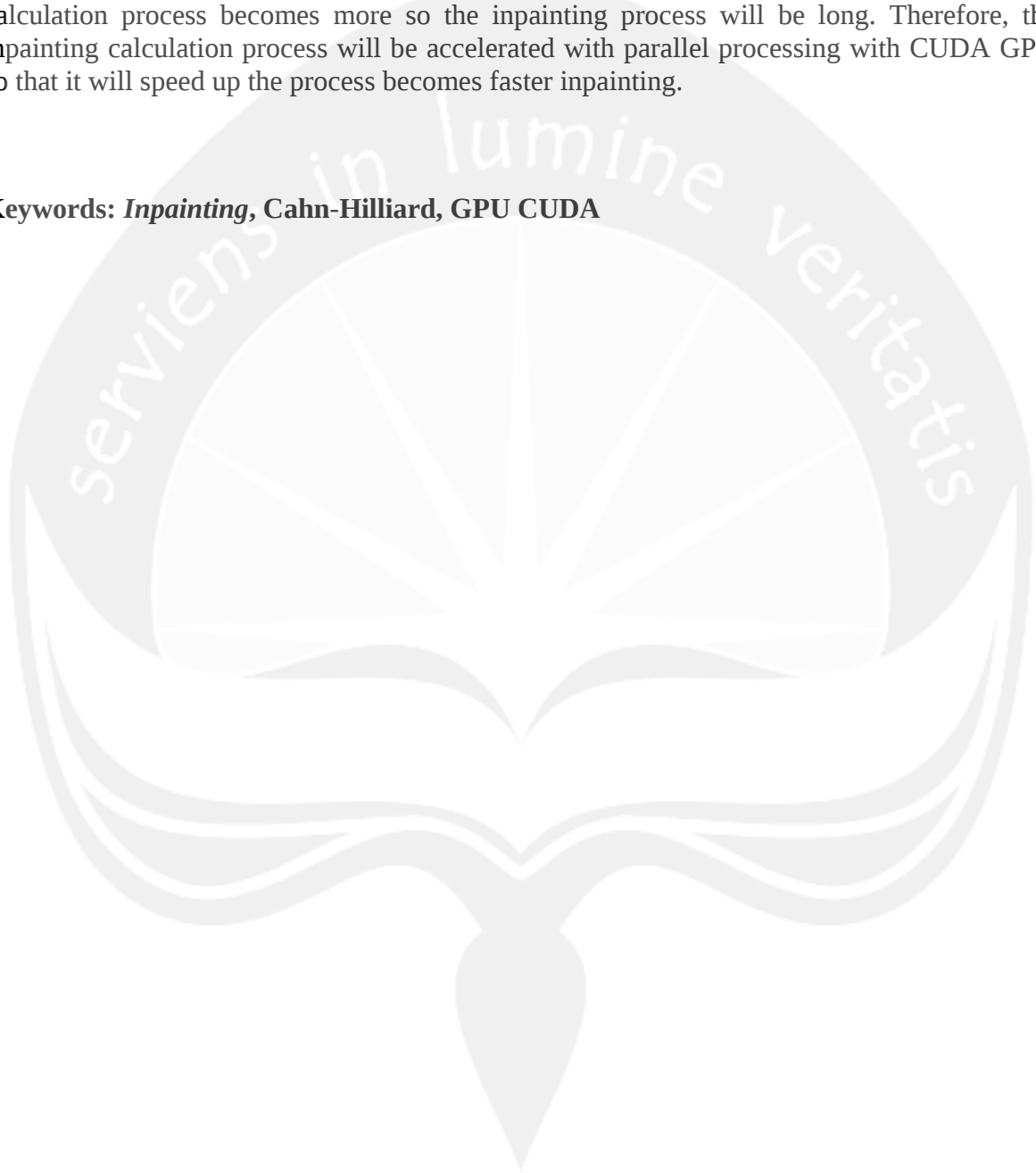
Proses *inpainting* adalah proses memperbaiki area citra yang rusak maupun citra yang kurang sempurna. Dalam memperbaiki citra dapat dilakukan dengan bantuan algoritma Cahn-Hilliard . Algoritma Cahn-Hilliard biasa digunakan untuk perhitungan dari reaksi difusi orde empat untuk memodelkan phase separation. Sudah ada penelitian yang membuktikan algoritma ini dapat digunakan untuk proses *inpainting*. Namun jika gambar yang akan diperbaiki berukuran besar, maka proses perhitungan menjadi lebih banyak sehingga proses *inpainting* akan menjadi lama. Oleh karena itu proses kalkulasi *inpainting* tersebut akan dipercepat dengan pemrosesan secara paralel dengan GPU CUDA sehingga akan mempercepat proses *inpainting* menjadi lebih cepat.

**Kata-kata kunci :** *Inpainting*, Cahn-Hilliard, GPU CUDA

## ABSTRACT

Inpainting process is the process of repairing a damaged area of ideals and the image is less than perfect. In the image fixing can be done with the help of algorithms Cahn-Hilliard. Cahn-Hilliard algorithm used for the calculation of the diffusion reaction of the order of four to model phase separation. There have been studies that prove this algorithm can be used to process inpainting. However, if the image to be corrected is large, then the calculation process becomes more so the inpainting process will be long. Therefore, the inpainting calculation process will be accelerated with parallel processing with CUDA GPU so that it will speed up the process becomes faster inpainting.

**Keywords:** *Inpainting*, Cahn-Hilliard, GPU CUDA



## KATA PENGANTAR

Puji syukur, hormat, dan kemuliaan hanya bagi Tuhan Yesus Kristus yang memungkinkan segala yang baik terjadi. Hanya berkat kasih karunia, penyertaan dan perkenanan Tuhan akhirnya Laporan Tesis dengan judul ‘Akselerasi proses Inpainting dengan Persamaan Diferensial Parsial Orde Keempat secara paralel pada GPU CUDA’ dapat penulis selesaikan.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Magister Teknik Informatika Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Dengan penuh rasa syukur karena telah menerima banyak bimbingan, dukungan dan bantuan, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada segenap pihak yang telah berkontribusi dengan penuh ketulusan, keikhlasan, dan kesetiaan hingga tesis ini dapat diselesaikan dengan baik. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada beberapa pihak yang sangat membantu dalam penyelesaian tesis ini, antara lain :

1. Bapak Prof. Ir. Suyoto, M.Sc., Ph.D selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Informatika Program Pascasarjana Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah memberikan baik ilmu dan motivasi selama menempuh pendidikan.
2. Bapak Dr. Pranowo, S.T, M.T. selaku pembimbing I dan Bapak Ir. Djoko Budiyo, M.Eng., Ph.D. selaku pembimbing II yang telah memberikan waktu, ilmu, bimbingan, arahan, dan saran dari awal penyusunan tesis ini sampai dengan selesai.
3. Bapak Dr. Ir. Alb. Joko Santoso, MT selaku dosen penguji yang telah memberikan ilmu selama masa pendidikan serta ide dan masukan yang bermanfaat bagi tesis ini.
4. Segenap Dosen Program Studi Magister Teknik Informatika yang telah memberikan ilmu dan motivasi selama pendidikan, serta Staf Administrasi dan *student staff* Kantor Administrasi Pasca Sarjana Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah memberikan bantuan dan pelayanan yang baik selama proses pendidikan.
5. Orang tua saya, Hartono dan Iwiyanti, yang senantiasa memberikan motivasi, doa, dan nasihat yang baik bagi penulis dalam menjalani kehidupan sehari-hari.
6. Mertua saya, Sujatno dan Anik, yang senantiasa memberikan motivasi, doa, dan nasihat yang baik bagi penulis dalam menjalani kehidupan sehari-hari.
7. Fanny Chandra Kristina, istri, yang dengan penuh kasih, kesabaran, dan kesetiaan selalu menemani, memberikan doa, dan motivasi untuk menyelesaikan penelitian ini.

8. Anak saya, Kimberly Evelyn Prananta, yang memberikan senyuman motivasi untuk menyelesaikan penelitian ini.
9. Saudaraku Andrie Ardhianto dan Visca Pamila Dewi yang memberikan motivasi untuk terus berusaha memberikan yang terbaik untuk menyelesaikan studi ini.
10. Rekan – rekan MTF Angkatan Januari 2014 atas bantuan, kebersamaan, semangat, saran, dan doa yang sudah diberikan.
11. Semua pihak baik saudara maupun teman yang telah membantu yang tidak bisa disebutkan satu per satu, sekali lagi penulis menyampaikan banyak terima kasih. Tuhan Yesus memberkati kita sekalian.

Penulis menyadari bahwa laporan tesis ini masih banyak memiliki kekurangan dan jauh dari sempurna. Oleh karena itu diharapkan adanya masukan, saran, atau kritik yang membangun agar penuli dapat menjadi lebih baik lagi di masa yang akan datang. Semoga pembaca sekalian memperoleh manfaat yang baik dari laporan tesis ini.

Yogyakarta, September 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                                               |             |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>JUDUL .....</b>                                                            | <b>i</b>    |
| <b>PENGESAHAN TESIS .....</b>                                                 | <b>ii</b>   |
| <b>SURAT PERNYATAAN .....</b>                                                 | <b>iii</b>  |
| <b>INTISARI .....</b>                                                         | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                                          | <b>vi</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                                    | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                                        | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                                                     | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                                     | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR PERSAMAAN .....</b>                                                 | <b>xiv</b>  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>                                                   | <b>xv</b>   |
| <b>DAFTAR SINGKATAN.....</b>                                                  | <b>xvi</b>  |
| <b>NOTASI DAN SIMBOL.....</b>                                                 | <b>xvii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>                                                 | <b>1</b>    |
| A.    LATAR BELAKANG.....                                                     | 1           |
| B.    RUMUSAN MASALAH.....                                                    | 4           |
| C.    TUJUAN PENELITIAN .....                                                 | 4           |
| D.    BATASAN MASALAH.....                                                    | 4           |
| E.    SISTEMATIKA PENULISAN .....                                             | 4           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>                                          | <b>6</b>    |
| A.    TINJAUAN PUSTAKA .....                                                  | 6           |
| 1. <i>Inpainting Citra Digital</i> .....                                      | 6           |
| 2. <i>Pemrosesan Paralel pada GPU</i> .....                                   | 7           |
| B.    LANDASAN TEORI .....                                                    | 8           |
| 1. <i>Citra digital</i> .....                                                 | 8           |
| 2. <i>PDP (Persamaan Diferensial Parsial)</i> .....                           | 9           |
| 3. <i>Metode Beda Hingga</i> .....                                            | 11          |
| 4. <i>Metode Spektral</i> .....                                               | 12          |
| 5. <i>Inpainting</i> .....                                                    | 14          |
| 6. <i>Persamaan PDP Orde keempat untuk inpainting</i> .....                   | 16          |
| 7. <i>Validasi Citra Digital</i> .....                                        | 17          |
| a. <i>Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) dan MSE (Mean Square Error)</i> ..... | 17          |
| b. <i>Structural Similarity Index Measure (SSIM)</i> .....                    | 18          |
| 8. <i>OpenCV</i> .....                                                        | 19          |

|                                            |                                                                |           |
|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------|
| 9.                                         | <i>Paralel Computing GPU CUDA</i> .....                        | 20        |
| 10.                                        | <i>Pengukuran Pemrosesan secara Paralel</i> .....              | 24        |
| a.                                         | <i>Latency</i> .....                                           | 24        |
| b.                                         | <i>Throughput</i> .....                                        | 24        |
| <b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> ..... |                                                                | <b>25</b> |
| A.                                         | <b>BAHAN PENELITIAN</b> .....                                  | <b>25</b> |
| 1.                                         | <i>Citra Foto kuno</i> .....                                   | 25        |
| 2.                                         | <i>Citra dengan Teks</i> .....                                 | 25        |
| 3.                                         | <i>Citra Persegi Panjang</i> .....                             | 26        |
| B.                                         | <b>ALAT PENELITIAN</b> .....                                   | <b>26</b> |
| 1.                                         | <i>Software</i> .....                                          | 27        |
| a.                                         | <i>Microsoft Visual Studio 2013</i> .....                      | 27        |
| b.                                         | <i>CUDA 7.0 Library</i> .....                                  | 27        |
| c.                                         | <i>OpenCV 2.4.10 Library</i> .....                             | 27        |
| d.                                         | <i>Sistem Operasi Windows 7 SP1</i> .....                      | 28        |
| 2.                                         | <i>Hardware</i> .....                                          | 28        |
| C.                                         | <b>LANGKAH - LANGKAH PENELITIAN</b> .....                      | <b>28</b> |
| 1.                                         | <i>Studi Pustaka</i> .....                                     | 29        |
| 2.                                         | <i>Perancangan Algoritma Software</i> .....                    | 29        |
| a.                                         | <i>Algoritma software pada CPU</i> .....                       | 29        |
| b.                                         | <i>Algoritma software pada GPU</i> .....                       | 31        |
| 3.                                         | <i>Pemrograman</i> .....                                       | 34        |
| a.                                         | <i>Implementasi CPU</i> .....                                  | 35        |
| b.                                         | <i>Implementasi GPU</i> .....                                  | 35        |
| 4.                                         | <i>Pengujian</i> .....                                         | 35        |
| 5.                                         | <i>Analisis</i> .....                                          | 36        |
| a.                                         | <i>Latency</i> .....                                           | 36        |
| b.                                         | <i>Throughput</i> .....                                        | 36        |
| c.                                         | <i>PSNR dan MSE</i> .....                                      | 36        |
| d.                                         | <i>SSIM</i> .....                                              | 36        |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....   |                                                                | <b>37</b> |
| A.                                         | <b>PENGANTAR</b> .....                                         | <b>37</b> |
| B.                                         | <b>PENGUJIAN DAN ANALISIS PADA CITRA GRAYSCALE</b> .....       | <b>38</b> |
| 1.                                         | <i>Pengujian pada Citra Grayscale</i> .....                    | 38        |
| 2.                                         | <i>Analisis pada Citra Grayscale</i> .....                     | 39        |
| C.                                         | <b>PENGUJIAN DAN ANALISIS PADA TEXT</b> .....                  | <b>41</b> |
| 1.                                         | <i>Pengujian pada Citra Text</i> .....                         | 41        |
| 2.                                         | <i>Analisis pada Citra Text</i> .....                          | 42        |
| D.                                         | <b>PENGUJIAN DAN ANALISIS PADA CITRA PERSEGI PANJANG</b> ..... | <b>44</b> |
| 1.                                         | <i>Pengujian pada Citra Persegi Panjang</i> .....              | 44        |
| 2.                                         | <i>Analisis pada Persegi Panjang</i> .....                     | 45        |
| E.                                         | <b>ANALISIS KUALITAS INPAINTING PADA GPU DAN CPU</b> .....     | <b>48</b> |

|                                        |           |
|----------------------------------------|-----------|
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b> | <b>50</b> |
| A. KESIMPULAN.....                     | 50        |
| B. SARAN .....                         | 50        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>             | <b>51</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                   | <b>54</b> |



## DAFTAR TABEL

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| Tabel 3.1. Spesifikasi Desktop PC.....               | 28 |
| Tabel 4.1. Latency Foto Kuno .....                   | 39 |
| Tabel 4.2. Throughput Foto kuno .....                | 40 |
| Tabel 4.3. Latency Text .....                        | 42 |
| Tabel 4.4. Througput Text .....                      | 43 |
| Tabel 4.5. Latency Persegi Panjang.....              | 46 |
| Tabel 4.6. Througput Persegi Panjang.....            | 46 |
| Tabel 4.7. Analisis Kualitas Citra Persegi CPU ..... | 48 |
| Tabel 4.8. Analisis kualitas Citra Persegi GPU ..... | 48 |
| Tabel 4.9. Analisis kualitas Citra Text CPU.....     | 49 |
| Tabel 4.10. Analisis kualitas Citra Text GPU.....    | 49 |

## DAFTAR GAMBAR

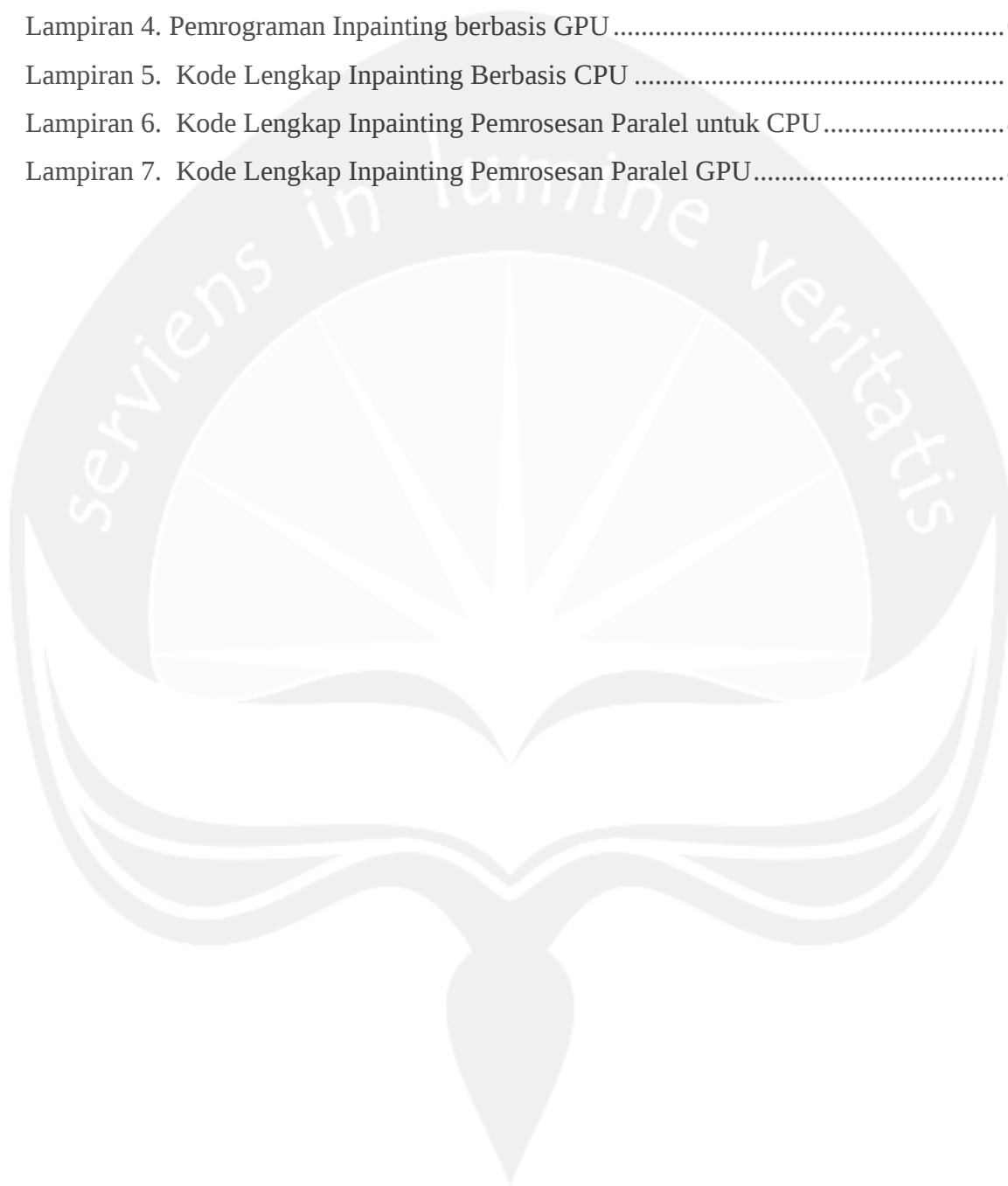
|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1. Fungsi identik $\sin\pi x$ dan $\sin 9\pi x$ ..... | 13 |
| Gambar 2.2. Perbandingan metode beda hingga dan spektral ..... | 14 |
| Gambar 2.3. Domain inpainting.....                             | 15 |
| Gambar 2.4. Perbedaan GPU dan CPU .....                        | 21 |
| Gambar 2.5. Pemetaan Thread, Block dan Grid .....              | 22 |
| Gambar 2.6. Arsitektur CUDA .....                              | 23 |
| Gambar 3.1. Citra foto kuno yang rusak.....                    | 25 |
| Gambar 3.2. Citra text yang rusak .....                        | 26 |
| Gambar 3.3. Citra persegi panjang rusak.....                   | 26 |
| Gambar 3.4. Flowchat langkah-langkah penelitian .....          | 29 |
| Gambar 3.5. Pseudocode Inpainting CPU .....                    | 30 |
| Gambar 3.6. Pseudocode Inpainting pada GPU.....                | 32 |
| Gambar 4.1. Foto kuno tanpa perbaikan.....                     | 38 |
| Gambar 4.2. Foto Kuno Iterasi GPU 500 .....                    | 38 |
| Gambar 4.3. Foto Kuno Iterasi GPU 1000 .....                   | 38 |
| Gambar 4.4 Foto Kuno Iterasi GPU 2000 .....                    | 38 |
| Gambar 4.5. Grafik Latency Foto Kuno .....                     | 40 |
| Gambar 4.6. Throughput Foto Kuno.....                          | 41 |
| Gambar 4.7. Text rusak.....                                    | 41 |
| Gambar 4.8. Text Iterasi GPU 1000 .....                        | 41 |
| Gambar 4.9. Text Iterasi GPU 25.000 .....                      | 41 |
| Gambar 4.10. Text Iterasi GPU 50.000 .....                     | 41 |
| Gambar 4.11. Latency Citra Text .....                          | 43 |
| Gambar 4.12. Througput citra Text .....                        | 44 |
| Gambar 4.13. Persegi Panjang Rusak .....                       | 44 |
| Gambar 4.14. Persegi Panjang Iterasi GPU 50.000 .....          | 44 |
| Gambar 4.15. Persegi Panjang Iterasi GPU 100.000 .....         | 45 |
| Gambar 4.16. Persegi Panjang Iterasi GPU 200.000 .....         | 45 |
| Gambar 4.17. Latency Persegi Panjang .....                     | 47 |
| Gambar 4.18. Througput Persegi Panjang .....                   | 47 |

## DAFTAR PERSAMAAN

|                    |    |
|--------------------|----|
| Persamaan 1 .....  | 2  |
| Persamaan 2 .....  | 9  |
| Persamaan 3 .....  | 10 |
| Persamaan 4 .....  | 10 |
| Persamaan 5 .....  | 10 |
| Persamaan 6 .....  | 11 |
| Persamaan 7 .....  | 11 |
| Persamaan 8 .....  | 12 |
| Persamaan 9 .....  | 12 |
| Persamaan 10 ..... | 12 |
| Persamaan 11 ..... | 12 |
| Persamaan 12 ..... | 12 |
| Persamaan 13 ..... | 13 |
| Persamaan 14 ..... | 13 |
| Persamaan 15 ..... | 13 |
| Persamaan 16 ..... | 14 |
| Persamaan 17 ..... | 16 |
| Persamaan 18 ..... | 16 |
| Persamaan 19 ..... | 16 |
| Persamaan 20 ..... | 18 |
| Persamaan 21 ..... | 18 |
| Persamaan 22 ..... | 18 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Lampiran 1. Pemrograman Secara Umum CPU .....                                 | 54 |
| Lampiran 2. Pemrograman Secara Umum GPU .....                                 | 56 |
| Lampiran 3. Pemrograman <i>Inpainting</i> berbasis CPU .....                  | 62 |
| Lampiran 4. Pemrograman <i>Inpainting</i> berbasis GPU .....                  | 67 |
| Lampiran 5. Kode Lengkap <i>Inpainting</i> Berbasis CPU .....                 | 78 |
| Lampiran 6. Kode Lengkap <i>Inpainting</i> Pemrosesan Paralel untuk CPU ..... | 83 |
| Lampiran 7. Kode Lengkap <i>Inpainting</i> Pemrosesan Paralel GPU .....       | 85 |



## DAFTAR SINGKATAN



|       |                                  |
|-------|----------------------------------|
| CPU   | Central Processing Unit          |
| GPU   | Graphics Processing Units        |
| GPGPU | General Purpose computing on GPU |
| PDP   | Persamaan Diferensial Parsial    |
| PDE   | Partial Differential Equation    |
| DFT   | Discrete Fourier Transform       |
| PSNR  | Peak Signal to Noise Ratio       |
| MSE   | Mean Squared Error               |
| SSIM  | Structural Similarity            |

## NOTASI DAN SIMBOL

|                                 |                                        |
|---------------------------------|----------------------------------------|
| $x$                             | Vektor <i>state</i> $x$                |
| $x_n$                           | <i>State</i> ke- $n$                   |
| $\in$                           | Anggota himpunan                       |
| $\subset$                       | subset                                 |
| $a$                             | topi, notasi taksiran populasi         |
| $\pi$                           | phi                                    |
| $\nabla$                        | Nabla untuk operasi Gradien, divergen, |
| $\Delta$                        | Laplasiian / delta                     |
| $\mathbb{R}$                    | Bilangan riil                          |
| $\mathbb{Z}$                    | Bilangan bulat                         |
| $(.)$                           | Penjumlahan dari nilai deret           |
| $(.)$                           | Integral                               |
| $\frac{dy}{dx}$                 | Turunan                                |
| $\frac{\partial y}{\partial x}$ | Turunan parsial                        |
| $\Omega$                        | Omega                                  |