

**SIMULASI GELOMBANG AIR DENGAN METODE FINITE
VOLUME BERBASIS PEMROGRAMAN PARALEL GPU CUDA**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Mencapai
Derajat Sarjana Teknik Informatika



Oleh:

Hugo Probo Gumelar
12 07 06883

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
2016**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Berjudul

SIMULASI GELOMBANG AIR DENGAN METODE FINITE VOLUME BERBASIS PEMROGRAMAN PARALEL GPU CUDA

Disusun Oleh :

Hugo Probo Gumelar

12 07 06883

Dinyatakan telah memenuhi syarat
pada tanggal : Juli 2016

Pembimbing I,



Dr. Pranowo, S.T., M.T.

Pembimbing II,



Eduard Rusdianto, S.T., M.T.

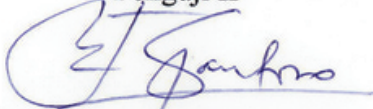
Tim Penguji :

Penguji I



Dr. Pranowo, S.T., M.T.

Penguji II



Dr. Ir. Alb. Joko Santoso, M.T.

Penguji III



B. Yudi Dwiandiyanta, S.T., M.T.

Yogyakarta, Juli 2016

Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Fakultas Teknologi Industri



Dekan,

FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI

Dr. Drs. A. Teguh Siswanto, M.Sc.

PERNYATAAN

Nama : Hugo Probo Gumelar
NPM : 120706883
Konsentrasi : *Soft Computing*
Judul Tugas Akhir : Simulasi Gelombang Air dengan Metode Finite Volume
Berbasis Pemrograman Paralel GPU CUDA

Menyatakan bahwa penelitian dalam tugas akhir ini adalah hasil karya pribadi dan bukan duplikasi dari karya tulis yang telah ada sebelumnya. Karya tulis yang telah ada sebelumnya dijadikan penulis sebagai acuan dan referensi untuk melengkapi penelitian serta dinyatakan secara tertulis dalam penulisan acuan dan daftar pustaka.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya.

Yogyakarta, Juli 2016

Hugo Probo Gumelar

“Life is Simple”

“freedom—the deepest in your mind”



INTISARI

Air memang sangat bermanfaat bagi kehidupan. Namun, pada kondisi tertentu air juga dapat membawa dampak yang merugikan, yaitu bencana hidrologi seperti banjir, longsor, tsunami, bendungan bobol, dan gelombang pasang. Sepanjang sejarahnya, begitu banyak manusia yang menjadi korban, kehilangan harta benda, kehilangan teman serta keluarga. Hal yang menjadi fokus perhatian yaitu cara untuk meningkatkan keselamatan publik serta cara untuk memprediksi besar kerusakan akibat bencana yang mungkin terjadi. Solusi nyata dapat dilakukan dengan membangun sistem peringatan dini serta membuat model dan simulasi berbasis komputer sains untuk mempelajari dan memahami fenomena aliran air.

Fokus pada penelitian ini yaitu membuat model dan simulasi gelombang air berbasis komputer sains. Untuk membuat simulasi yang cepat dengan skala/area yang lebih luas, dibutuhkan beban komputasi yang lebih besar pula. Salah satu solusi alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut yaitu menggunakan GPU untuk mempercepat proses. Simulasi ini memanfaatkan pemrograman paralel dengan GPU CUDA. Model persamaan yang digunakan adalah persamaan air dangkal. Sementara, metode penyelesaian numerik yang digunakan adalah *finite volume central-upwind*, diterapkan pada *mesh* segitiga tidak terstruktur.

Hasil dalam penelitian ini yaitu simulasi gelombang air disertai visualisasi grafis tiga dimensi. Dengan memanfaatkan *single-GPU* GeForce GTX 660 Ti keluaran NVIDIA, simulasi ini dapat berjalan lebih cepat hingga delapan kali lipat dibanding CPU. Adapun, proses validasi telah dilakukan dengan cara membandingkan antara hasil simulasi dan hasil percobaan eksperimental yang pernah dilakukan oleh Yeh dan Petroff. Di samping itu, visualisasi gelombang air dapat dijalankan secara *realtime* dengan memanfaatkan fitur VBO (Vertex Buffer Object) dan GLSL (OpenGL Shading Language).

Kata kunci: *finite volume, mesh segitiga, paralel GPU CUDA, persamaan air dangkal, simulasi, visualisasi tiga dimensi.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis berhasil menyelesaikan pembuatan tugas akhir ini dengan baik. Dalam melaksanakan tugas akhir, penulis mendapatkan banyak bantuan dari pihak-pihak yang mendukung penulis baik secara langsung ataupun tidak langsung. Untuk itu, dalam kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis, terutama secara khusus kepada:

1. Dr. Pranowo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing satu yang telah meluangkan banyak waktu dan tenaga untuk membimbing penulis selama melaksanakan tugas akhir.
2. Eduard Rusdianto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing dua yang telah membimbing dan memberikan saran kepada penulis selama melaksanakan tugas akhir.
3. Dr. Ir. Alb. Joko Santoso, M.T., selaku dosen penguji dua, yang telah menguji dan mengoreksi, serta memberikan banyak saran kepada penulis.
4. B. Yudi Dwiandiyanta, S.T., M.T., selaku dosen penguji tiga, mantan Ketua Prodi TF UAJY, serta dosen pembimbing akademik penulis, yang telah menguji dan membimbing penulis selama studi di UAJY.
5. Segenap dosen Teknik Informatika UAJY yang telah memberikan pengetahuannya kepada penulis sehingga penulis berhasil menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
6. Orang tua dan keluarga penulis, yang telah mendukung penulis dalam menjalankan tugas akhir, dalam hal finansial, dukungan mental maupun spiritual.
7. Segenap staf pengajar, karyawan, dan teknisi UAJY khususnya Prodi Teknik Informatika, yang telah membuat kegiatan akademik di kampus dapat berjalan dengan lancar.

8. Teman-teman yang selalu mendukung penulis saat melaksanakan tugas akhir maupun mendukung pada saat ujian pendadaran.
9. Semua teman-teman penulis, baik itu teman dekat penulis, teman kenal penulis, dan teman-teman lain yang telah memberi rasa dan warna bagi kehidupan penulis.
10. Semua yang tidak dapat sebutkan satu per satu, yang telah mendukung penulis hingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini belumlah sempurna. Oleh karena itu, penulis menerima segala kritik dan saran yang membangun. Akhir kata, penulis berharap agar tugas akhir ini dapat bermanfaat dan berarti bagi kehidupan kita.

Yogyakarta, Juli 2016
Penulis

Hugo Probo Gumelar

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
INTISARI.....	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR KODE	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah.....	8
1.3. Batasan Masalah.....	8
1.4. Tujuan Penelitian.....	8
1.5. Sistematika Penulisan.....	9
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	10
BAB 3 DASAR TEORI.....	13
3.1. Simulasi Komputasi Fluida Dinamis.....	13
3.2. Persamaan Diferensial Parsial	15
3.3. Bentuk Umum Hukum Konservasi	17
3.4. Persamaan Air Dangkal.....	22
3.5. Diskritisasi.....	24
3.6. Mesh	25
3.7. Topologi Mesh	27
3.8. Metode Finite Volume	29

3.8.1. Diskontinuitas.....	30
3.8.2. Gelombang Kejut.....	30
3.8.3. Skema Numerik pada Mesh Segitiga Tidak Terstruktur	32
3.8.4. Perhitungan Fluks dengan Central Upwind.....	35
3.8.5. Finite Volume Central-Upwind pada Mesh Segitiga Tidak Terstruktur untuk Persamaan Air Dangkal.....	36
3.9. Komputasi Paralel GPU CUDA	36
3.10. Model Pemrograman GPU CUDA.....	40
3.10.1. Manajemen Memori	40
3.10.2. Pengorganisasian Thread Eksekusi Kernel CUDA.....	41
3.11. Arsitektur dan Model Eksekusi GPU-NVIDIA	42
3.12. Visualisasi Grafis dengan OpenGL.....	43
3.13. Vertex Buffer Object	43
BAB 4 METODOLOGI PENELITIAN.....	45
4.1. Alat Penelitian	45
4.2. Langkah-langkah Penelitian	48
4.2.1. Studi Pustaka	49
4.2.2. Perancangan Algoritma	49
4.2.2.1. Tahap Pre-Processing	52
4.2.2.1.1. Inisialisasi Domain Spasial	53
4.2.2.1.2. Inisialisasi Kondisi	53
4.2.2.1.3. Inisialisasi dan Alokasi pada GPU	54
4.2.2.2. Tahap Processing.....	55
4.2.2.2.1. Algoritma <i>Finite Volume Central-Upwind pada Mesh Segitiga Tidak Terstruktur</i>	57
4.2.2.3. Tahap Post-Processing	63
4.2.3. Pengkodean.....	63
4.2.3.1. Implementasi Algoritma Inti Simulasi Paralel GPU	66
4.2.3.2. Implementasi Algoritma Inti Simulasi Serial CPU	69
4.2.4. Pengujian	70
4.2.5. Analisis dan Pembahasan	70

BAB 5 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	71
5.1. Hasil Model dan Simulasi Gelombang Air	71
5.1.1. Model Domain.....	71
5.1.2. Hasil Simulasi-Visualisasi Tiga Dimensi.....	75
5.1.2.1. Hasil pada Model 1.....	75
5.1.2.2. Hasil pada Model 2.....	78
5.2. Hasil Perbandingan Kecepatan GPU dan CPU	81
5.3. Hasil Uji Validasi	93
5.3.1. Uji Validasi.....	93
5.3.2. Hasil Uji.....	93
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	97
6.1. Kesimpulan.....	97
6.2. Saran	97
DAFTAR PUSTAKA	98
LAMPIRAN	104

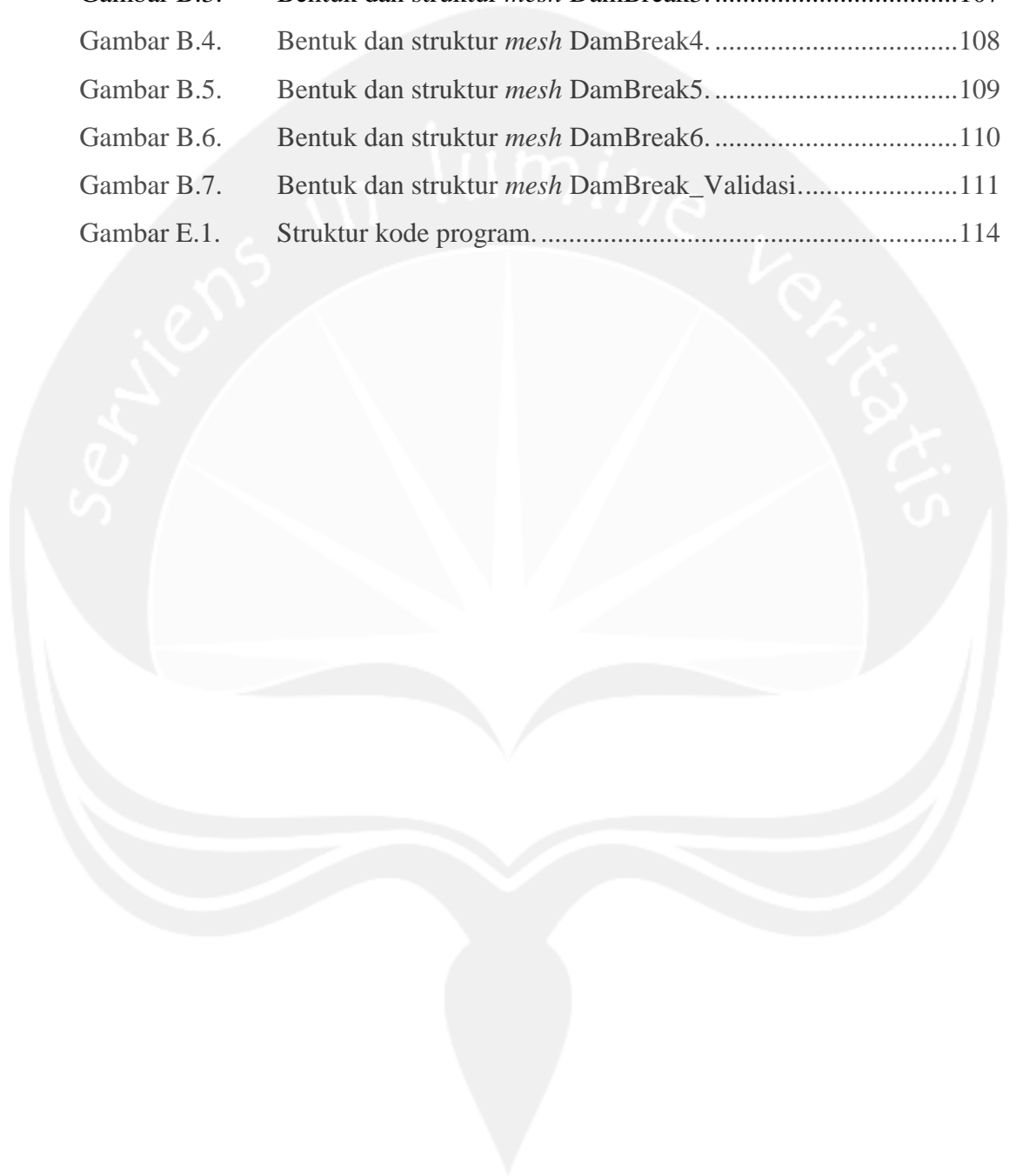
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Lompatan hidrolik pada Bendungan Burdekin, Australia.	2
Gambar 1.2.	Tsunami menghempaskan sebuah kapal hingga berada di atas sebuah bangunan di tengah puing-puing di Otsuchi, Prefektur Iwate, Jepang, 14 Maret.	3
Gambar 1.3.	<i>Tidal bore</i> Sungai Qiantang menerjang para penonton	4
Gambar 3.1.	Bentuk umum persamaan konservasi untuk kuantitas skalar. ...	18
Gambar 3.2.	Konservasi pada elemen diskret	21
Gambar 3.3.	Empat jenis domain pada <i>mesh</i> dua dimensi.	25
Gambar 3.4.	Tiga jenis struktur <i>mesh</i>	26
Gambar 3.5.	Komponen-komponen <i>mesh</i>	27
Gambar 3.6.	Sebuah sel segitiga dengan 3 buah tetangga.	28
Gambar 3.7.	Gelombang tidal Sungai Qiantang	31
Gambar 3.8.	Lompatan hidrolik pada tempat cuci piring (kiri), dan lompatan hidrolik dengan bentuk sirkular sempurna (kanan) ...	31
Gambar 3.9.	Gelombang kejut dari pesawat supersonic (kiri). dan kendaraan luar angkasa Mercury (kanan)	32
Gambar 3.10.	<i>Mesh</i> segitiga yang digunakan dalam metode <i>finite volume</i>	32
Gambar 3.11	Ilustrasi eksekusi instruksi pada program sekuensial	37
Gambar 3.12	Ilustrasi eksekusi instruksi pada program paralel	37
Gambar 3.13.	Host (CPU) dan device (GPU) saling berinteraksi	39
Gambar 3.14.	Ukuran data dan <i>paralelism</i> menentukan arsitektur pemrograman	39
Gambar 3.15.	Hirarki pengorganisasian <i>thread-thread</i> pada GPU CUDA	41
Gambar 4.1.	Logo Ubuntu	45
Gambar 4.2.	Logo NVIDIA Nsight Eclipse Edition	46
Gambar 4.3.	Logo OpenGL	46
Gambar 4.4.	Graphic Card Geforce GTX 660 Ti NVIDIA	47
Gambar 4.5.	Bagan alur penelitian	48

Gambar 4.6	Rancangan tahapan umum simulasi gelombang air.....	49
Gambar 4.7.	Rincian bagan alur simulasi.....	50
Gambar 4.8.	Rincian bagan alur <i>Display</i>	51
Gambar 4.9.	Detil langkah pada Pre-Processing	52
Gambar 5.1	Batasan (<i>boundary</i>) <i>mesh</i> Model 1	72
Gambar 5.2	Inisialisasi kondisi pada <i>mesh</i> Model 1	73
Gambar 5.3	Batasan (<i>boundary</i>) <i>mesh</i> Model 2	73
Gambar 5.4	Bentuk dan struktur <i>mesh</i> DamBreak_ Validasi.....	74
Gambar 5.5	Bentuk dan struktur <i>mesh</i> DamBreak1.....	75
Gambar 5.6	Simulasi pada saat $t=0s$	76
Gambar 5.7	Simulasi pada saat $t=0.05s$	76
Gambar 5.8	Simulasi pada saat $t=0.14s$	76
Gambar 5.9	Simulasi pada saat $t=0.27s$	76
Gambar 5.10	Simulasi pada saat $t=0.42s$	76
Gambar 5.11	Simulasi pada saat $t=0.66s$	76
Gambar 5.12	Simulasi pada saat $t=0.79s$	77
Gambar 5.13	Simulasi pada saat $t=1.3s$	77
Gambar 5.14	Simulasi pada saat $t=1.71s$	77
Gambar 5.15	Simulasi pada saat $t=2.37s$	77
Gambar 5.16.	Visualisasi “DamBreak3” pada saat $t=0s$	79
Gambar 5.17.	Visualisasi “DamBreak3” pada saat $t=2s$	79
Gambar 5.18.	Visualisasi “DamBreak3” pada saat $t=4s$	79
Gambar 5.19.	Visualisasi “DamBreak3” pada saat $t=8s$	79
Gambar 5.20.	Visualisasi “DamBreak3” pada saat $t=12s$	80
Gambar 5.21.	Visualisasi “DamBreak3” pada saat $t=16.2s$	80
Gambar 5.22.	Visualisasi “DamBreak3” pada saat $t=20.2s$	80
Gambar 5.23.	Visualisasi “DamBreak3” pada saat $t=24.2s$	80
Gambar 5.24.	Grafik perbandingan waktu komputasi berdasarkan jenis dan konfigurasi <i>thread</i> prosesor pada mesh DamBreak1 dengan 3.548 elemen.	82

Gambar 5.25.	Grafik perbandingan waktu komputasi berdasarkan jenis dan konfigurasi <i>thread</i> processor pada mesh DamBreak2 dengan 8.370 elemen.	84
Gambar 5.26.	Grafik perbandingan waktu komputasi berdasarkan jenis dan konfigurasi <i>thread</i> processor pada mesh DamBreak3 dengan 22.600 elemen.	85
Gambar 5.27.	Grafik perbandingan waktu komputasi berdasarkan jenis dan konfigurasi <i>thread</i> processor pada mesh DamBreak4 dengan 139.264 elemen.	86
Gambar 5.28.	Grafik perbandingan waktu komputasi berdasarkan jenis dan konfigurasi <i>thread</i> processor pada mesh DamBreak5 dengan 557.056 elemen.	87
Gambar 5.29.	Grafik perbandingan waktu komputasi berdasarkan jenis dan konfigurasi <i>thread</i> processor pada mesh DamBreak6 dengan 2.228.224 elemen	88
Gambar 5.30.	Grafik perbandingan konfigurasi blok <i>thread</i> yang menghasilkan performa terbaik.	89
Gambar 5.31.	Grafik perbandingan peningkatan kecepatan (<i>speed up</i>) GPU dengan variasi blok <i>thread</i> dan variasi jumlah elemen dalam 200 iterasi.	90
Gambar 5.32.	Grafik perbandingan peningkatan kecepatan (<i>speed up</i>) GPU dengan variasi blok <i>thread</i> dan variasi jumlah elemen dalam 500 iterasi.	91
Gambar 5.33.	Grafik hubungan peningkatan kecepatan (<i>speed up</i>) GPU dengan peningkatan jumlah elemen <i>mesh</i>	91
Gambar 5.35.	Perbandingan <i>force</i> Anuga (<i>numerical</i>) dan percobaan eksperimental.	94
Gambar 5.35.	Perbandingan <i>force</i> penulis (<i>numerical</i>) dan percobaan eksperimental.	94
Gambar 5.36	Rumus dan ilustrasi cara perhitungan gaya (<i>force</i>) yang menghantam kolom pilar	96

Gambar B.1.	Bentuk dan struktur <i>mesh</i> DamBreak1.....	105
Gambar B.2.	Bentuk dan struktur <i>mesh</i> DamBreak2.....	106
Gambar B.3.	Bentuk dan struktur <i>mesh</i> DamBreak3.....	107
Gambar B.4.	Bentuk dan struktur <i>mesh</i> DamBreak4.....	108
Gambar B.5.	Bentuk dan struktur <i>mesh</i> DamBreak5.....	109
Gambar B.6.	Bentuk dan struktur <i>mesh</i> DamBreak6.....	110
Gambar B.7.	Bentuk dan struktur <i>mesh</i> DamBreak_Validasi.....	111
Gambar E.1.	Struktur kode program.....	114



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1.	Klasifikasi Orde dan Linearitas Persamaan Diferensial Parsial	16
Tabel 3.2.	Klasifikasi Persamaan Diferensial Parsial Orde Dua - Linear	17
Tabel 5.1.	Beberapa Macam <i>Mesh</i> dengan Variasi Jumlah Simpul dan Elemen.....	71
Tabel 5.2.	Konfigurasi Blok <i>Thread</i> GPU.....	82
Tabel 5.3.	Waktu Komputasi- <i>SpeedUp</i> -Konfigurasi pada <i>Mesh</i> DamBreak1 dengan 3.548 elemen.....	83
Tabel 5.4.	Waktu Komputasi- <i>SpeedUp</i> -Konfigurasi pada <i>Mesh</i> DamBreak2 dengan 8470 elemen.....	84
Tabel 5.5.	Waktu Komputasi- <i>SpeedUp</i> -Konfigurasi pada <i>Mesh</i> DamBreak3 22.600 elemen	85
Tabel 5.6.	Waktu Komputasi- <i>SpeedUp</i> -Konfigurasi pada <i>Mesh</i> DamBreak4 139.264 elemen	86
Tabel 5.7.	Waktu Komputasi- <i>SpeedUp</i> -Konfigurasi pada <i>Mesh</i> DamBreak5 557.056 elemen	87
Tabel 5.8.	Waktu Komputasi- <i>SpeedUp</i> -Konfigurasi pada <i>Mesh</i> DamBreak6 2.228.224 elemen	88
Tabel C.1.	Perbandingan Waktu Komputasi untuk 200 Iterasi (dalam Sekon).....	112
Tabel C.2.	Perbandingan Waktu Komputasi untuk 500 Iterasi (dalam Sekon).....	112

DAFTAR KODE

Kode 4.1.	Tipe data bentukan untuk <i>mesh</i> .	64
Kode 4.2.	Tipe data bentukan untuk data komputasi	65
Kode 4.3.	Implementasi algoritma inti pada GPU.	66
Kode 4.4.	Kode <i>kernelcopy</i> .	67
Kode 4.5.	Kode <i>computeGPU</i> , kode inti <i>processing</i> .	68
Kode 4.6.	Implementasi algoritma inti pada CPU.	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Statistik Jumlah Korban dan Kerusakan Bencana Hidrologi	104
Lampiran B. Gambar Bentuk dan Struktur <i>Mesh</i>	105
Lampiran C. Data Lengkap Perbandingan Waktu Komputasi GPU dan CPU.....	112
Lampiran D. Struktur dan Format File Mesh.....	113
Lampiran E. Kode Program.....	114