

**SIMULASI PERAMBATAN GELOMBANG AKUSTIK  
DENGAN KONDISI BATAS PML MENGGUNAKAN  
PEMROGRAMAN PARALEL GPU CUDA**

**Skripsi**

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Mencapai Derajat  
Sarjana Teknik Informatika**



Dibuat Oleh

**I PUTU EKA JULIANTARA**

**15 07 08502**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA  
2019**

# LEMBAR PENGESAHAN

Simulasi Perambatan Gelombang Akustik dengan Kondisi Batas PML  
Menggunakan Pemrograman Paralel GPU CUDA

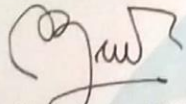
Yogyakarta, 18 Januari 2019

I Putu Eka Juliantara

15 07 08502

Menyetujui,

Pembimbing I



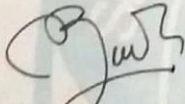
Dr. Pranowo, S.T., M.T.  
NPP: 09.96.596

Pembimbing II



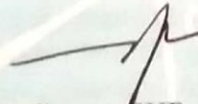
Ir. A. Djoko Budiyanto SHR, M.Eng., Ph.D.  
NPP: 08.93.463

Penguji I



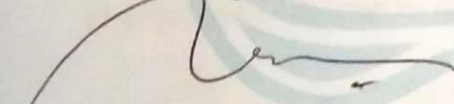
Dr. Pranowo, S.T., M.T.  
NPP: 09.96.596

Penguji II




Ir. A. Djoko Budiyanto SHR, M.Eng., Ph.D.  
NPP: 08.93.463

Penguji III




Dra. Ernawati, M.T.  
NPP: 09.92.407


Penguji IV



Yulius Harjoseputro, S.T., M.T.  
NPP: 04.15.897

Mengetahui,

 Dekan Fakultas Teknologi Industri

  
FAKULTAS  
TEKNOLOGI INDUSTRI

Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc.  
NPP: 09.93.464

## Pernyataan Originalitas & Publikasi Ilmiah

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : I Putu Eka Juliantara

NPM : 15 07 08502

Program Studi : Teknik Informatika

Fakultas : Teknologi Industri

Judul Penelitian : Simulasi Perambatan Gelombang Akustik dengan Kondisi Batas PML Menggunakan Pemrograman Paralel GPU CUDA

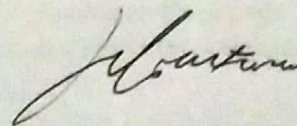
Menyatakan dengan ini:

1. Tugas Akhir ini adalah benar tidak merupakan salinan sebagian atau keseluruhan dari karya penelitian lain.
2. Memberikan kepada Universitas Atma Jaya Yogyakarta atas penelitian ini, berupa Hak untuk menyimpan, mengelola, mendistribusikan, dan menampilkan hasil penelitian selama tetap mencantumkan nama penulis.
3. Bersedia menanggung secara pribadi segala bentuk tuntutan hukum atas pelanggaran Hak Cipta dalam pembuatan Tugas Akhir ini.

Demikianlah pernyataan ini dibuat dan dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 18 Januari 2019

Yang menyatakan,



I Putu Eka Juliantara  
15 07 08502

## Halaman Persembahan

Untuk I Putu Eka Juliantara, S.T.

Aku harap kamu masih ingat aku.

Seorang mahasiswa yang tiba-tiba hobi begadang demi menyelesaikan skripsi ini.

Apakah dirimu masih begadang? Aku harap dikurangi ya karena begadang itu kurang baik bagi kesehatan.

Sudah sering olahraga belum? Duduk terus di depan layar monitor itu tidak baik loh.

Bagaimana keadaan ibu dan bapak, adik, saudara, dan keluarga besar lainnya? Aku harap sehat selalu dan berbahagia tentu.

Masih sering ngobrol sama teman-teman sesama kuliah? Aku rasa obrolannya sudah mulai ke bisnis dan pernikahan hehe.

Sudah terlaksanakah 1-2 tahun istirahat hidupnya? Aku senang bila terlaksana. Pasti rasanya fresh banget dengan ide-ide baru.

Diterimakah dirimu di Magister Sains Komputasi, ITB? Aku senang bila dirimu diterima.

Sudahkah jadi dosen dan pemilik rumah makan sekarang? Aku sangat senang bila terwujud dan sangat terharu. Karena itulah cita-citamu dari kecil.

Cantik kah istrimu? Hehehe.

Berapa anak yang kamu miliki? Terserah berapa jumlahnya yang penting sehat, cerdas, dan bahagia ya.

Masih banyak yang ingin aku tanyakan. Namun, lebih baik aku simpan dulu sampai nanti kita bertemu. Sekarang aku lagi mengusahakan itu supaya kita cepat-cepat bertemu. Doakan ya. Semoga kabar baik menyertaimu kelak saat kita bertemu.

Dari I Putu Eka Juliantara.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur dan terima kasih tentunya mula-mula penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi berjudul “Simulasi Perambatan Gelombang Akustik dengan Kondisi Batas PML Menggunakan Pemrograman Paralel GPU CUDA” ini dengan baik.

Skripsi ini disusun tidak lain bertujuan sebagai laporan atas penelitian yang dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai derajat sarjana Teknik Informatika dari Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Industri di Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa dalam melakukan penelitian dan penyusunan skripsi ini penulis telah mendapatkan bantuan, bimbingan, dan dorongan dari banyak pihak. Untuk itu, pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Tuhan Yang Maha Esa yang selalu membimbing dalam iman-Nya, memberikan berkat-Nya, dan menyertai penulis.
2. Bapak Dr. A. Teguh Siswanto, M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
3. Bapak Martinus Maslim, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika.
4. Ibu Patricia Ardanari, S.Si, M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Informatika yang banyak membantu administrasi dari awal hingga akhir penelitian.
5. Bapak Dr. Pranowo, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing I yang telah membimbing, memberikan masukan dan motivasi kepada penulis selama melakukan penelitian dan penyusunan skripsi.
6. Bapak Ir. A. Djoko Budiyanto SHR, M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing II yang telah membimbing dan memberikan nasehat kepada penulis selama melakukan penelitian dan penyusunan skripsi.
7. Keluarga besar di Bali yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik berupa nasehat dan materiil kepada penulis selama melakukan penelitian dan penyusunan skripsi.
8. Teman-teman Pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Informatika khususnya periode 2015/2016 dan 2016/2017 yang telah membantu dan menyemangati penulis selama melakukan penelitian dan penyusunan skripsi.

9. Keluarga besar Bapak Damianus Murah dan warga Desa Ransi Dakan di Sintang, Kalimantan Barat sebagai inspirasi, motivasi, dan keluarga baru yang penulis temukan saat KKN (Kuliah Kerja Nyata).
10. Teman-teman Distrik 6 KKN 73 UAJY yang berlokasi di Sintang-Sekadau khususnya Kelompok 150 sebagai teman seperjuangan yang saling memotivasi.
11. Teman-teman karyawan khususnya Table Team di PT. Krafthaus Indonesia sebagai inspirasi, motivasi, dan keluarga baru yang penulis temukan saat magang.
12. Guru-guru serta teman-teman alumni SMKN 1 Denpasar khususnya angkatan 2012 yang selalu menanyakan kabar dan menyemangati penulis selama melakukan penelitian dan penyusunan skripsi.
13. Teman-teman Markas Kusuma, Jakal Squadron, Geng's Robert, Sambilegi Squad, Aliansi Meme, dan perkumpulan lainnya yang selalu tersedia di saat penulis istirahat di tengah-tengah penelitian dan penyusunan skripsi untuk sekedar berbagi tawa dan cerita.
14. Berbagai pihak yang penulis tidak bisa sebutkan satu per satu.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis lakukan dengan sepenuh hati dan sebaik-baiknya. Namun, penulis sadar bahwa tidak ada skripsi yang sempurna. Untuk itu, apabila terdapat kekeliruan, penulis mohon maaf dan sangat terbuka atas kritik dan saran. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat khususnya ilmu bagi para pembaca.

Yogyakarta, 18 Januari 2019

I Putu Eka Juliantara  
15 07 08502

## Daftar Isi

Sampul .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
Pernyataan Originalitas & Publikasi Ilmiah.....	ii
Halaman Persembahan .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
Daftar Isi.....	vii
Daftar Gambar.....	ix
Daftar Tabel .....	xii
Intisari .....	xiii
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan Penelitian .....	3
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Sistematika Penulisan Laporan .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1. Penelitian Terdahulu .....	5
<b>BAB 3. LANDASAN TEORI.....</b>	<b>9</b>
3.1. Gelombang Akustik .....	9
3.2. Lattice Boltzmann Method .....	9
3.3. Reflecting Boundary Condition: Bounce Back.....	12
3.4. Non-reflecting Boundary Condition: Perfectly Matched Layer.....	14
3.5. Pemrograman Paralel .....	18
3.6. GPU CUDA .....	19
<b>BAB 4. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>23</b>
4.1. Bahan Penelitian .....	23
4.2. Alat Penelitian.....	25
4.3. Langkah-Langkah Penelitian .....	28
<b>BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>67</b>
5.1. Rencana Pengujian.....	67
5.2. Hasil Pengujian .....	68

BAB 6. PENUTUP .....	90
6.1. Kesimpulan .....	90
6.2. Saran .....	90
DAFTAR PUSTAKA .....	91





## Daftar Gambar

Gambar 2.1. Screenshot perambatan gelombang menggunakan metode Finite Difference pada orde kedua dan keempat oleh A. Zakaria, dkk. (2000). .....	5
Gambar 2.2. Screenshot perbandingan solusi numerik dan analitik dari perambatan gelombang akustik beserta visualisasinya oleh S. Dykas, dkk. (2010). .....	6
Gambar 2.3. Screenshot perambatan gelombang akustik menggunakan metode Lattice Boltzmann dengan keberadaan blok oleh M. Saidi, dkk. (2013). .....	6
Gambar 3.1. Skema D2Q9 lattice [18]. .....	10
Gambar 3.2. Flowchart algoritma metode Lattice Boltzmann [16]. .....	12
Gambar 3.3. Bounce Back boundary condition. ....	12
Gambar 3.4 Flowchart metode Lattice Boltzmann dengan kondisi batas Bounce Back. ....	14
Gambar 3.5. Domain simulasi setelah terimplementasi PML. ....	15
Gambar 3.6. Grafik evolusi nilai koefisien redaman ( $\sigma$ ). ....	16
Gambar 3.7. Arah diskritisasi $Q_i$ . .....	17
Gambar 3.8. Flowchart metode Lattice Boltzmann dengan kondisi batas PML. .	18
Gambar 3.9. Organisasi thread, block, dan grid. ....	20
Gambar 3.11. Organisasi block dan thread yang disimpan dalam array pada global memory. ....	21
Gambar 3.12. Organisasi block dan thread untuk 2D yang disimpan dalam array pada global memory. ....	22
Gambar 4.1. Rancangan bentuk domain simulasi perambatan. ....	23
Gambar 4.2. Rancangan bentuk domain simulasi difraksi. ....	24
Gambar 4.3. Rancangan bentuk domain simulasi refleksi. ....	25
Gambar 4.4. Flowchart langkah-langkah penelitian. ....	29
Gambar 4.5. Flowchart algoritma program paralel (GPU). ....	31
Gambar 4.6. Garis lurus. ....	39
Gambar 4.7. Garis lurus berbentuk persegi panjang. ....	39
Gambar 4.8. Persegi panjang. ....	39

Gambar 4.9. Contoh arah lattice masing-masing node di lapisan PML.....	51
Gambar 5.1. Bentuk domain simulasi perbandingan sebelum dan sesudah mengimplementasikan kondisi batas PML. ....	68
Gambar 5.2. Perbandingan nilai tekanan ( $\rho$ ) sebelum dan sesudah implementasi PML di titik [512,640]. ....	69
Gambar 5.3. Perbandingan nilai tekanan ( $\rho$ ) sebelum dan sesudah implementasi PML di titik [512,768]. ....	69
Gambar 5.4. Perbandingan nilai tekanan ( $\rho$ ) sebelum dan sesudah implementasi PML di titik [512,896]. ....	70
Gambar 5.5. Grafik perbandingan waktu eksekusi program serial (CPU) dan paralel (GPU) untuk domain simulasi 1 & 2 dalam dimensi 256x256, 512x512, 1024x1024, dan 2048x2048. ....	73
Gambar 5.6. Visualisasi perambatan gelombang akustik sebelum implementasi PML. ....	74
Gambar 5.7. Visualisasi perambatan gelombang akustik sesudah implementasi PML. ....	75
Gambar 5.8. Visualisasi difraksi gelombang akustik untuk bentuk domain simulasi 1 pada celah pertama (terkecil). ....	77
Gambar 5.9. Visualisasi difraksi gelombang akustik untuk bentuk domain simulasi 1 pada celah kedua. ....	78
Gambar 5.10. Visualisasi difraksi gelombang akustik untuk bentuk domain simulasi 1 pada celah ketiga (terbesar). ....	79
Gambar 5.11. Visualisasi difraksi gelombang akustik untuk bentuk domain simulasi 2 pada blok pertama (terkecil). ....	80
Gambar 5.12. Visualisasi difraksi gelombang akustik untuk bentuk domain simulasi 2 pada blok kedua. ....	81
Gambar 5.13. Visualisasi difraksi gelombang akustik untuk bentuk domain simulasi 2 pada blok ketiga (terbesar). ....	82
Gambar 5.14. Visualisasi refleksi gelombang akustik untuk bentuk domain simulasi 1. ....	84

Gambar 5.15. Visualisasi refleksi gelombang akustik untuk bentuk domain simulasi 2. ....	85
Gambar 5.16. Visualisasi refleksi gelombang akustik untuk bentuk domain simulasi 3. ....	86
Gambar 5.17. Visualisasi penelitian ini untuk dibandingkan dengan penelitian M. Saidi, dkk. (2013).....	89



## Daftar Tabel

Tabel 2.1. Perbandingan penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya.	7
Tabel 4.1. Spesifikasi laptop Asus A43SD.	25
Tabel 5.1. Perbandingan waktu eksekusi dalam dimensi 256x256 untuk domain simulasi 1 (sebelum implementasi PML).	71
Tabel 5.2. Perbandingan waktu eksekusi dalam dimensi 256x256 untuk domain simulasi 2 (sesudah implementasi PML).	71
Tabel 5.3. Perbandingan waktu eksekusi dalam dimensi 512x512 untuk domain simulasi 1 (sebelum implementasi PML).	71
Tabel 5.4. Perbandingan waktu eksekusi dalam dimensi 512x512 untuk domain simulasi 2 (sesudah implementasi PML).	71
Tabel 5.5. Perbandingan waktu eksekusi dalam dimensi 1024x1024 untuk domain simulasi 1 (sebelum implementasi PML).	72
Tabel 5.6. Perbandingan waktu eksekusi dalam dimensi 1024x1024 untuk domain simulasi 2 (sesudah implementasi PML).	72
Tabel 5.7. Perbandingan waktu eksekusi dalam dimensi 2048x2048 untuk domain simulasi 1 (sebelum implementasi PML).	72
Tabel 5.8. Perbandingan waktu eksekusi dalam dimensi 2048x2048 untuk domain simulasi 2 (sesudah implementasi PML).	72
Tabel 5.9. Perbandingan waktu eksekusi sifat difraksi gelombang akustik untuk bentuk domain simulasi 1.	76
Tabel 5.10. Perbandingan waktu eksekusi sifat difraksi gelombang skustik untuk bentuk domain simulasi 2.	76
Tabel 5.11. Perbandingan waktu eksekusi refleksi gelombang skustik untuk bentuk domain simulasi 1.	83
Tabel 5.12. Perbandingan waktu eksekusi refleksi gelombang akustik untuk bentuk domain simulasi 2.	83
Tabel 5.13. Perbandingan waktu eksekusi refleksi gelombang akustik untuk bentuk domain simulasi 3.	83

## Intisari

### SIMULASI PERAMBATAN GELOMBANG AKUSTIK DENGAN KONDISI BATAS PML MENGGUNAKAN PEMROGRAMAN PARALEL GPU CUDA

Intisari

I Putu Eka Juliantara

15 07 08502

Penelitian ini bertujuan membuat simulasi perambatan gelombang akustik untuk mempelajari kualitas akustik ruang. Solusi numerik dengan metode Lattice Boltzmann dipilih untuk membuatnya. Kondisi batas Bounce Back diimplementasikan untuk mendukung kondisi ruang dengan keberadaan objek di dalamnya. Selain itu, kondisi batas Perfectly Matched Layer (PML) diimplementasikan untuk meredam pantulan yang terjadi di batas domain sehingga tidak mengganggu simulasi di dalamnya. Pemrograman paralel GPU CUDA digunakan untuk mempercepat waktu eksekusi simulasi. Sebagai hasil, simulasi perambatan gelombang akustik berhasil dibuat beserta sifat refleksi dan difraksi dengan kondisi batas Bounce Back. Program paralel (GPU) berhasil dibuat dan mempercepat dengan rata-rata peningkatan kecepatan yaitu 4.77 kali dari program serial (CPU) untuk 13 kali percobaan dengan bentuk domain simulasi yang berbeda. Peningkatan tercepat yaitu 7.17 kali dan terendah yaitu 2.9 kali. Kondisi batas PML juga berhasil diimplementasikan dan meredam pantulan yang terjadi di batas domain. Namun, PML membuat beban komputasi bertambah khususnya pada program paralel (GPU). Hal ini dapat ditinjau lebih lanjut untuk perbaikan penelitian ini.

Kata kunci: *Simulasi, Gelombang Akustik, Lattice Boltzmann Methods, Bounce Back, Perfectly Matched Layer, GPU CUDA.*