

**LAPORAN AKHIR PENELITIAN HIBAH BERSAING
TAHUN II**



**Pengembangan Perangkat Lunak Untuk Desain
Tata Akustik Berbasis Metode Discontinuous
Finite Element 3 Dimensi**

**Dr. Pranowo, ST, MT
Ir. Ag. Djoko Istiadji, M.Sc.Bld.Sc.
Fl. Binarti, ST., Dipl. NDS. Arch.,**

**DIBIAYAI OLEH: DIREKTORAT JENDERAL PENDIDIKAN TINGGI
DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL**

**UNIVERSITAS ATMA JAYA YOGYAKARTA
November 2013**

HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN HIBAH BERSAING

1. Judul : Pengembangan Perangkat Lunak Untuk Desain
Tata Akustik Berbasis Metode Discontinuous
Finite Element 3 Dimensi
2. Ketua Peneliti
- a. Nama : Dr Pranowo, ST, MT.
 - b. Jenis Kelamin : Pria
 - c. Pangkat/Golongan : Lektor/IIIc
 - d. No. Pokok Pegawai : 09.96.596
 - e. Jabatan : Dosen
 - f. Fakultas/Program Studi : Teknologi Industri/Teknik Informatika
 - g. Tim Peneliti

No.	Nama	Bidang Keahlian	Perguruan Tinggi
1.	Pranowo, ST, MT	Informatika, Komputasi Numerik	UAJY
2.	Ir. Ag. Djoko Istiadji, M.Sc.Bld.Sc.	Building science, Arsitek	UAJY
3.	Fl. Binarti, ST., Dipl. NDS. Arch.	Building science, Arsitek	UAJY

3. Perguruan Tinggi : Universitas Atma Jaya Yogyakarta
4. Jangka Waktu Penelitian : 2 (dua) tahun
- a. Biaya Total yang diusulkan : Rp.71.000.000,-
 - b. Biaya yang disetujui tahun kedua : Rp. 40.000.000,-

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknologi Industri

Yogyakarta, 4 November 2013
Ketua Peneliti

Ir. B. Kristyanto, M.Eng, Ph.D

Dr. Pranowo, ST, MT

Menyetujui
Ketua Lembaga Penelitian
Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Dr. Ir. Y. Djarot Purbadi, MT

RINGKASAN

Penelitian ini mengembangkan metode numerik Runge-Kutta Discontinuous Galerkin orde tinggi untuk simulasi perambatan gelombang akustik 3 dimensi untuk desain tata akustik. Fenomena perambatan gelombang seperti: pemantulan, dan difraksi serta penyebaran (*scattering*) dipelajari secara numeris dengan memecahkan persamaan model, yaitu persamaan akustik. Persamaan model dimanipulasi menjadi formulasi berbentuk sistem persamaan differensial parsial hiperbolis berorde satu. Diskretisasi persamaan model menggunakan metode Discontinuous Galerkin (DG) orde tinggi. Fungsi basis, yaitu: trial dan test function, yang digunakan adalah fungsi polinomial Jacobi orde tinggi. Fungsi basis pada setiap elemen tidak kontinyu, tetapi konservasi fluks antar elemen tetap terjaga seimbang. Persamaan aljabar yang terbentuk diselesaikan secara eksplisit menggunakan metode Runge Kutta orde-4. Data hasil perhitungan divalidasi dengan menggunakan jawaban eksak, perbandingan dengan jawaban eksak menunjukkan bahwa metode discontinuous galerkin mempunyai akurasi tinggi. Sedangkan fenomena perambatan gelombang akustik dalam ruangan bersekat dan gedung gereja dapat disimulasikan dengan baik.

PRAKATA

Penyusunan penelitian Hibah Bersaing ini tidak akan pernah selesai seandainya tidak ada bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional Republik Indonesia sebagai pihak yang memberikan dana penelitian ini.
2. Fakultas Teknologi Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang telah memberikan dukungan berupa peminjaman Laboratorium Komputasi.
3. Teknik Arsitektur Universitas Atma Jaya Yogyakarta yang memberikan dukungan berupa peminjaman peralatan Laboratorium.
4. Studio 85 yang memberikan bantuan berupa administrasi dan penggambaran denah gedung serta perancangan tata akustik.

Penelitian ini berupa kajian pustaka pengembangan metode numerik discontinuous galerkin untuk simulasi perambatan gelombang akustik dalam suatu ruangan. Bab pertama menerangkan latar belakang dan perumusan. Bab kedua menerangkan tinjauan pustaka tentang metode discontinuous galerkin dan pemodelan gelombang akustik. Bab ketiga menerangkan tujuan dan manfaat penelitian. Bab keempat menerangkan metodologi penelitian. Bab kelima berisi hasil perhitungan numerik dan pembahasannya, sedangkan bab keenam berisi kesimpulan dan saran.

Pada akhirnya, penulis berharap naskah ini dapat bermanfaat bagi mereka yang mendalami metode numerik discontinuous galerkin untuk simulasi perambatan gelombang.

Yogyakarta, 1 November 2013

Pranowo

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENGANTAR	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Penelitian Tentang Permasalahan Akustik	4
2.2 Penelitian Tentang Metode Discontinuous Finite Element.....	7
2.2 Penelitian Sekarang	7
2.3 Persamaan Model	8
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	9
3.1 Tujuan Penelitian	9
3.2 Manfaat Penelitian	9
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN	12
4.1 Kaji Pustaka	12
4.2 Tahapan Penelitian Tahun II	13
4.3 Metode Numerik Runge-Kutta Discontinuous Galerkin	14
4.3.1 Skema Discontinuous Galerkin Tiga Dimensi	14
4.3.2 Integrasi Waktu	18
4.3.3 Syarat Awal dan Syarat Batas	19
4.3.4 Daiagram Alir	20

BAB V HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN	21
5.1 Simulasi Akustik dalam Ruang Berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$	21
5.2 Simulasi Akustik dalam Ruang Kecil Berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$	27
5.3 Simulasi Akustik dalam Ruang Sedang Berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$	33
5.4 Simulasi Akustik 3-Dimensi Gedung Gereja GKII	39
BAB VI KESIMPULAN	56
6.1 Kesimpulan	55
6.2 Saran	56
Daftar Pustaka	57
Lampiran	60
Penggunaan Anggaran	74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1	Pemetaan elemen tetrahedron fisis ke elemen tetrahedron referensi	15
Gambar 4.2	Diagram Alir Skema Numerik	20
Gambar 5.1	Mesh ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$	22
Gambar 5.2a	Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0006 \text{ s}$	22
Gambar 5.2b	Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,001 \text{ s}$	23
Gambar 5.2c	Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0014 \text{ s}$	23
Gambar 5.2d	Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0018 \text{ s}$	24
Gambar 5.2e	Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0022 \text{ s}$	24
Gambar 5.2f	Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0024 \text{ s}$	25
Gambar 5.2g	Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0028 \text{ s}$	25
Gambar 5.2h	Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0040 \text{ s}$	26
Gambar 5.2i	Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0048 \text{ s}$	26
Gambar 5.3	Ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$	27
Gambar 5.4	Mesh ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$	28
Gambar 5.5a	Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0030 \text{ s}$	28
Gambar 5.5b	Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0040 \text{ s}$	29
Gambar 5.5c	Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0050 \text{ s}$	29
Gambar 5.5d	Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0060 \text{ s}$	30
Gambar 5.5e	Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0048 \text{ s}$ pada sisi luar pada sisi luar.	30
Gambar 5.5f	Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0065 \text{ s}$ pada sisi luar	31
Gambar 5.5g	Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0070 \text{ s}$ pada sisi luar	31

Gambar 5.5h	Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0075 \text{ s}$ pada sisi luar	32
Gambar 5.5i	Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0090 \text{ s}$ pada sisi luar	32
Gambar 5.6	Ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$	33
Gambar 5.7	Mesh ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$	34
Gambar 5.8a	Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0028 \text{ s}$	34
Gambar 5.8b	Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0040 \text{ s}$	35
Gambar 5.8c	Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0056 \text{ s}$	35
Gambar 5.8d	Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0080 \text{ s}$	36
Gambar 5.8e	Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0100 \text{ s}$	36
Gambar 5.8f	Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0100 \text{ s}$ pada sisi luar	37
Gambar 5.8g	Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0120 \text{ s}$ pada sisi luar	37
Gambar 5.8h	Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0140 \text{ s}$ pada sisi luar	38
Gambar 5.8i	Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0160 \text{ s}$ pada sisi luar	38
Gambar 5.9	Denah Gereja GKII pandangan " <i>shading</i> "	39
Gambar 5.10	Denah Gereja GKII pandangan " <i>rangka</i> "	40
Gambar 5.11	Bagian dalam Gereja GKII	40
Gambar 5.12	Denah 2-dimensi Gereja GKII	41
Gambar 5.13	Ukuran bagian depan Gereja GKII	42
Gambar 5.14a	Mesh dilihat dilihat dari depan	42
Gambar 5.14b	Mesh dilihat dilihat dari belakang	43
Gambar 5.15a	Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi luar saat $t = 5 \text{ ms}$	44
Gambar 5.15b	Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi dalam saat $t = 5 \text{ ms}$	44
Gambar 5.15c	Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi luar saat $t = 15 \text{ ms}$	45
Gambar 5.15d	Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi dalam saat $t = 15 \text{ ms}$	45
Gambar 5.15e	Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi luar saat $t = 25 \text{ ms}$	46
Gambar 5.15f	Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi dalam saat $t = 25 \text{ ms}$	46

	ms	
Gambar 5.15g	Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi luar saat $t = 35$ ms	47
Gambar 5.15h	Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi dalam saat $t = 35$ ms	47
Gambar 5.15i	Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi luar saat $t = 50$ ms	48
Gambar 5.15j	Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi dalam saat $t = 50$ ms	48
Gambar 5.16a	Sinyal sumber suara	49
Gambar 5.16b	Spektrum frekuensi sinyal sumber suara	49
Gambar 5.17a	Sinyal suara dalam Gereja GKII di posisi $(0, 7, 1,1)$	50
Gambar 5.17b	frekuensi sinyal tekanan di posisi $(0, 7, 1,1)$	50
Gambar 5.18a	Sinyal suara dalam Gereja GKII di posisi $(0, 14, 1,1)$	51
Gambar 5.18b	frekuensi sinyal tekanan di posisi $(0, 14, 1,1)$	51
Gambar 5.19a	Sinyal suara dalam Gereja GKII di posisi $(3, 7, 1,1)$	52
Gambar 5.19b	frekuensi sinyal tekanan di posisi $(3, 7, 1,1)$	52
Gambar 5.20	Sinyal suara dalam Gereja GKII di posisi $(3, 14, 1,1)$	53
Gambar 5.20b	frekuensi sinyal tekanan di posisi $(0, 14, 1,1)$	53
Gambar 5.21a	Perbandingan SPL di posisi $x = 0, 7 \leq y \leq 14$	55
Gambar 5.21b	Perbandingan SPL di posisi $x = -3, 7 \leq y \leq 14$	55
Gambar 5.21c	Perbandingan SPL di posisi $x = 3, 7 \leq y \leq 14$	55

BABI

PENGANTAR

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan alat kalkulasi akustik ruang dalam proses perancangan arsitektural telah banyak dipenuhi oleh para programmer komputer dengan menyediakan program-program berbasis simulasi. Program 3 (tiga) dimensi tersebut memiliki kemampuan untuk mengkalkulasi berbagai parameter akustik seperti *reverberation time*, *early decay time*, *lateral fraction*, *definition* 50 dll.

Secara prosedural, di dalam penggunaan alat simulasi dengan komputer, ada hal penting yang perlu dilakukan guna memperoleh hasil yang baik dan benar (derajat keakuratan). Sebelum menggunakan program, pemakai harus melakukan verifikasi dan validasi untuk menghindari dan mengetahui kesalahan maupun ketidak pastiaan dari proses dan hasilnya. Hal ini dapat dilakukan dengan memahami asumsi-asumsi serta mempelajari pendekatan formula kalkulasi yang digunakan.

Dewasa ini, sebagian besar perangkat lunak akustik komersil adalah berbasis metoda *ray tracing* (metode analitik), sebagai contoh seperti program akustik ODEON (www.odeon.dk) atau CATT (www.catt.se) yang diproduksi oleh negara Denmark dan Swedia. *Ray tracing* menggunakan gagasan gelombang bunyi diasumsikan sebagai garis yang bergerak lurus (*ray*) dalam ruang.

Gelombang bunyi dipertimbangkan sebagai partikel kecil (*phons*) yang berpantul pada bidang dan melayang di udara dengan membawa energi baik mode maupun intensitasnya. Ketika berbolak balik pantul, objek pantul akan menyerap energi dan program akan mencatat data tersebut, selanjutnya dapat diolah menjadi berbagai kajian parameter akustik. Pola pantulan yang ada dimodelkan sebagai pemantulan sempurna (*specular reflection*) dan atau pada program-program yang lebih canggih dapat dimodelkan adanya pemantulan *diffuse* (suara pada titik pantul dipecah menjadi banyak garis suara). Sedang untuk fenomena difraksi ketika suara terhalang suatu benda, fenomena ini masih belum mampu dimodelkan.

Berdasar pendekatan diatas terlihat bahwa ada asumsi yang perlu untuk dipahami dari penggunaan *ray tracing* yaitu memodelkan gelombang bunyi sebagai garis lurus akan lebih tepat digunakan pada pemodelan gelombang bunyi ultrasonic yang berfrekwensi tinggi. Gelombang ultrasonic mempunyai panjang gelombang yang sangat pendek dan hampir menyerupai sebuah titik serta ketika bergerak nampak sebagai garis. Hal ini tentu menjadi tidak sepenuhnya benar apabila digunakan untuk pemodelan gelombang bunyi yang didengar oleh telinga manusia yang berjangkau pada frekwensi 20 Hz - 20.000 Hz (*audible sound frequency*).

1.2 Perumusan masalah

Tantangan yang dihadapi dalam pemodelan numeris akustik adalah bagaimana mengembangkan metode numeris yang dapat mengatasi bentuk domain yang rumit, stabil untuk perhitungan waktu yang lama dan berakurasi tinggi. Dalam penelitian ini metode elemen hingga diskontinyu orde tinggi dipilih untuk dikembangkan guna menghadapi tantangan tersebut

BAB II

Tinjauan Pustaka

2.1. Penelitian Tentang Permasalahan Akustik

Dalam perancangan Arsitektur, akustik mempelajari bagaimana gejala akustik yang terjadi di dalam sebuah ruangan apabila diberikan sumber suara, sehingga fenomena akustik seperti ini disebut akustik ruang. Medan bunyi yang dihasilkan akan dipengaruhi oleh geometri ruangan dan material yang digunakan (Suptandar, 2004). Jika gelombang bunyi mengenai permukaan benda, akan terjadi beberapa fenomena akustik, yaitu refleksi, absorpsi, difusi, difraksi, serta transmisi bunyi.

Pemantulan merupakan perilaku yang terjadi akibat rambatan gelombang suara ketika menabrak suatu obyek. Secara umum pemantulan pada kasus akustik dapat dibagi menjadi dua, yaitu pemantulan sempurna (*specular reflection*) dimana garis sudut suara datang sama dengan sudut pantulnya dan pemantulan menyebar (*diffuse reflection*) dimana garis suara datang jatuh pada suatu permukaan yang kurang rata dan timbul banyak garis-garis pantul menyebar merata (*uniform scattering*). Pemantulan tersebut dipengaruhi oleh macam frekuensi suara yang dipengaruhi oleh panjang gelombang dan tekstur permukaan bidang pantul.

Difraksi merupakan fenomena suara membelok karena suara menabrak tepian sudut suatu bidang. Hal ini terjadi sebagai konsekuensi alamiah perilaku bunyi sebagai sebuah gelombang (bukan sebuah garis lurus). Besar pembelokan suara akan dipengaruhi oleh frekuensi bunyi (panjang gelombang) dan bentuk tepian bidang semakin rendah frekuensi bunyi akan menimbulkan pembelokan yang semakin besar. Apabila bunyi melewati sebuah lubang, maka efek tepian lubang akan berbeda menurut besar kecil lubang. Pada lubang yang cukup kecil suara akan diteruskan sebagai sebuah sumber suara baru, dan apabila lubang semakin besar, maka sebagian suara akan diteruskan dan sebagian akan dibelokkan.

Perilaku energi bunyi di dalam ruang tertutup merupakan fenomena gerakan pantulan bolak balik yang disertai dengan penyerapan energi yang dapat direpresentasikan dalam diagram waktu penurunan energi suara. Perilaku ini dibedakan dengan istilah bunyi yang langsung masuk ke telinga pendengar dan bunyi yang memantul sebelum diterima oleh telinga pendengar. Karena perbedaan waktu tiba energi bunyi ke telinga, maka bunyi dapat menimbulkan sensasi suara terlambat yang dikenal dengan istilah dengung (*echo*). Lama waktu hingga suara terakhir datang dengan energi suara telah melemah sebesar 60 db dikenal dengan istilah *reverberation time 60* (RT60). Dari fenomena di atas dikembangkan berbagai parameter akustik yang lain untuk mengukur kualitas bunyi, seperti: *lateral fraction (LF)*, *Speech Intelligibility (SI)*, *definition 50ms (D50)*. Parameter-parameter ini akan digunakan untuk menentukan kualitas bunyi yang akan mendukung fungsi akustik.

Perkembangan teknologi menjadikan komputer dipakai untuk menjalankan simulasi perambatan gelombang akustik dalam suatu ruangan. Dengan simulasi ini desain suatu ruangan dapat lebih baik dan handal (Kuttruff, 2000). Istiadji dkk (2006) membuat studi simulasi komputer sebagai pendekatan desain akustik auditorium. Kajian tersebut mencakup simulasi akustik dengan Ecotect (metode analitik), validasi dengan pengukuran lapangan dan kajian kemudahan program untuk mendukung desain ruang akustik. Hasil kajian menunjukkan simulasi komputer sangat membantu memudahkan proses perancangan akustik ruang dan validasi terhadap pengukuran lapangan memiliki beda sebesar 18% lebih tinggi. Istiadji dkk (2009) juga melakukan kajian *speech transmission index (STI)* gedung-gedung gereja. Kajian dilakukan dengan program CATT untuk melihat performa fungsi pidato. Hasil kajian menunjukkan simulasi komputer signifikan membantu perancang untuk mengevaluasi performa akustik ruang, meskipun komparasi antara hasil pengukuran lapangan dengan hasil simulasi menunjukkan nilai STI yang masih cukup besar yaitu 16%.

Desarnaulds (2002) membuat analisis dengan model komputer untuk akustik gereja, demikian juga Abdou (2003) untuk akustik masjid. Lisa dkk (2004) membuat simulasi medan bunyi di teater terbuka romawi kuno Aspendos

Turki, pemodelan untuk kondisi tanpa atap menyebabkan galat yang relatif besar. Rindel dkk (2008) meneliti transmisi bunyi yang melewati sekat yang membatasi dua ruang berdekatan. Hasil simulasi menunjukkan kesesuaian yang bagus dengan metode *diffusion model*. Validasi dengan data eksperimen tidak dilakukan, sehingga belum diketahui seberapa jauh akurasi metode *ray tracing* terhadap data eksperimen.

Software yang dipakai oleh para peneliti di atas pada dasarnya berbasis *ray tracing*, yang merupakan metode yang paling banyak dipakai untuk pemodelan akustik. Dengan metode ini penjalaran gelombang diwakili oleh beberapa *ray*, refleksi dan transmisi *ray* menganut hukum Snells. Kelemahan dari *ray tracing* adalah asumsi dasarnya adalah gelombang berfrekuensi tinggi, sehingga akurasinya rendah untuk gelombang berfrekuensi rendah (Adarsh, 2005). Selain itu *ray tracing* sulit untuk memodelkan fenomena difraksi dan interferensi gelombang.

Melihat dari kelemahan *ray tracing*, beberapa metode numerik yang memecahkan langsung persamaan model akustik diusulkan. Salah satu metode tersebut adalah *finite difference time domain* (FDTD), metode ini sederhana dan punya akurasi berorde dua (Botteldoreen, 1995; Schneider and Ramahi, 1998). Untuk meningkatkan akurasi metode ini Pranowo dkk (2002) menggunakan *wavelet Haar* sebagai fungsi basis untuk menyelesaikan persamaan model akustik. Metode ini dikenal sebagai *multiresolution time domain* (MRTD), metode mempunyai orde akurasi lebih dari dua tergantung tingkat resolusi. Selain dengan MRTD, Pranowo dan Bintoro (2003) juga mengusulkan metode beda hingga implisit orde tinggi, orde akurasi bisa mencapai delapan. Sayangnya, semakin tinggi orde yang dipakai semakin panjang stesil numerik yang dipakai sehingga kondisi batas sulit ditangani. Kelemahan dari metode-metode tersebut adalah ruang yang dimodelkan terbatas pada ruang yang berbentuk kotak, sehingga metode-metode tersebut sulit untuk pemodelan ruang berbentuk rumit.

Professor Le Veque (Le Veque, 1997; Fogarty and Leveque, 1999) dari Washington state University mengembangkan metode *finite volume* untuk

memecahkan persoalan gelombang akustik. Karena persamaan model akustik adalah termasuk jenis persamaan hiperbolik maka persamaan model dapat didekomposisi menjadi sejumlah garis karakteristik, di mana arah perambatan gelombang adalah searah dengan garis ini. Dengan menggunakan Riemann solver persamaan garis karakteristik dapat dipecahkan, aproksimasi Riemann solver dapat berupa perhitungan fluks Godunov, Lax-Friedrich atau HLLC. Perhitungan Finite Volume dapat dilakukan untuk bentuk ruang sembarang, sayangnya orde akurasi terbatas pada orde dua.

Metode elemen hingga cocok untuk mengatasi domain yang kompleks, metode ini sering digunakan untuk studi gelombang akustik dalam kawasan frekuensi (*frequency domain*). Untuk simulasi dalam kawasan waktu, metode elemen hingga mengalami galat dispersi yang tinggi, sehingga sulit untuk simulasi dalam rentang waktu yang panjang. Metode elemen hingga terus dikembangkan untuk memperbaiki kelemahan tersebut, salah satu variasi dari metode elemen hingga yang cocok untuk pemodelan perambatan gelombang adalah metode DG. Perbedaan utama metode ini dengan metode elemen hingga konvensional adalah, DG tidak mempertahankan kesinambungan (*continuity*) nilai variabel antar elemen pada setiap sisi elemen. Sebagai kompensasinya, hubungan antar elemen dilakukan dengan perhitungan fluks. Dengan demikian konservasi perhitungan terjaga. Perhitungan fluks tersebut mengadopsi dari perhitungan fluks metode volume hingga (Le Veque, 2002) yang sudah terbukti handal untuk perhitungan gelombang kejut pada aliran gas berkecepatan tinggi. Pranowo (2007) menggunakan metode DG dengan basis berorde delapan untuk simulasi numerik perambatan gelombang akustik dalam ruang berbentuk ellips dan kotak, perbandingan dengan jawaban eksak untuk permasalahan gelombang berdiri (*standing wave*) menunjukkan akurasi metode DG adalah eksponensial terhadap orde basis, sedangkan Lahivaara dkk (2008) menggunakan metode DG dengan basis linier untuk analisis pola direktivitas loudspeaker, perbandingan dengan data eksperimen menunjukkan kesesuaian yang bagus.

Melihat hasil yang dicapai oleh Pranowo (2007) dan Lahivaara dkk (2008), maka penelitian ini melanjutkan penelitian Pranowo (2007) untuk memecahkan persoalan gelombang akustik yang nyata dan melanjutkan ke pengembangan dua dan tiga dimensi.

2.2. Penelitian Tentang Metode Discontinuous Finite Element

Metode Discontinuous Finite Element yang berkembang dulu adalah dengan pendekatan Galerkin diawali oleh Reed dan Hill pada tahun 1973 untuk perhitungan Neutron Transport. tetapi kemudian berkembang untuk penyelesaian masalah lainnya terutama mekanika fluida. Cockburn & Shu (1998) secara intensif mengembangkan metode Discontinuous Galerkin (DG) untuk menyelesaikan persamaan yang mempunyai suku konveksi dominan. Hartmann (2002) menggunakan metode *adaptive mesh refinement* DG untuk menyelesaikan persamaan Euler kompressibel.

Profesor Karniadakis dari Brown University bersama mahasiswa doktoral bimbingannya (Karniadakis and Sherwin, 1999) mengkombinasikan metode spectral element dengan metode DG untuk permasalahan mekanika fluida. Hesthaven dan Warburton (2008) mengembangkan metode DG orde tinggi untuk beraneka macam aplikasi.

Penelitian terbaru tentang penggunaan metode Galerkin orde tinggi untuk perambatan gelombang elastik dilakukan oleh Kaser dan Dumbser (2005). Mereka menggunakan kombinasi skema ADER untuk turunan waktu dengan metode Discontinuous Galerkin untuk turunan ruang, akurasi perhitungan dapat mencapai orde-10.

2.3. Penelitian Sekarang

Penelitian ini bertumpu pada penelitian nodal discontinuous galerkin orde tinggi yang dilakukan oleh Profesor Hesthaven dan para koleganya dari Universitas Brown Amerika Serikat (Hesthaven and Warburton, 2008). Metode DG tersebut diperluas cakupannya untuk pemodelan gelombang akustik dalam ruangan 3 dimensi yang berbentuk kompleks. Selain itu hasil perhitungan numerik

juga divalidasi dengan hasil pengukuran di lapangan dan hasil simulasi perangkat lunak CATT.

2.4. Persamaan Model

Persamaan elastodinamik yang memodelkan perambatan gelombang elastik 3 dimensi (Le Veque, 2002):

$$\frac{\partial \mathbf{q}}{\partial t} + \mathbf{A} \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial x} + \mathbf{B} \frac{\partial \mathbf{q}}{\partial y} = \mathbf{f} \quad (2.1)$$

$$\mathbf{q} = \begin{bmatrix} p \\ v_x \\ v_y \\ v_z \end{bmatrix}; \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & \rho a^2 & 0 & 0 \\ \frac{1}{\rho} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \rho a^2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{\rho} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & \rho a^2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{\rho} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

p	:	tekanan
v_x, v_y, v_z	:	kecepatan searah sumbu x, y dan z
t	:	waktu
x, y, z	:	sumbu koordinat
a	:	kecepatan bunyi
ρ	:	densitas
\mathbf{f}	:	<i>body force</i> dan bertindak sebagai sumber suara

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Tujuan dari rencana penelitian yang diajukan adalah seperti berikut:

- Mengembangkan algoritma metode numerik Discontinuous Galerkin (DG) orde tinggi (diskretisasi dan persamaan model) untuk penyelesaian persamaan perambatan gelombang akustik.
- Membuat simulator perambatan gelombang akustik untuk pemodelan perilaku akustik dalam rancangan ruang arsitektural.
- Melakukan validasi pengukuran lapangan untuk menguji keakuratan hasil simulasi

3.2. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang dapat diambil dari hasil penelitian ini dapat ditinjau dari beberapa aspek, yaitu:

Dari tinjauan akustik ruang:

Perancangan gedung dengan fungsi pertunjukan, pertemuan, dan peribadatan lasim akan menuntut performa akustik ruang yang baik. Gedung tidak saja indah namun juga harus mampu mendukung kejelasan suara pembicara yang ditangkap oleh audiennya, dan atau harus nyaman dan merdu didengar alunan musiknya. Kajian terukur ini, di dalam proses perancangan arsitektur akan menjadi suatu permasalahan yang rumit, terutama apabila dilakukan dengan perhitungan secara manual. Perhitungan akan sangat menyita waktu karena tidak dapat dilakukan sekali saja, namun perlu berulang kali untuk mencapai hasil akhir yang optimum. Penyelesaiannya tidak saja menuntut tindakan kalkulasi namun juga tindakan disain yang berkaitan dengan penataan komponen geometri ruang.

Untuk mengatasi permasalahan di atas, dukungan kajian akustik ruang dengan program komputer sangat dibutuhkan. Sistem komputasi dan sekaligus

simulasi akan sangat mendukung kecepatan, dan keakuratan hasil perancangan. Metoda ini tidak saja memudahkan penyelesaian permasalahan matematis namun juga dapat memberi ilustrasi pemodelan yang lebih representatif sehingga perancang maupun pengguna yang awam bisa lebih mudah memahami fenomenanya.

Berdasarkan kebutuhan ini, maka di dalam penelitian ini akan dirancang dan dikembangkan perangkat lunak untuk simulasi akustik ruang. Meskipun perkembangan program simulasi akustik ruang telah banyak dan sangat maju perkembangannya, kajian dengan pendekatan metoda numerik yang akan dilakukan berbeda dari yang telah ada, dengan penekanan pada keakurasian yang lebih tinggi.

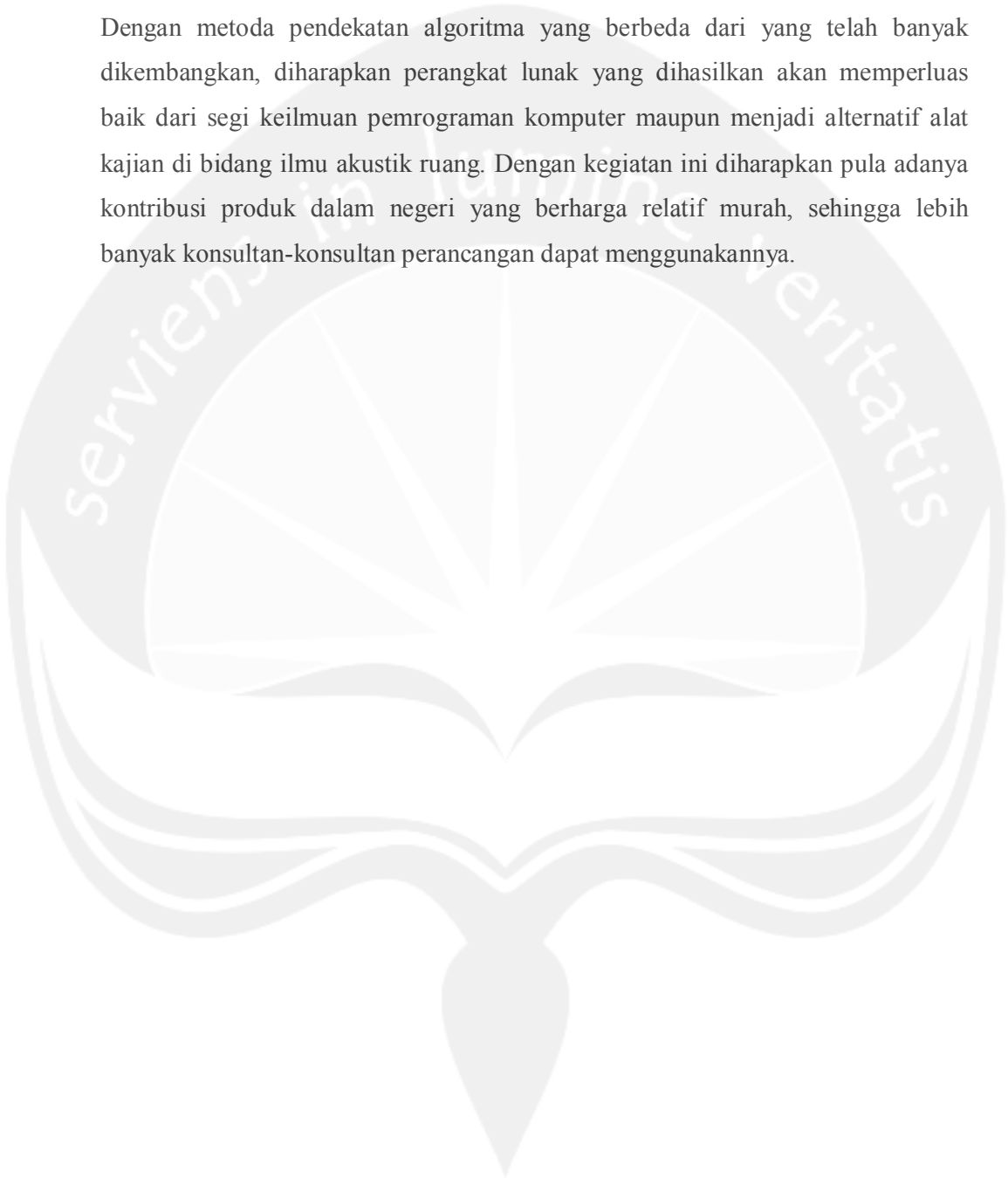
Dari tinjauan Komputasi Numerik:

Pengembangan metode numerik baru diharapkan memperluas cakupan suatu metode numerik. Dalam penelitian ini, metode Discontinuous Finite Element atau disebut juga metode Discontinuous Galerkin (DG) orde tinggi diperluas cakupannya untuk menyelesaikan persamaan akustik. Hasil yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah: algoritma dan paket program hasil implementasi algoritma tersebut ke dalam program komputer. Algoritma tersebut meliputi jабaran diskretisasi persamaan elastodinamik dengan metode DG dan struktur data untuk menyimpan kisi-kisi (mesh) dan variabel-variabel hasil diskretisasi. Hasil perhitungan numerik juga diharapkan lebih akurat dibanding metode numerik yang sudah ada, yakni: *ray tracing* dan metode beda hingga. Hasil perhitungan numerik tersebut akan divalidasi dengan data uji lapangan yang diukur di auditorium Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

Dari tinjauan Industri Perangkat Lunak Indonesia:

Perkembangan perangkat lunak untuk perancangan akustik ruang telah banyak dikembangkan, baik yang sederhana hingga yang canggih. Program-program komputer tersebut sebagian besar diproduksi oleh peneliti-peneliti dan perusahaan-perusahaan perangkat lunak luar negeri dengan harga yang signifikan

tinggi. Penelitian ini merupakan partisipasi aktif dari civitas akademika universitas Atma Jaya Yogyakarta untuk ikut berbicara dalam pasar tersebut. Dengan metoda pendekatan algoritma yang berbeda dari yang telah banyak dikembangkan, diharapkan perangkat lunak yang dihasilkan akan memperluas baik dari segi keilmuan pemrograman komputer maupun menjadi alternatif alat kajian di bidang ilmu akustik ruang. Dengan kegiatan ini diharapkan pula adanya kontribusi produk dalam negeri yang berharga relatif murah, sehingga lebih banyak konsultan-konsultan perancangan dapat menggunakannya.



BAB IV

METODE PENELITIAN

Penelitian yang diajukan pada tahun pertama dirancang sebagai penelitian dengan kaji pustaka. Kaji Pustaka meliputi penjabaran diskretisasi persamaan model dengan metode RKDG, perancangan algoritma dan penulisan source code.

4.1. Kaji Pustaka

Penelitian yang diajukan dirancang sebagai penelitian dengan kaji pustaka dengan validasi hasil pengukuran data lapangan. Secara garis besar penelitian akan dimulai dengan membangun program perangkat lunak (*source code*) dan melengkapi dengan *interface* pemakaian. Bersamaan dengan kegiatan tersebut akan dilakukan persiapan dengan melakukan pengujian koefisien serap bahan untuk bahan input kondisi batas (*boundary condition*) dari model. Selanjutnya pengujian dengan menjalankan simulasi baik hasil penelitian maupun menggunakan software komersial serta pengukuran lapangan dilakukan dengan bentuk model yang sama. Hasil dari pengujian kemudian diperbandingkan dan untuk lebih menguatkan kajian hubungan antar hasil yang ada akan dilakukan kajian korelasi. Untuk tahun pertama pengembangan perangkat lunak akan difokuskan pada simulasi 3 dimensi dengan keluaran pengukuran parameter SPL dan RT. Sedang untuk tahun ke dua akan dilakukan pengembangan lanjut untuk simulasi 3 dimensi ditambah dengan keluaran pengukuran parameter LF, STI, D50 dan C80.

Kaji Pustaka dilakukan di Laboratorium Komputasi Teknik Informatika dan Laboratorium Digital Arsitektur di Fakultas Teknik Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Peralatan untuk pengembang perangkat lunak

- a. Komputer dengan spesifikasi processor dual core 3 ghz, ram 2 gb (setelah diupgrade, VGA NVidia dengan GPU yang tinggi serta hardisk 1 TB.

Dengan kemampuan setelah upgrade seperti ini diharapkan kemampuannya dapat mempercepat proses komputasi yang dibutuhkan.

- b. Perangkat lunak yang digunakan untuk mendukung pengembangan:
 - 1) Program MS Visual C++ 2010 dan Matlab untuk mentransfer algoritma numerik ke *source code* komputer (*solver*).
 - 2) Program Gambit fluent akan digunakan untuk membangun mesh dari model (*Preprocessor*).
 - 3) Program Paraview untuk memvisualisasikan secara grafis hasil kalkulasi (*postprocessor*).
 - 5) Program CATT (Dalenback, 2002) merupakan program simulasi akustik ruang komersial yang akan dipakai untuk kaji komparasi.

4.2. Tahapan Penelitian Tahun II

Untuk mencapai hasil yang dituju tersebut, penelitian direncanakan untuk dilaksanakan dengan 2 tahap, dengan masing-masing tahap berdurasi 1 (satu) tahun. Untuk Tahun II tahapan penelitian adalah seperti berikut:

a. Kajian Teori :

- Penjabaran diskretisasi persamaan model dengan metode Discontinuous Finite Element atau DG method 3D, perancangan algoritma dan penulisan source code. Mengembangkan dan melengkapi algoritma numerik dengan formula-formula fisik akustik. Dalam tahap ini dibatasi untuk parameter akustik adalah sound pressure level (SPL) dan reverberation time (RT).
- Pembangunan perangkat lunak utama 3 dimensi beserta interface program (*user interface*) untuk memudahkan dan menstrukturkan pemasukan data dan pengolahan data kalkulasi.
- Pelaksanaan simulasi akustik dengan model bentuk ruang segi empat sederhana dengan obyek penghalang sebagai uji awal .

b. Kajian Validasi

- Melakukan simulasi akustik dengan model ruang kotak yang sudah diketahui jawaban analitiknya.

- Melakukan kajian laboratorium pengukuran nilai koefisien serap bahan akustik. Bahan akustik yang diuji adalah bahan akustik yang ada di pasar dan lasim digunakan untuk konstruksi dinding lantai & plafon.
- Melanjutkan dengan pengukuran lapangan dan pengujian perilaku bunyi di dalam ruang uji akustik.
- Melakukan simulasi akustik dengan program CATT dengan model ruang uji akustik dan parameter uji SPL & RT.
- Hasil uji lapangan dan simulasi CATT akustik diperbanding dengan hasil simulasi numeric metode DG dan dianalisis korelasinya secara statistik.
- Hasil perbandingan pada setiap tahapan akan digunakan untuk meneliti ulang dan memperbaiki algoritma yang dibangun.

4.3 Metode Numerik Runge-Kutta Discontinuous Galerkin

Bagian ini memberikan penjelesan tentang diskretisasi suku-suku yang mengandung turunan persamaan model dengan metode discontinuous galerkin orde tinggi untuk permasalahan 3 dimensi. Bab ini banyak mengacu dari referensi Hesthaven and Warburton (2008), kontribusi bab ini adalah perluasan dari teori yang terdapat dalam referensi tersebut untuk pemodelan perambatan gelombang akustik.

Metode DG digunakan untuk menyelesaikan persamaan akustik, yaitu persamaan (2). Domain ruang tiga dimensi Ω dibagi menjadi sejumlah elemen tetrahedron yang tidak saling tumpang tindih:

$\Omega \approx \Omega_h = \bigcup_{k=1}^K D^k$, dengan D^k adalah elemen segitiga bersisi lurus. Vektor \mathbf{q}

didekati secara numerik dengan: $\mathbf{q}(\mathbf{x}, t) \approx \mathbf{q}_h(\mathbf{x}, t) = \bigoplus_{k=1}^K \mathbf{q}_h^k(\mathbf{x}, t)$

$\mathbf{x} = (x, y, z)$ dan fungsi lokal $\mathbf{q}_h^k(\mathbf{x}, t)$ diekspansikan menjadi:

$\mathbf{q}_h^k(\mathbf{x}, t) = \sum_{i=1}^{N_p} \mathbf{q}_h^k(\mathbf{x}_i^k, t) l_i^k(\mathbf{x})$ Fungsi $l_i^k(\mathbf{x})$ adalah polinomial Lagrange pada titik-

titik (nodal) Gauss-Lobatto-Legendre \mathbf{x}_i yang terletak dalam elemen D^k . Selain

diekspansikan menggunakan polinomial Lagrange (ekspansi nodal), fungsi $\mathbf{q}_h^k(\mathbf{x}, t)$ juga dapat diekspansikan dengan polinomial berjenis Jacobi ψ_n secara langsung (ekspansi modal):

$$\mathbf{q}_h^k(\mathbf{x}, t) = \sum_{n=1}^{N_p} \hat{\mathbf{q}}_h^k(t) \psi_n(\mathbf{x}) \quad (4.1)$$

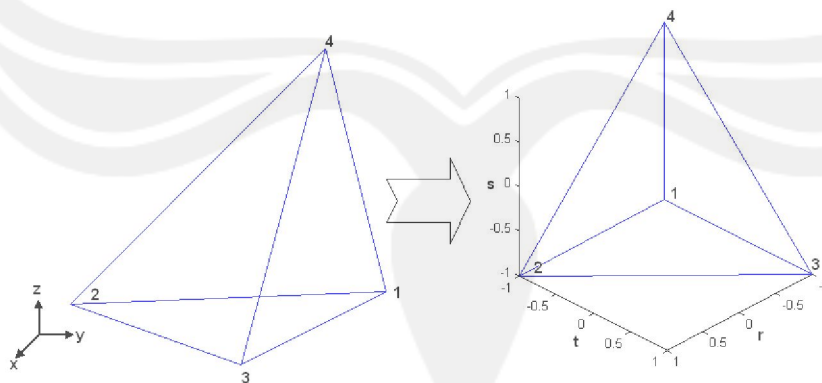
N_p menyatakan jumlah nodal Gauss_Lobatto_Legendre dan juga menyatakan jumlah suku ekspansi modal.

$$N_p = \frac{(N+1)(N+2)(N+3)}{6}$$

N adalah orde fungsi ekspansi.

Fungsi pemetaan ψ memetakan elemen tetrahedron fisis ke elemen tetrahedron referensi $(x, y, z) \in D^k \rightarrow (r, s, t) \in I$, I didefinisikan sebagai:

$$I = \{ \mathbf{r} = (r, s, t) \mid (r, s, t) \geq -1; r + s + t \leq 0 \} \quad (4.2)$$



Gambar 4.1. Pemetaan elemen tetrahedron fisis ke elemen tetrahedron referensi

Keempat vertex tetrahedron fisis :

$$(v^1(x^1, y^1, z^1), v^2(x^2, y^2, z^2), v^3(x^3, y^3, z^3), v^4(x^4, y^4, z^4))$$

yang diurutkan secara berlawanan jarum jam akan dipetakan menjadi :

$$(v^1(-1, -1, -1), v^2(1, -1, -1), v^3(-1, 1, -1), v^4(-1, -1, 1))$$

Dengan menggunakan pemetaan tersebut maka koordinat (x, y, z) dipetakan ke (r, s, t) :

$$\psi(\mathbf{r}) = \mathbf{x} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} = -\frac{r+s+t+1}{2} \begin{pmatrix} x^1 \\ y^1 \\ z^1 \end{pmatrix} + \frac{r+1}{2} \begin{pmatrix} x^2 \\ y^2 \\ z^2 \end{pmatrix} - \frac{s+1}{2} \begin{pmatrix} x^3 \\ y^3 \\ z^3 \end{pmatrix} + \frac{t+1}{2} \begin{pmatrix} x^4 \\ y^4 \\ z^4 \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

Jacobian J diberikan:

$$J = x_r(y_s z_t - z_s y_t) - y_r(x_s z_t - x_s x_t) + z_r(x_s y_t - y_s x_t) \quad (4.4)$$

Vektor normal terhadap sisi tetrahedron dihitung dengan rumus:

$$\mathbf{n}^1 = -\frac{\nabla t}{\|\nabla t\|}, \quad \mathbf{n}^2 = -\frac{\nabla s}{\|\nabla s\|}, \quad \mathbf{n}^3 = \frac{\nabla r + \nabla s + \nabla t}{\|\nabla r + \nabla s + \nabla t\|}, \quad \text{dan } \mathbf{n}^4 = \frac{\nabla r}{\|\nabla r\|} \quad (4.5)$$

Dengan menggunakan aproksimasi polinomial yang bersifat lokal untuk setiap elemen maka persamaan (4.1) dapat ditulis:

$$\mathbf{q}(\mathbf{r}) = \sum_{n=1}^{N_p} \hat{\mathbf{q}}_n \psi_n(\mathbf{r}) = \sum_{i=1}^{N_p} \mathbf{q}(\mathbf{r}_i) \gamma_i(\mathbf{r})$$

Dengan memasukkan nodal GLL ke dalam persamaan di atas akan diperoleh hubungan: $\mathbf{V}\hat{\mathbf{q}} = \mathbf{q}$ dengan $\hat{\mathbf{q}} = (\hat{\mathbf{q}}_1 \ \hat{\mathbf{q}}_2 \ \dots \ \hat{\mathbf{q}}_{N_p})$ dan $\mathbf{q} = (\mathbf{q}(\mathbf{r}_1) \ \mathbf{q}(\mathbf{r}_2) \ \dots \ \mathbf{q}(\mathbf{r}_{N_p}))$, sedangkan \mathbf{V} adalah matriks Vandermonde:

$V_{ij} = \psi_j(\mathbf{r}_i)$, di mana $\psi_j(\mathbf{r})$ adalah fungsi basis kombinasi polinomial Jacobi:

$$\begin{aligned} \psi_m(\mathbf{r}) &= \sqrt{8} P_i(a) P_j^{(2i+1,0)}(b) (1-b)^i P_k^{(2i+2, j+2, 0)}(c) (1-c)^{i+j}, \\ m &= 1 + \frac{(11+12N+3N^2)i}{6} + \frac{(2N+3)j}{2} + k - \frac{(2+N)i^2}{2} - ij - \frac{j^2}{2} + \frac{i^2}{6} \quad (4.6) \\ (i, j, k) &\geq 0; \quad i + j + k \leq N \end{aligned}$$

$$\text{dengan } a = -2 \frac{1+r}{s+t} - 1, \quad b = 2 \frac{1+s}{1-t} - 1, \quad c = t$$

$P_n^{(\alpha, \beta)}(x)$ adalah fungsi polinomial Jacobi orde- n .

Diskretisasi ruang untuk persamaan (2.1) dengan metode DG menghasilkan:

$$\begin{aligned} &\left(l_n, \frac{\partial \mathbf{q}_h^k}{\partial t} \right)_{D^k} + \left(l_n, \mathbf{A} \frac{\partial \mathbf{q}_h^k}{\partial x} + \mathbf{B} \frac{\partial \mathbf{q}_h^k}{\partial y} + \mathbf{C} \frac{\partial \mathbf{q}_h^k}{\partial z} \right)_{D^k} - (l_n, \mathbf{f}_h^k)_{D^k} \\ &+ (l_n, (\mathbf{A}n_x + \mathbf{B}n_y + \mathbf{C}n_z)(\mathbf{q}_h^k - \mathbf{q}^*))_{\partial D^k} = 0 \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned} &(l_n, l_m)_{D^k} \frac{\partial \mathbf{q}_m}{\partial t} + \mathbf{A} \left(l_n, \frac{\partial l_m}{\partial x} \right)_{D^k} \mathbf{q}_m + \mathbf{B} \left(l_n, \frac{\partial l_m}{\partial y} \right)_{D^k} \mathbf{q}_m + \mathbf{C} \left(l_n, \frac{\partial l_m}{\partial z} \right)_{D^k} \mathbf{q}_m \\ &- (l_n, l_m)_{D^k} \mathbf{f}_m = (\mathbf{A}n_x + \mathbf{B}n_y + \mathbf{C}n_z) (l_n, l_m)_{\partial D^k} (\mathbf{q}_h^k - \mathbf{q}^*) \end{aligned}$$

$$\mathbf{M} \frac{d\mathbf{q}}{dt} + \mathbf{M} \mathbf{D}_x \mathbf{q} + \mathbf{M} \mathbf{D}_y \mathbf{q} + \mathbf{M} \mathbf{D}_z \mathbf{q} - \mathbf{M} \mathbf{f} = (\mathbf{A}n_x + \mathbf{B}n_y + \mathbf{C}n_z) (l_n, l_m)_{\partial D^k} (\mathbf{q} - \mathbf{q}^*)$$

Dengan menggunakan dalil rantai:

$$\begin{aligned} \mathbf{D}_x &= \frac{\partial r}{\partial x} \mathbf{D}_r + \frac{\partial s}{\partial x} \mathbf{D}_s + \frac{\partial t}{\partial x} \mathbf{D}_t & ; & & \mathbf{D}_y &= \frac{\partial r}{\partial y} \mathbf{D}_r + \frac{\partial s}{\partial y} \mathbf{D}_s + \frac{\partial t}{\partial y} \mathbf{D}_t ; \\ \mathbf{D}_z &= \frac{\partial r}{\partial z} \mathbf{D}_r + \frac{\partial s}{\partial z} \mathbf{D}_s + \frac{\partial t}{\partial z} \mathbf{D}_t \\ \mathbf{M} \frac{d\mathbf{q}}{dt} + \mathbf{M} \left(\frac{\partial r}{\partial x} \mathbf{D}_r + \frac{\partial s}{\partial x} \mathbf{D}_s + \frac{\partial t}{\partial x} \mathbf{D}_t \right) \mathbf{q} + \mathbf{M} \left(\frac{\partial r}{\partial y} \mathbf{D}_r + \frac{\partial s}{\partial y} \mathbf{D}_s + \frac{\partial t}{\partial y} \mathbf{D}_t \right) \mathbf{q} + & (4.8) \\ \mathbf{M} \left(\frac{\partial r}{\partial z} \mathbf{D}_r + \frac{\partial s}{\partial z} \mathbf{D}_s + \frac{\partial t}{\partial z} \mathbf{D}_t \right) \mathbf{q} - \mathbf{M} \mathbf{f} &= (\mathbf{A}n_x + \mathbf{B}n_y + \mathbf{C}n_z)(l_n, l_m)_{\partial D^k} (\mathbf{q} - \mathbf{q}^*) \end{aligned}$$

$M_{ij} = \int_{D^k} l_i(\mathbf{x}) l_j(\mathbf{x}) d\mathbf{x} = J^k \int_{I_i} l_i(\mathbf{r}) l_j(\mathbf{r}) d\mathbf{r}$, dengan:

$$\begin{aligned} (MD_r)_{ij} &= J^k \int_{I_i} l_i(\mathbf{r}) \frac{\partial l_j(\mathbf{r})}{\partial r} d\mathbf{r} ; & (MD_s)_{ij} &= J^k \int_{I_i} l_i(\mathbf{r}) \frac{\partial l_j(\mathbf{r})}{\partial s} d\mathbf{r} ; \\ (MD_t)_{ij} &= J^k \int_{I_i} l_i(\mathbf{r}) \frac{\partial l_j(\mathbf{r})}{\partial t} d\mathbf{r} \end{aligned}$$

Perhitungan suku sebelah kanan persamaan (4.8) melibatkan integral permukaan tetrahedron, dengan demikian integral ini dilakukan di empat permukaan tetrahedron:

$$\sum_{surf=1}^4 \sum_{m=1}^{N_p} (\mathbf{A}n_x + \mathbf{B}n_y + \mathbf{C}n_z)(l_n, l_m)_{surf} = \sum_{surf=1}^4 (\mathbf{A}n_x + \mathbf{B}n_y + \mathbf{C}n_z)(M_{2D})_{surf} \quad (4.9)$$

$(M_{2D})_{surf} = (l_n, l_m)_{surf}$ adalah matriks massa dua dimensi.

4.3.3 Integrasi Waktu

Integrasi waktu menggunakan metode *low storage* Runge-Kutta versi Carpenter dan Kennedy (1994). Perhitungan ini mempunyai 5 tingkat perhitungan dengan akurasi berorde-4, metode ini hanya memerlukan 2 tingkat penyimpanan data.

$$\frac{d\mathbf{q}}{dt} = L[t, \mathbf{q}(t)] \quad (4.10)$$

Tahap perhitungan persamaan di atas menggunakan Runge-Kutta di atas adalah:

$$\begin{aligned} d\mathbf{q}_j &= A_j d\mathbf{q}_{j-1} + hL(\mathbf{q}_j) \\ \mathbf{q}_j &= \mathbf{q}_{j-1} + B_j + d\mathbf{q}_j \end{aligned} \quad (4.11)$$

A_j dan B_j : koefisien Runge-Kutta

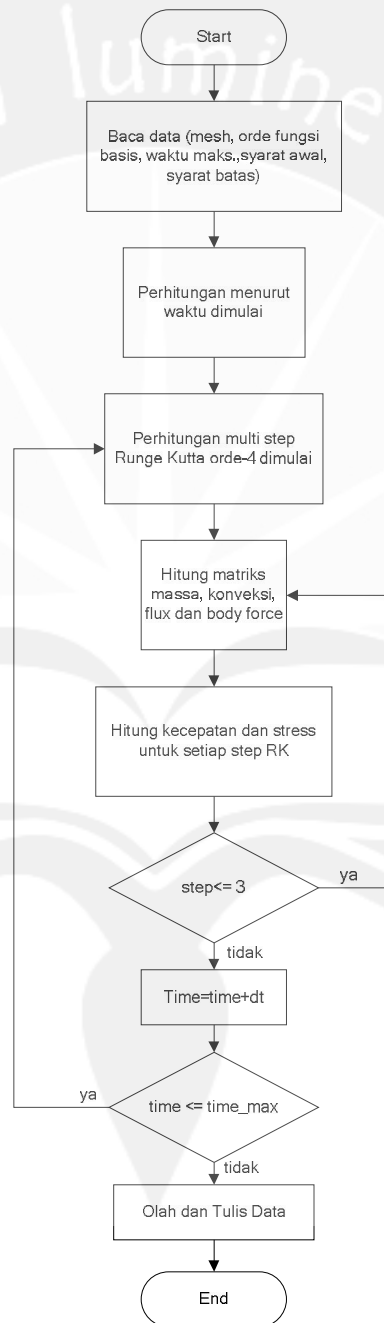
$$\begin{aligned} A &= [\quad 0.0 \dots \\ &\quad -567301805773.0/1357537059087.0 \dots \\ &\quad -2404267990393.0/2016746695238.0 \dots \\ &\quad -3550918686646.0/2091501179385.0 \dots \\ &\quad -1275806237668.0/842570457699.0]; \\ B &= [1432997174477.0/9575080441755.0 \dots \\ &\quad 5161836677717.0/13612068292357.0 \dots \\ &\quad 1720146321549.0/2090206949498.0 \dots \\ &\quad 3134564353537.0/4481467310338.0 \dots \\ &\quad 2277821191437.0/14882151754819.0]; \\ C &= [\quad 0.0 \dots \\ &\quad 1432997174477.0/9575080441755.0 \dots \\ &\quad 2526269341429.0/6820363962896.0 \dots \\ &\quad 2006345519317.0/3224310063776.0 \dots \\ &\quad 2802321613138.0/2924317926251.0]; \end{aligned}$$

4.3.4 Syarat Awal dan Syarat Batas

Syarat awal pada kondisi waktu $t = 0$ adalah semua variabel kecepatan dan stress dalam domain bernilai nol. Sedangkan syarat batas pada permukaan domain adalah kecepatan yang tegal lurus terhadap dinding bernilai nol dan turunan tekanan tegal lurus terhadap dinding bernilai nol. Sumber suara yang dinyatakan sebagai body diberikan nilai yang tergantung pada waktu.

4.3.5. Diagram Alir

Algoritma skema numerik yang dijabarkan di atas kemudian dituangkan ke dalam program komputer menggunakan Visual C++ 2010. Adapun diagram alirnya adalah seperti berikut:



Gambar 4.2. Diagram Alir Skema Numerik

BAB V

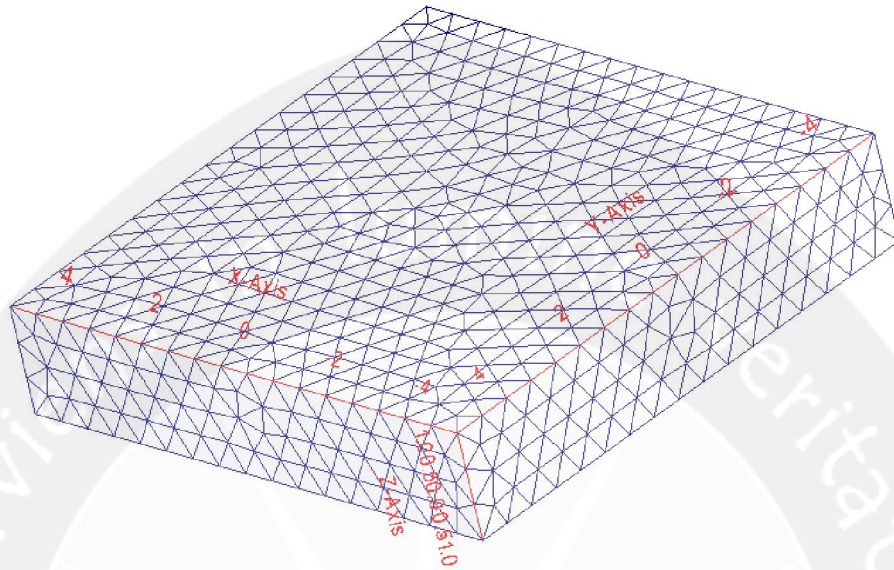
HASIL PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan secara paralel oleh tim peneliti, ketua peneliti bertanggung jawab pada pembuatan program komputer dengan algoritma Discontinuous Finite Element. Sedangkan anggota peneliti membuat simulasi dengan software komersil CATT dan pengukuran lapangan. Pada penelitian ini 4 macam simulasi perambatan gelombang akustik 3-dimensi dilakukan.

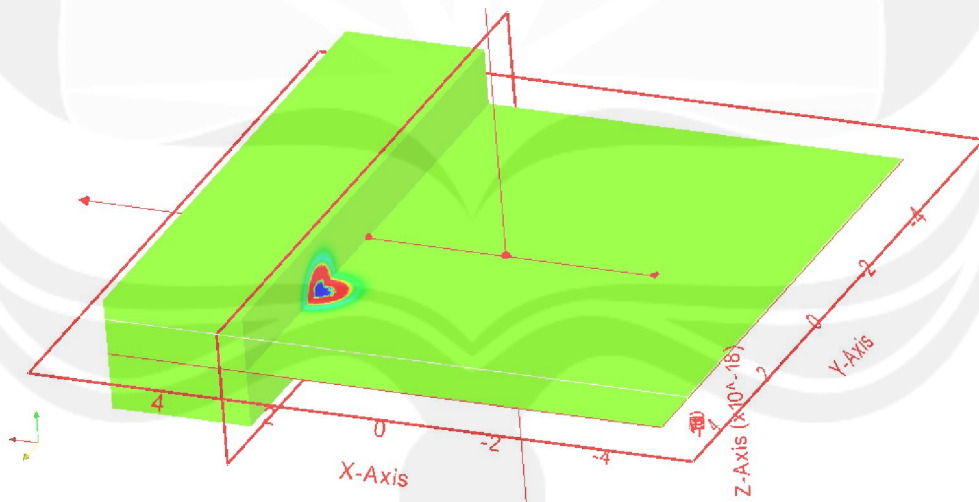
5.1. Simulasi Akustik dalam Ruang Berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$

Contoh ini menunjukkan pola perambatan gelombang akustik dalam ruang yang lebar dengan jarak antara lantai dengan plafon relatif rendah. Pengaruh pantulan plafon dan lantai dapat diperlihatkan dengan jelas. Pada simulasi ini nilai properti udara adalah densitas bernilai 1210 kg/m^3 dan kecepatan suara adalah 343 m/s , sumber gelombang berupa sinyal Ricker dengan frekuensi dominan 500 Hz sehingga panjang gelombang dominan adalah 0.686 m . Ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ dan pusat koordinat terletak di titik tengah ruang. Mesh terdiri dari 7155 elemen tetrahedron (Gambar 5.1), dengan orde polynomial $N = 7$. Sumber suara terletak di posisi $(x,y,z) = (2.5,3.0,0)$ searah sumbu vertikal dan lebar langkah waktu adalah $\Delta t = 0,00002$ detik.

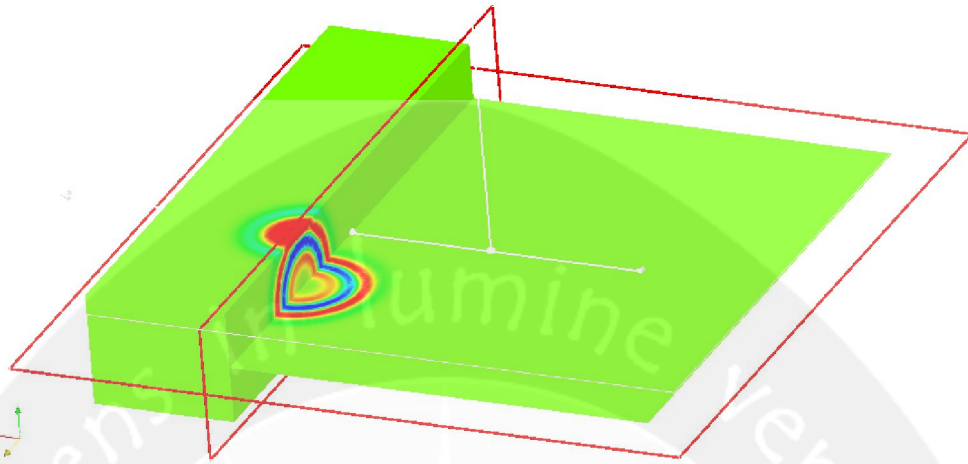
Gambar 5.2a –5.2i menunjukkan gambar urutan perambatan gelombang dalam medium homogen saat waktu $t = 0,0006$ sampai $t = 0,0048$ detik. Dari gambar-gambar tersebut terlihat bahwa front gelombang merambat secara radial ke segala arah, sehingga front gelombang berbentuk bola yang membesar. Kemudian front gelombang dipantulkan oleh lantai dan plafon.



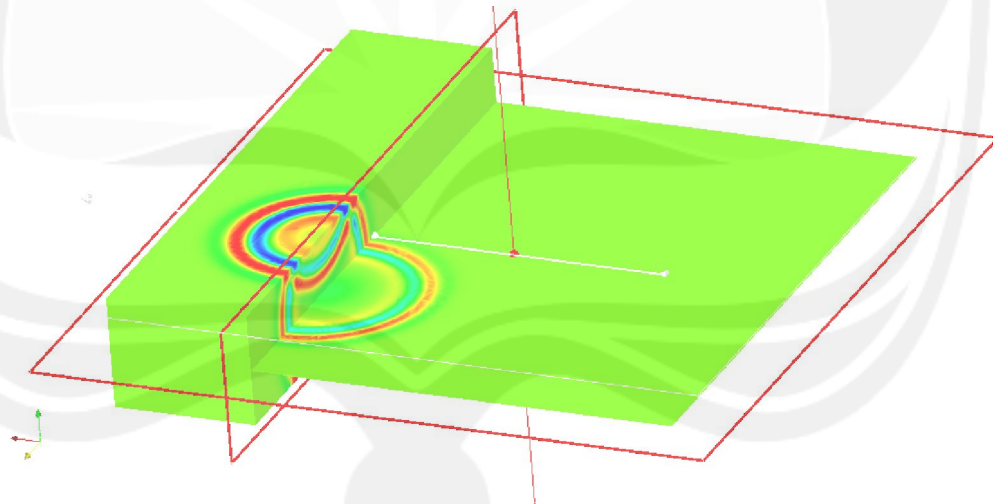
Gambar 5.1. Mesh ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$



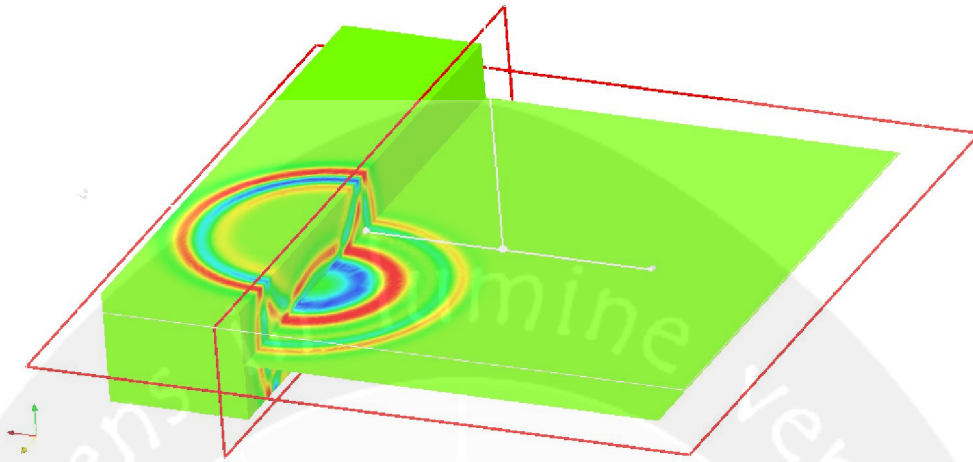
Gambar 5.2a. Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0006 \text{ s}$.



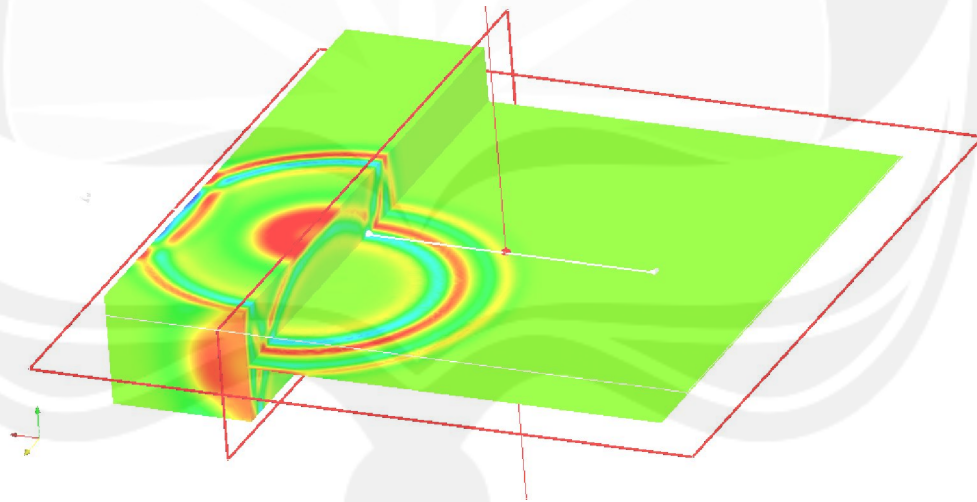
Gambar 5.2b. Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,001 \text{ s}$.



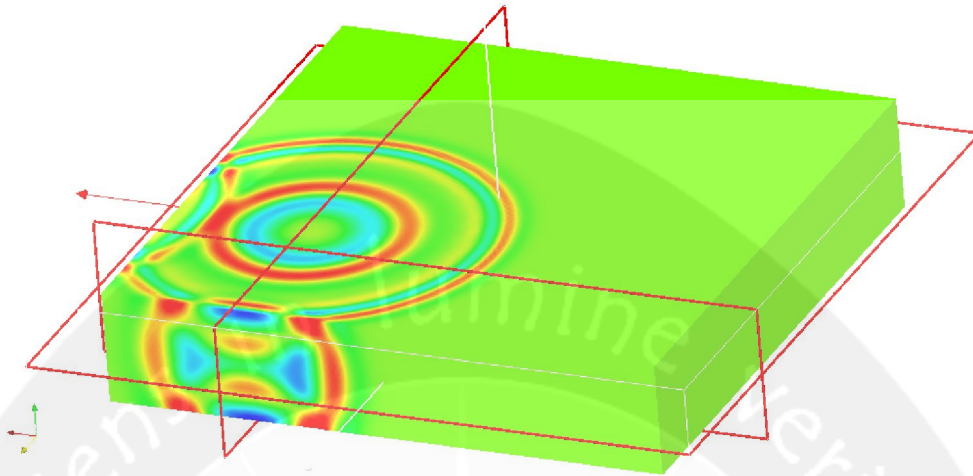
Gambar 5.2c. Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0014 \text{ s}$.



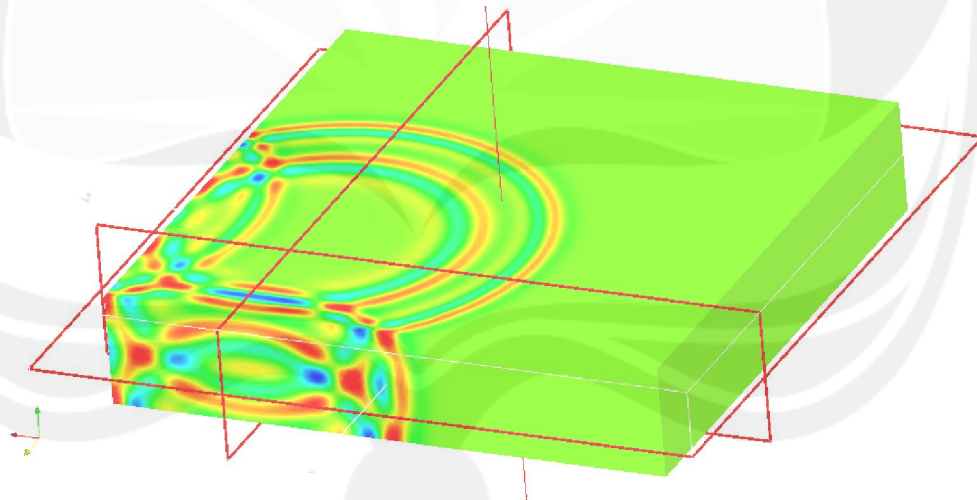
Gambar 5.2d. Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0018 \text{ s}$.



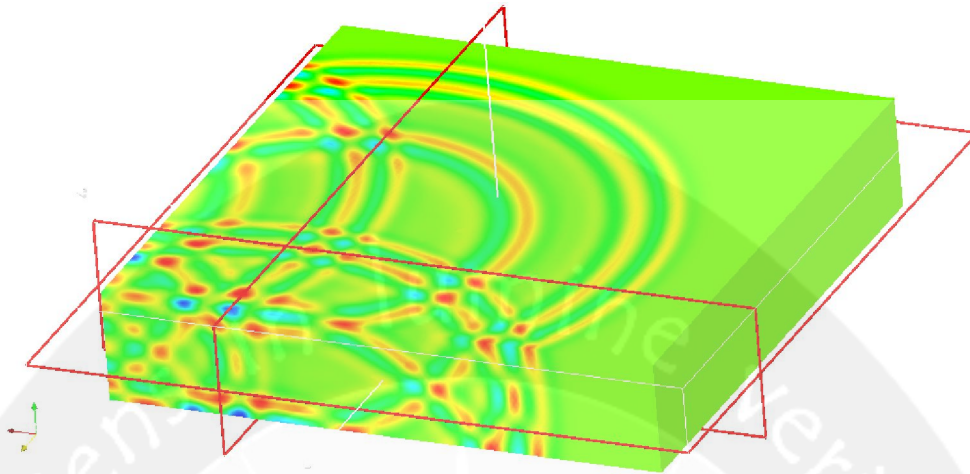
Gambar 5.2e. Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0022 \text{ s}$.



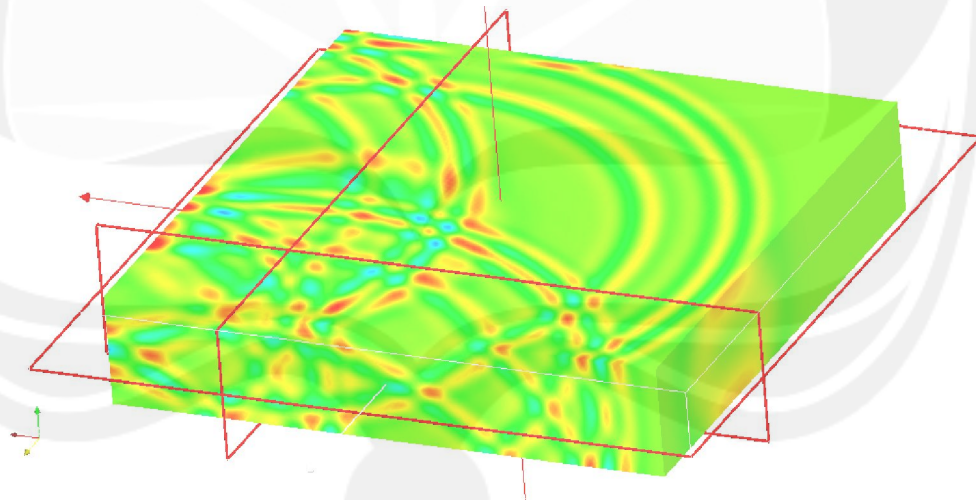
Gambar 5.2f. Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0024 \text{ s}$ pada sisi luar.



Gambar 5.2g. Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0028 \text{ s}$ pada sisi luar.



Gambar 5.2h. Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0040 \text{ s}$ pada sisi luar.

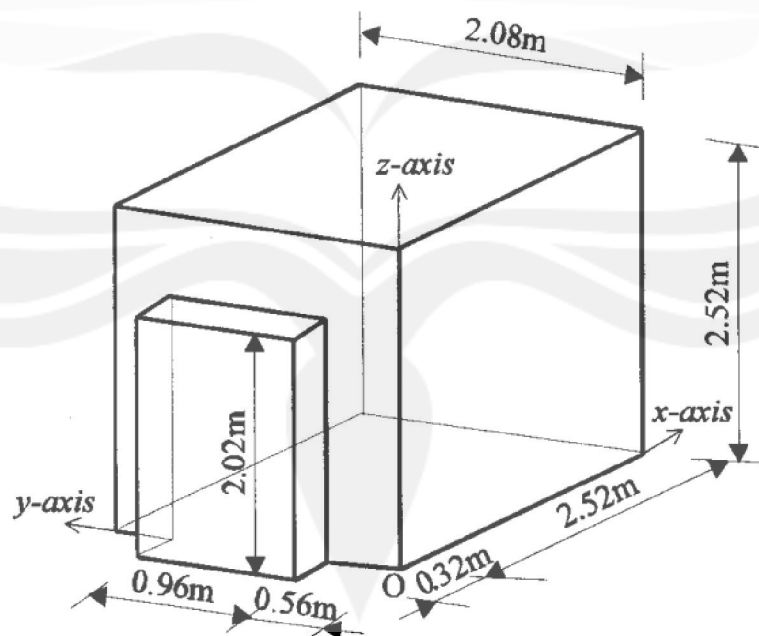


Gambar 5.2i. Perambatan gelombang ruang berukuran $10 \times 10 \times 2 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0048 \text{ s}$ pada sisi luar.

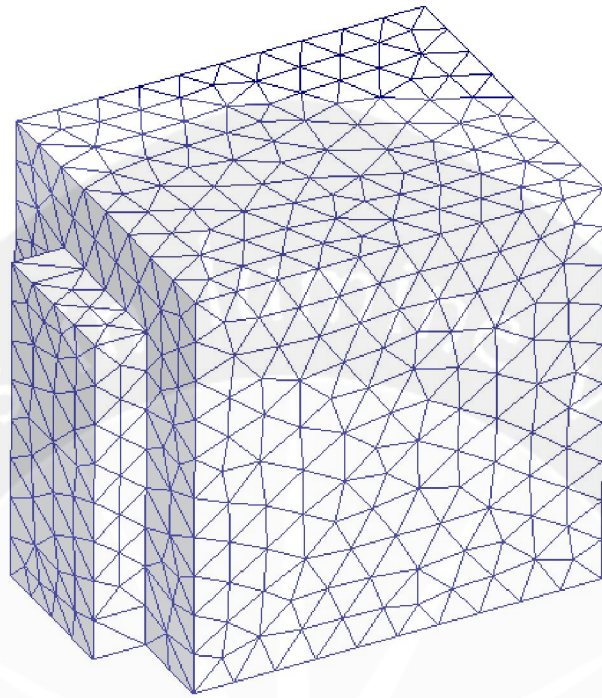
5.2. Simulasi Akustik dalam Ruang Kecil Berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$

Contoh ini menunjukkan pola perambatan gelombang akustik dalam ruang relatif kecil. Pada simulasi ini nilai properti udara adalah densitas bernilai 1210 kg/m^3 dan kecepatan suara adalah 343 m/s , sumber gelombang berupa sinyal Ricker dengan frekuensi dominan 500 Hz sehingga panjang gelombang dominan adalah 0.686 m . Ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ dan pusat koordinat terletak di pojok ruang. Mesh terdiri dari 7155 elemen tetrahedron (Gambar 5.3), dengan orde polynomial $N = 6$. Sumber suara terletak di posisi $(x,y,z) = (1,26, 1,04, 1)$ searah sumbu vertikal dan lebar langkah waktu adalah $\Delta t = 0,00001$ detik.

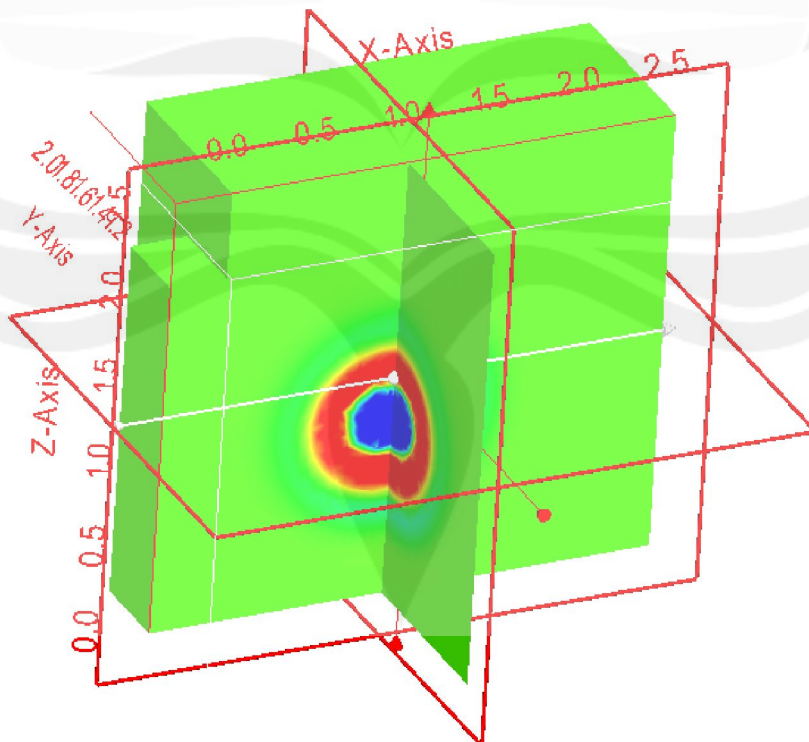
Gambar 5.5a –5.5i menunjukkan gambar urutan perambatan gelombang dalam medium homogen saat waktu $t = 0,0006$ sampai $t = 0,0048$ detik. Dari gambar-gambar tersebut terlihat bahwa front gelombang merambat secara radial ke segala arah, sehingga front gelombang berbentuk bola yang membesar. Kemudian front gelombang dipantulkan oleh lantai dan plafon.



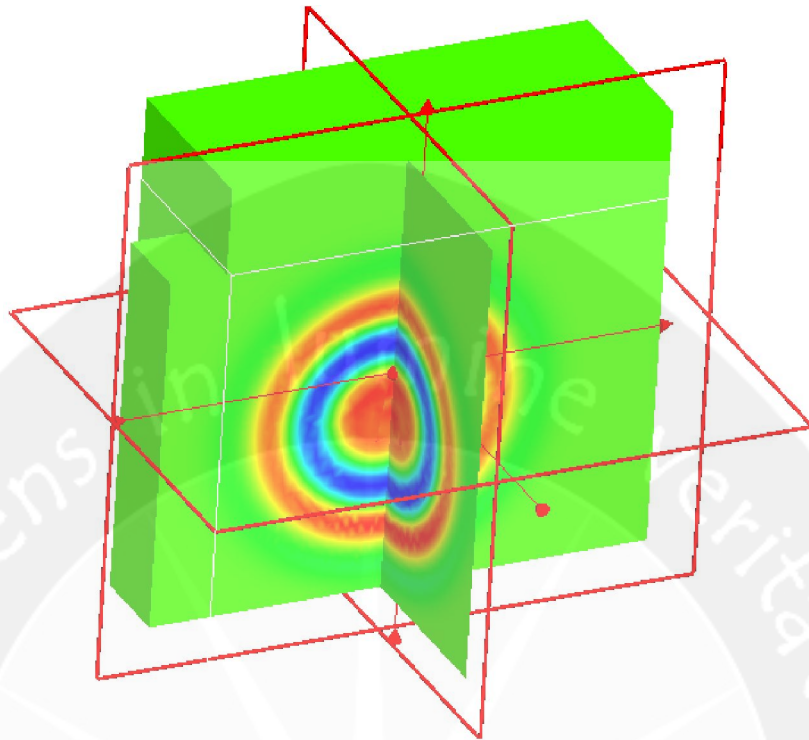
Gambar 5.3. Ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$



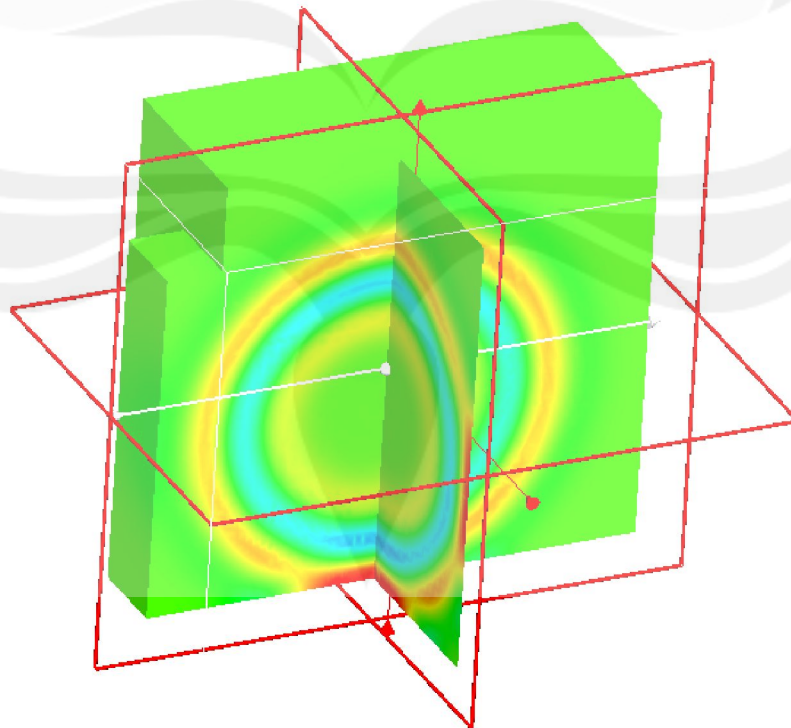
Gambar 5.4. Mesh ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$



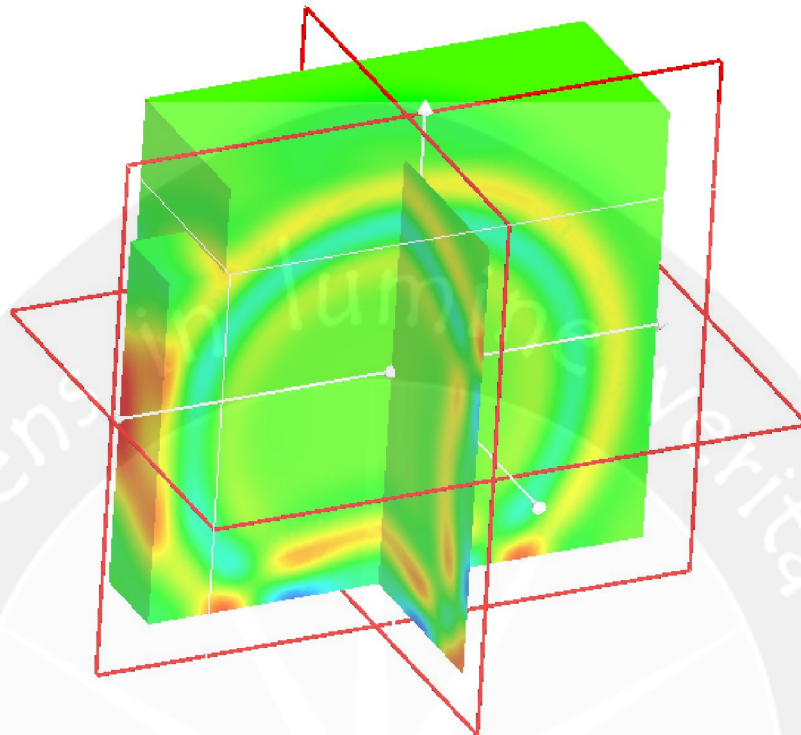
Gambar 5.5a. Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0030 \text{ s}$.



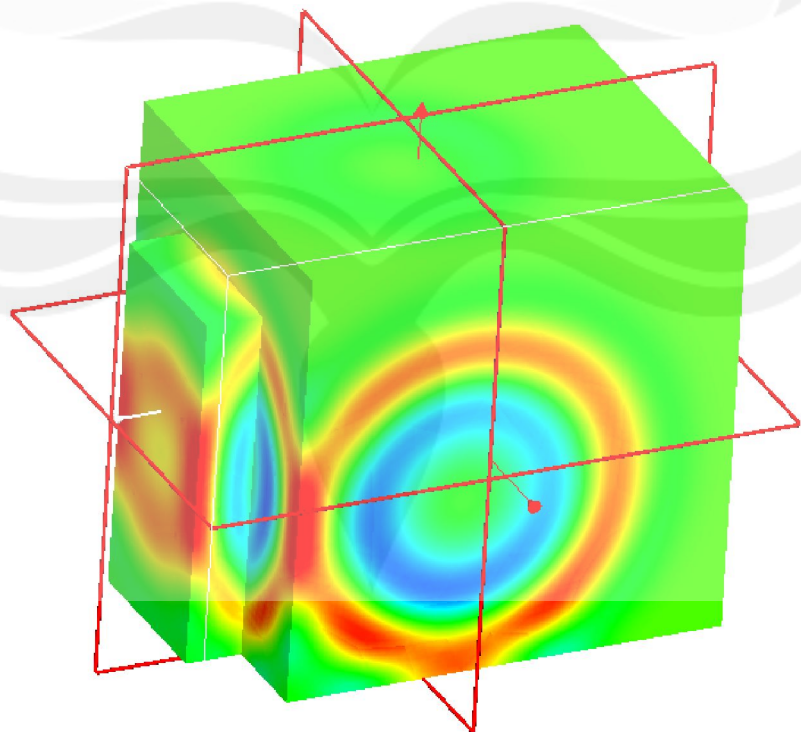
Gambar 5.5b. Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0040 \text{ s}$.



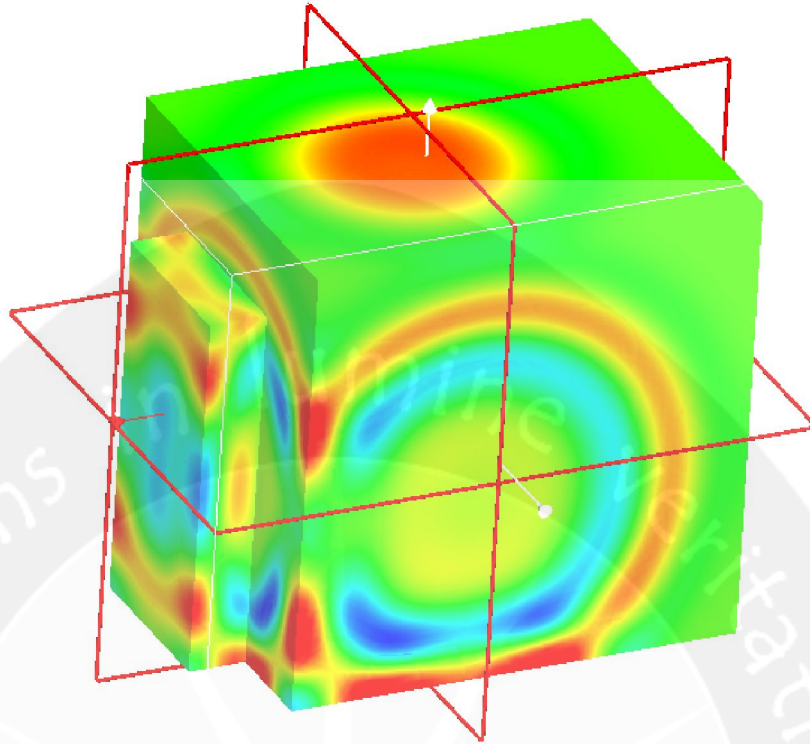
Gambar 5.5c. Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0050 \text{ s}$.



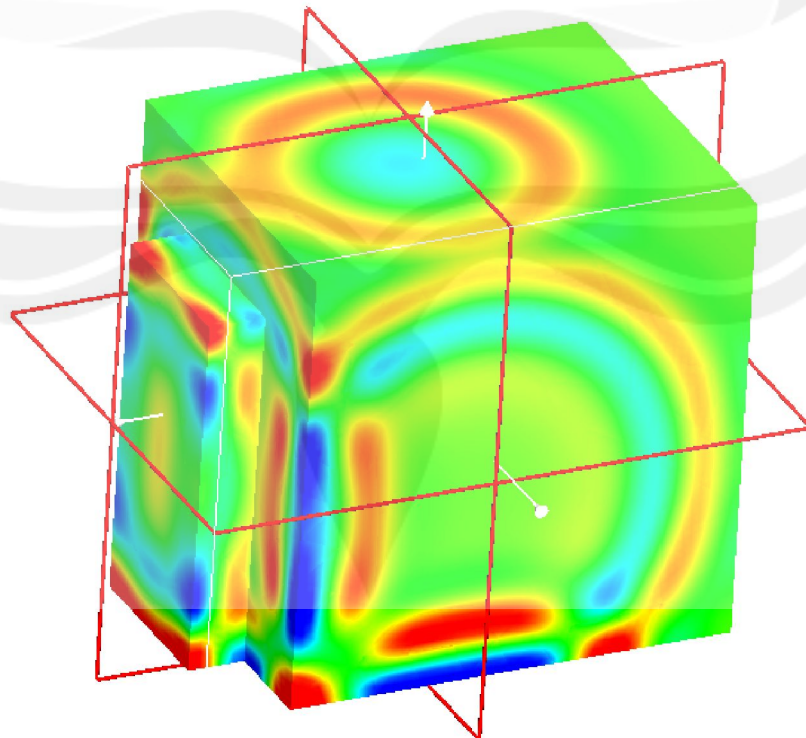
Gambar 5.5d. Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0060 \text{ s}$.



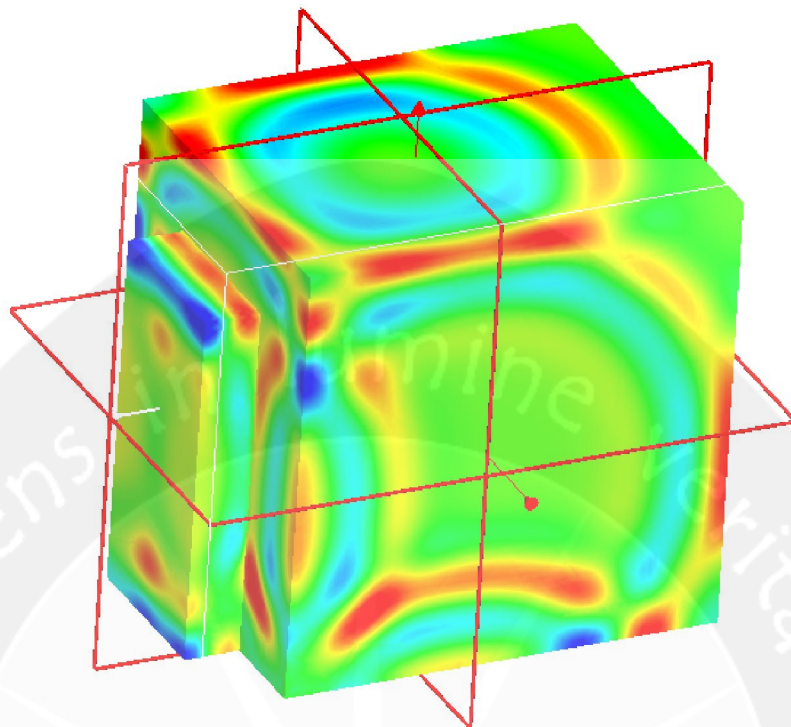
Gambar 5.5e. Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0048 \text{ s}$ pada sisi luar pada sisi luar.



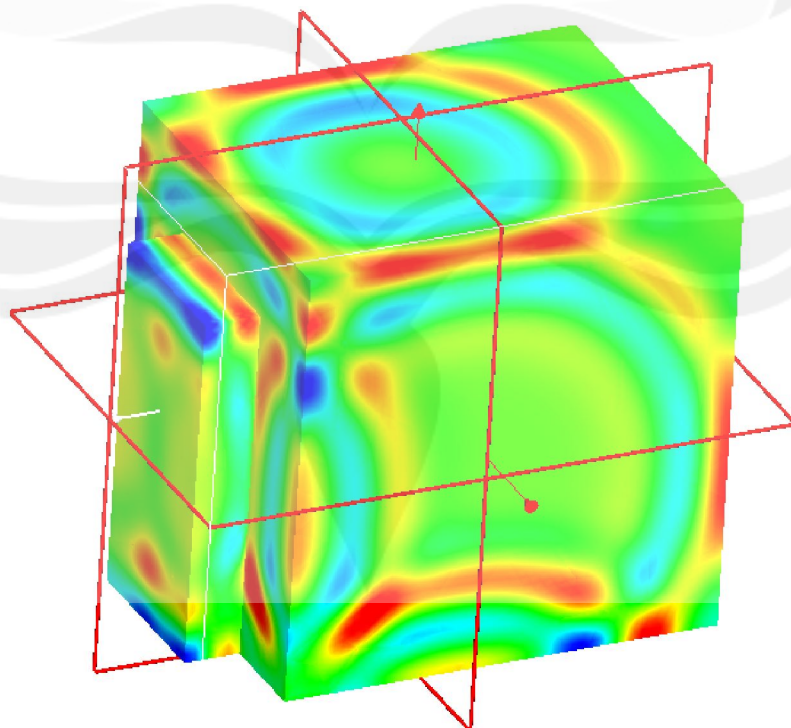
Gambar 5.5f. Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0065 \text{ s}$ pada sisi luar.



Gambar 5.5g. Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0070 \text{ s}$ pada sisi luar.



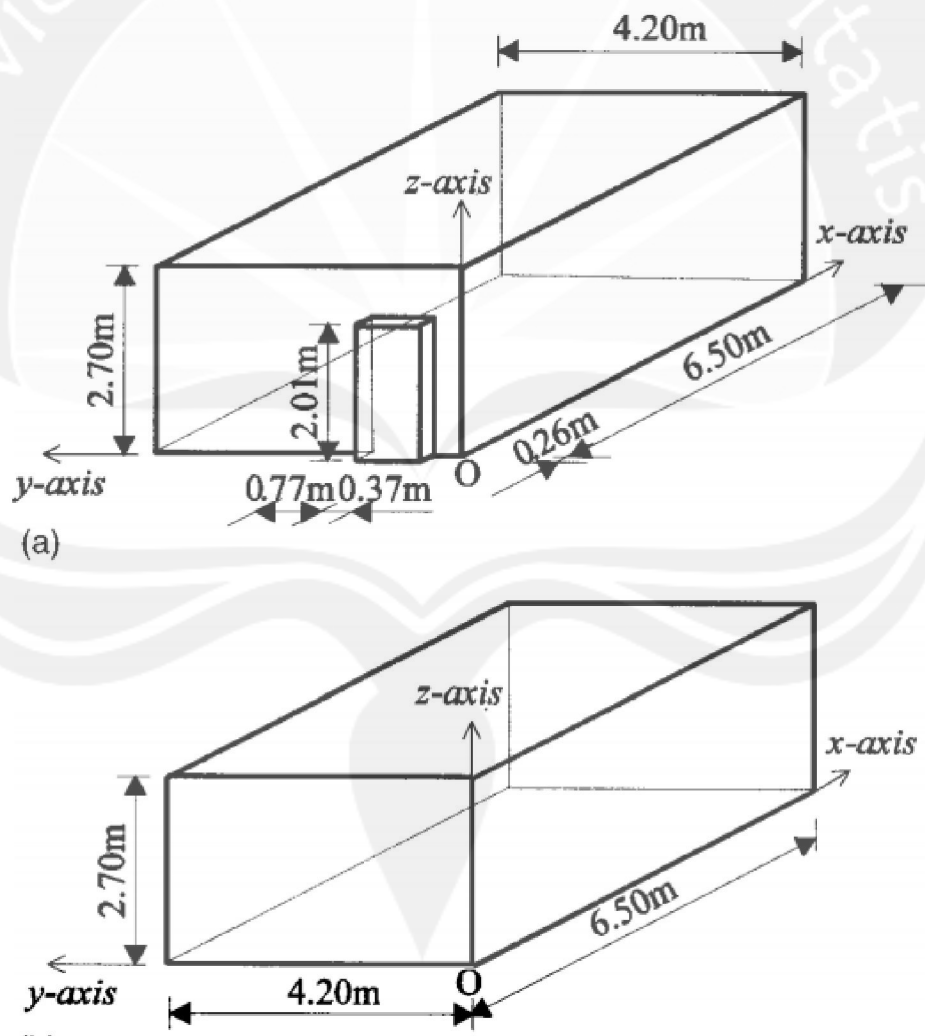
Gambar 5.5h. Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0075 \text{ s}$ pada sisi luar.



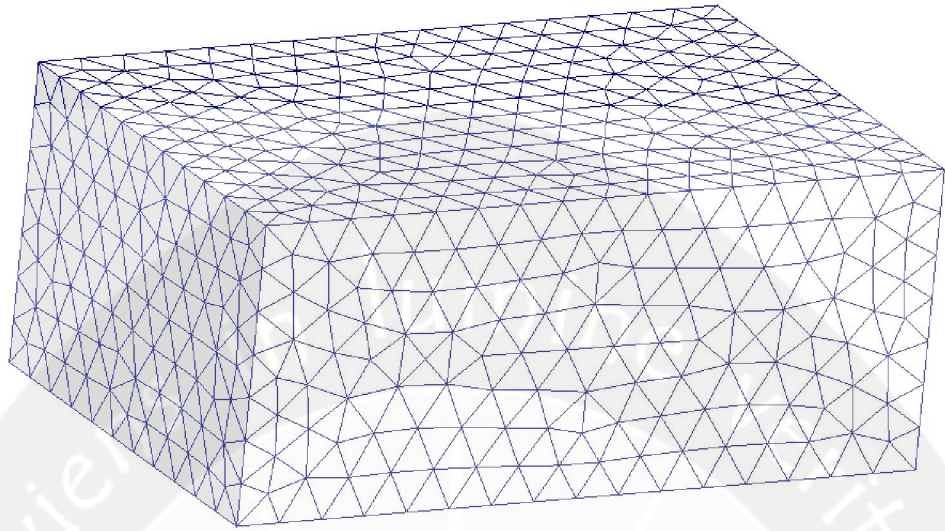
Gambar 5.5i. Perambatan gelombang ruang berukuran $2,52 \times 2,08 \times 2,52 \text{ m}^3$ saat $t = 0,008 \text{ s}$ pada sisi luar.

5.2. Simulasi Akustik dalam Ruang Sedang Berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$

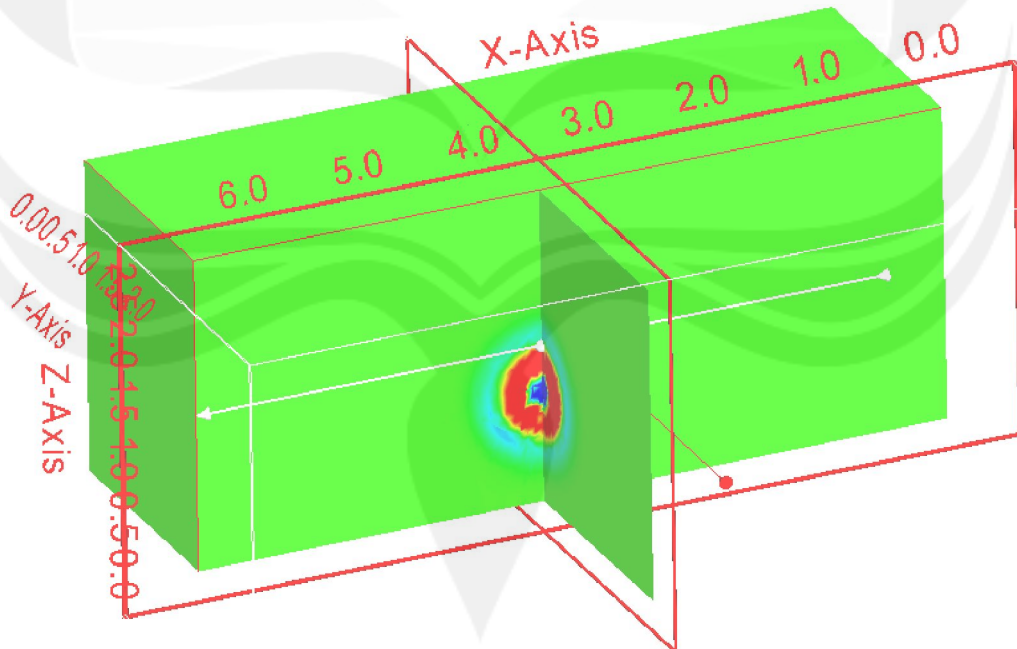
Contoh ini menunjukkan pola perambatan gelombang akustik dalam ruang relatif berukuran sedang. Pada simulasi ini nilai properti udara sama dan sumber bunyi sama dengan contoh 1 dan 2. Ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ dan pusat koordinat terletak di pojok ruang (Gambar 5.6). Mesh terdiri dari 7710 elemen tetrahedron (Gambar 5.7), dengan orde polynomial $N = 6$. Sumber suara terletak di posisi $(x,y,z) = (4,26, 2,1, 1)$ searah sumbu vertikal dan lebar langkah waktu adalah $\Delta t = 0,00002$ detik.



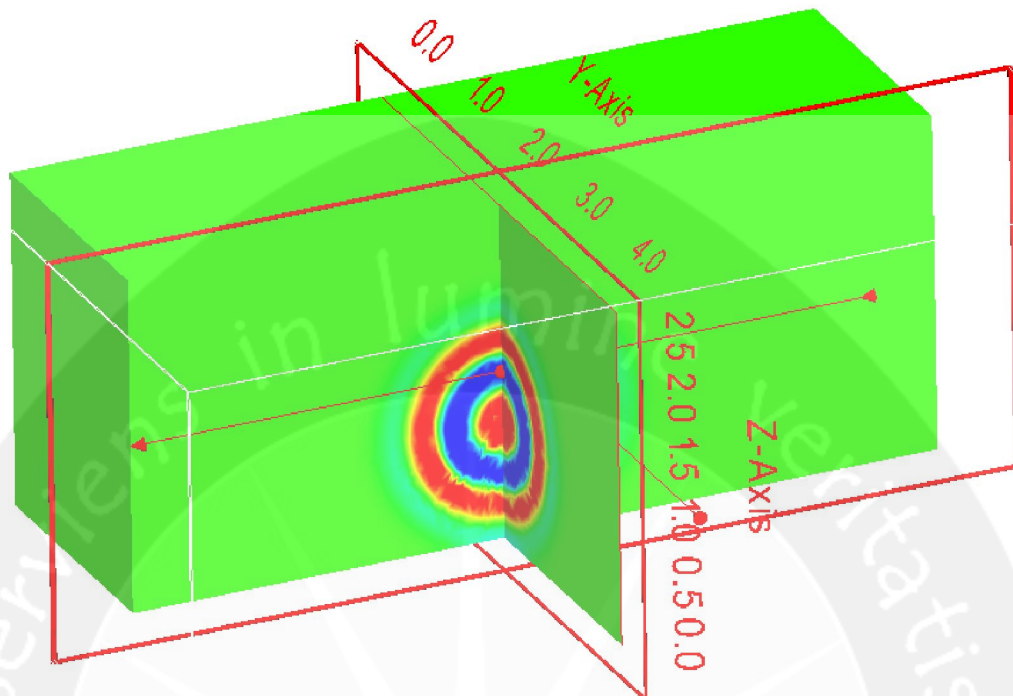
Gambar 5.6. Ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$



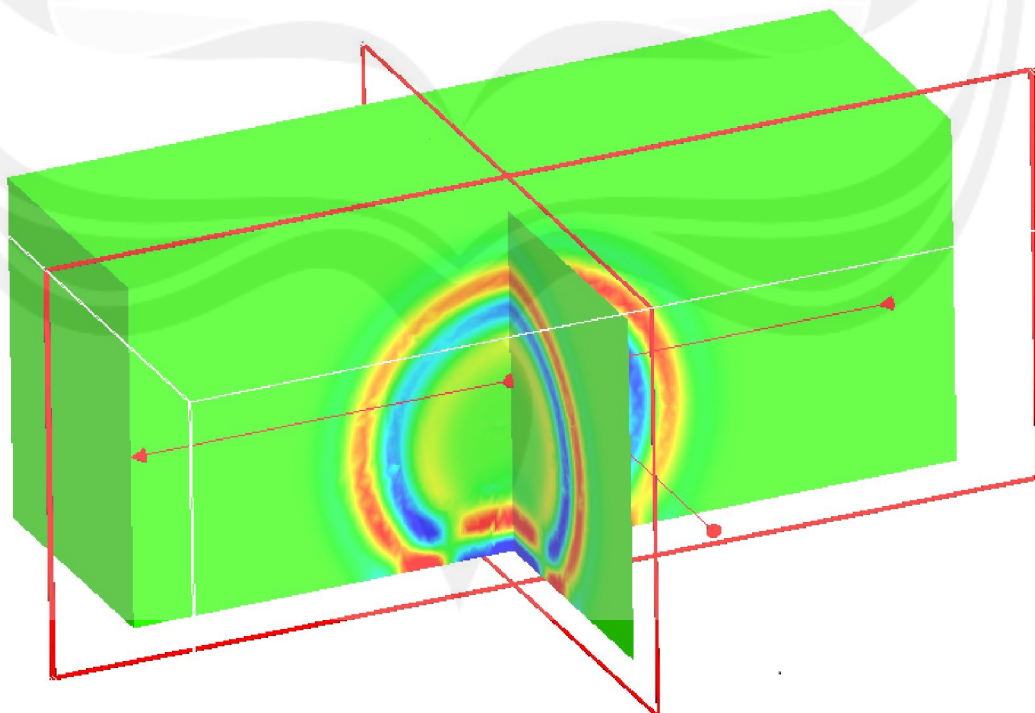
Gambar 5.7. Mesh ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$



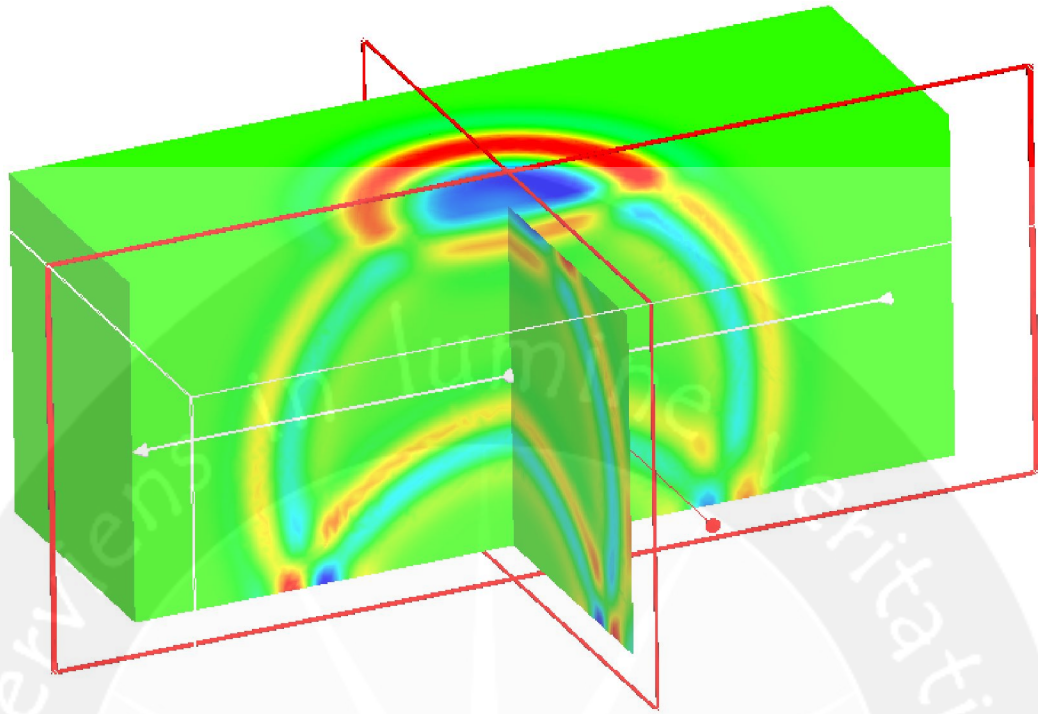
Gambar 5.8a. Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0.0028 \text{ s}$.



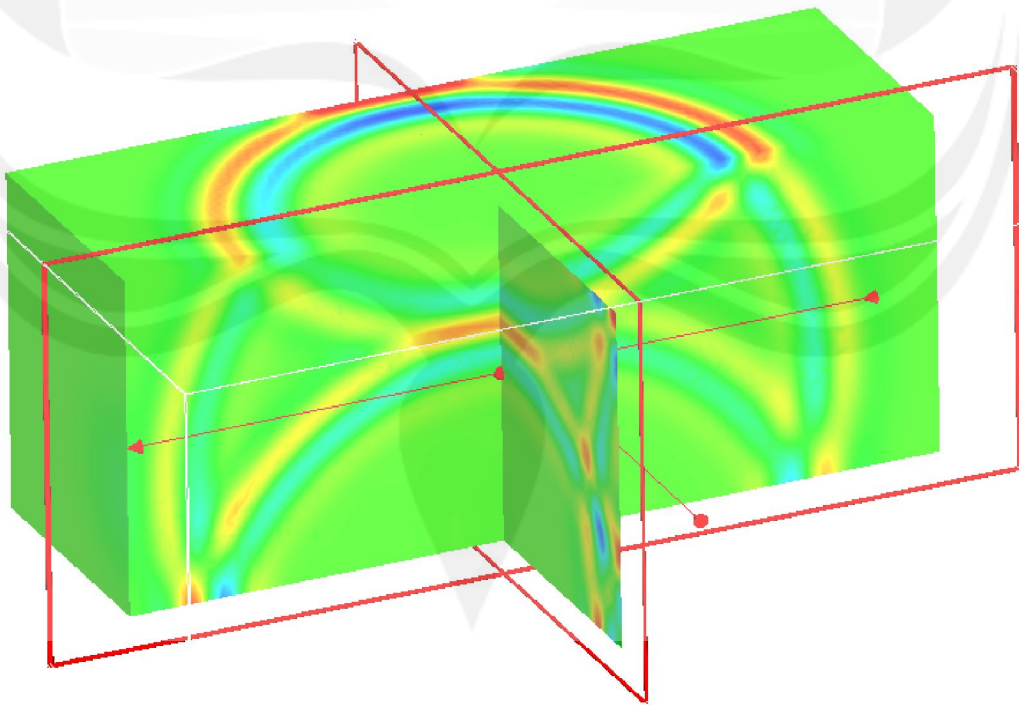
Gambar 5.8b. Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0040 \text{ s}$.



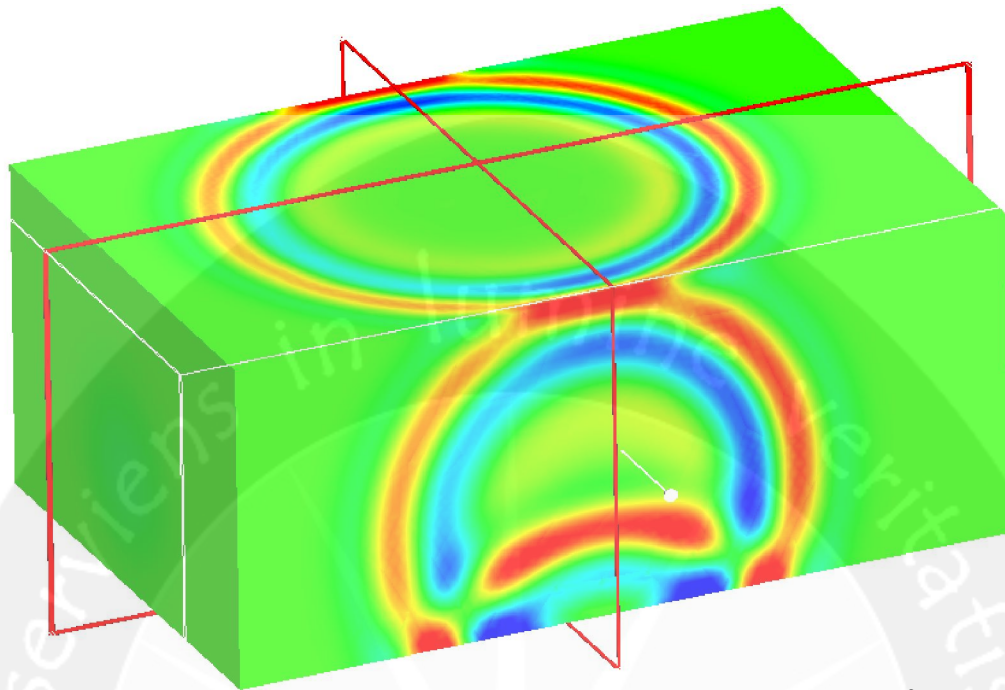
Gambar 5.8c. Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0056 \text{ s}$.



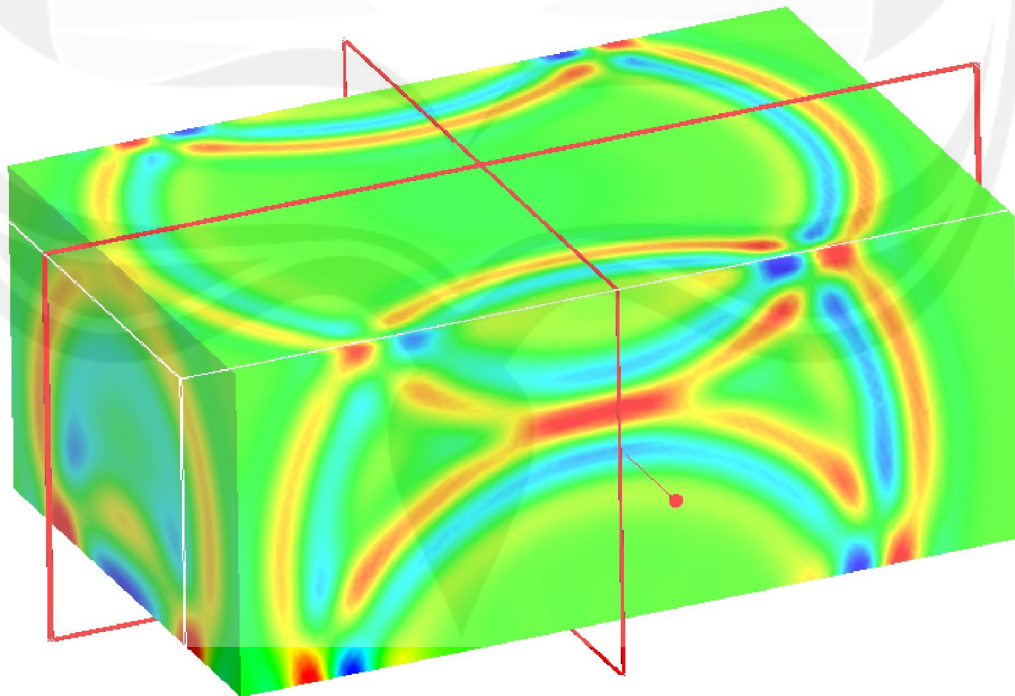
Gambar 5.8d. Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0080 \text{ s}$.



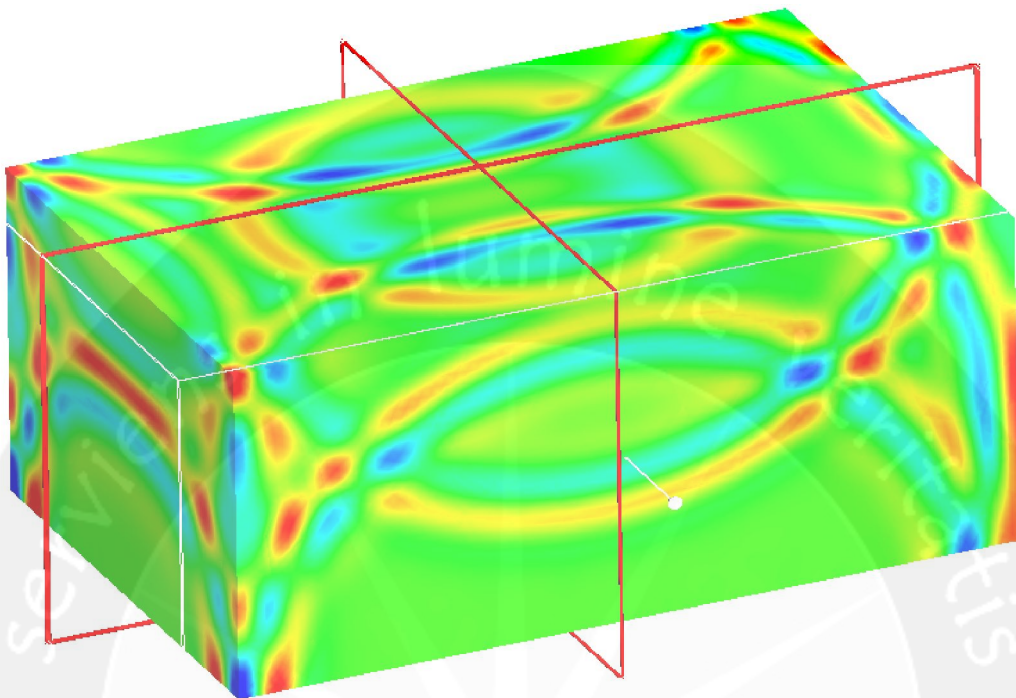
Gambar 5.8e. Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0100 \text{ s}$.



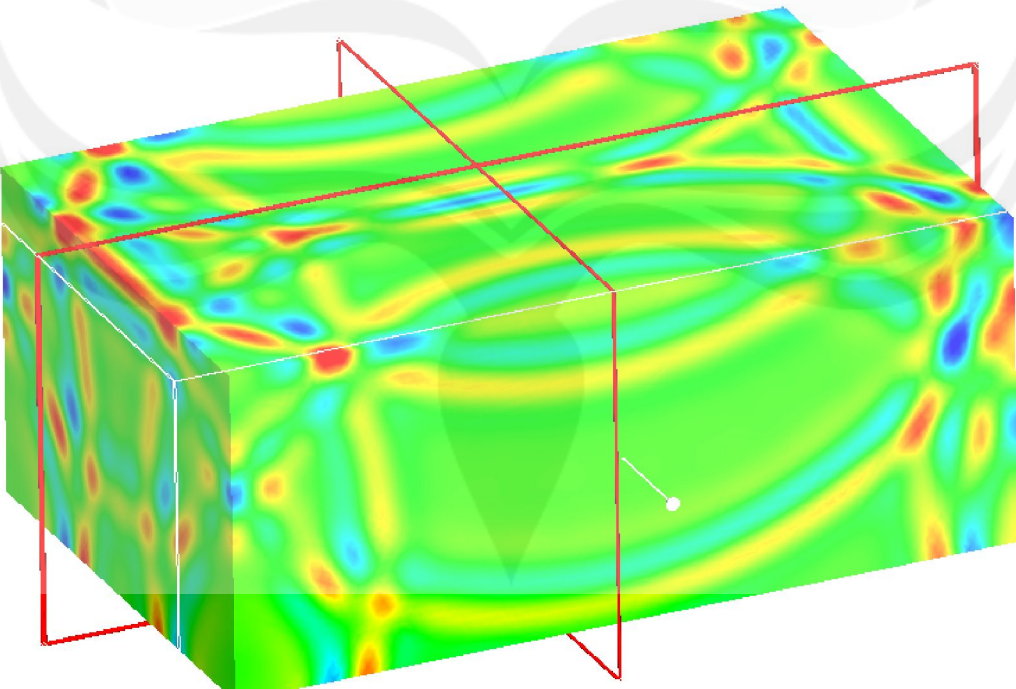
Gambar 5.8f. Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0100 \text{ s}$ pada sisi luar.



Gambar 5.8g. Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0120 \text{ s}$ pada sisi luar.



Gambar 5.8h. Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0140 \text{ s}$ pada sisi luar.



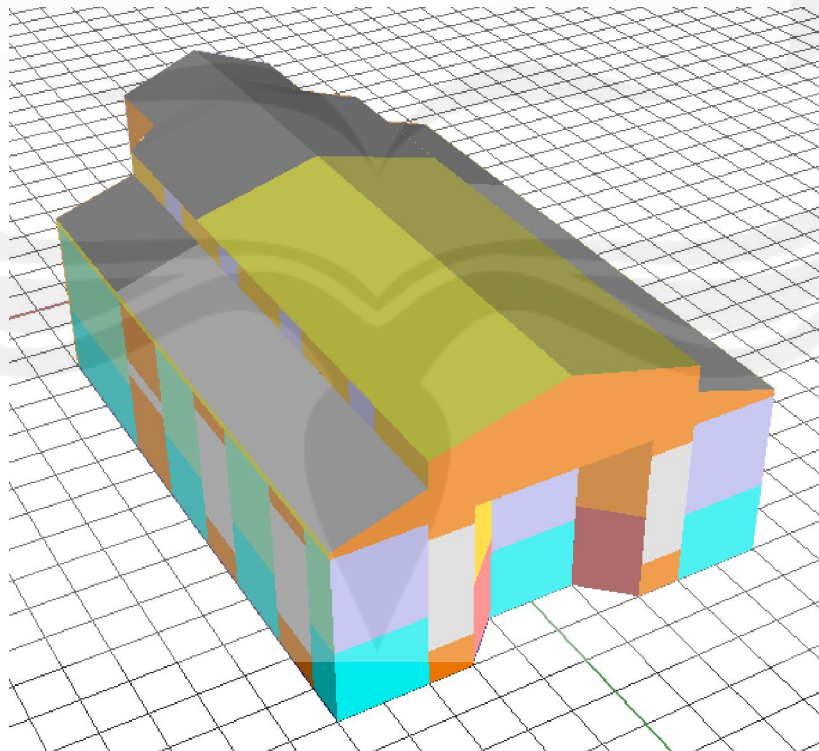
Gambar 5.8i. Perambatan gelombang ruang berukuran $6,50 \times 4,20 \times 2,70 \text{ m}^3$ saat $t = 0,0160 \text{ s}$ pada sisi luar.

Gambar 5.8a –5.8i menunjukkan gambar urutan perambatan gelombang dalam medium homogen saat waktu $t = 0,0028$ sampai $t = 0,0160$ detik. Dari gambar-gambar tersebut terlihat bahwa front gelombang merambat secara radial ke segala arah, sehingga front gelombang berbentuk bola yang membesar. Kemudian front gelombang dipantulkan oleh lantai dan plafon, dinding kiri kanan dan dinding muka belakang.

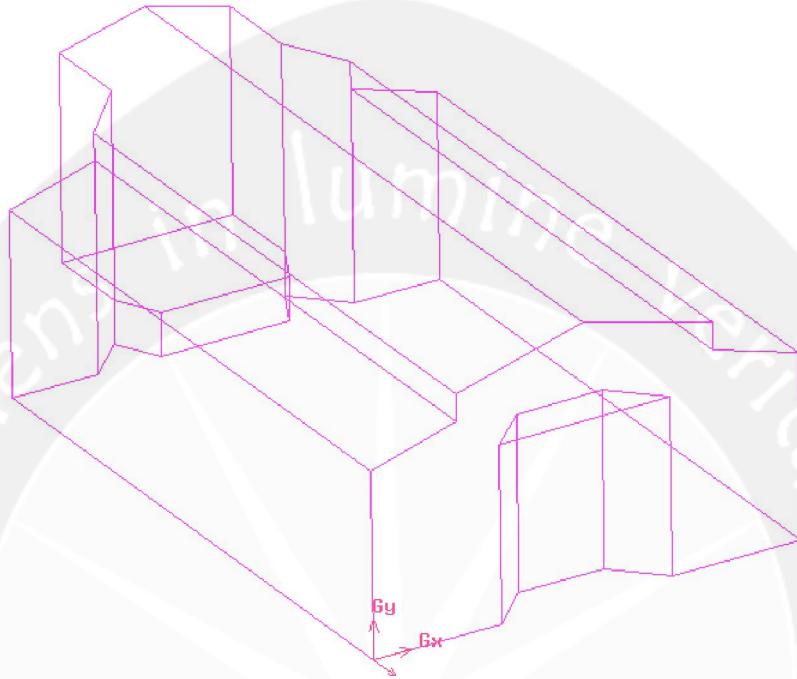
5.4. Simulasi Akustik 3-Dimensi Gedung Gereja GKII

5.4.1. Perhitungan Simulasi dengan Perangkat Lunak CATT dan Ecotec

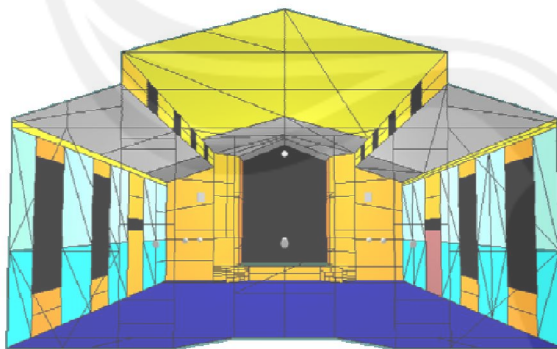
Setelah diadakan survei mengenai gedung Gereja Kemah Injil Indonesia (GKII) "Yogyakarta" yang terletak di Jalan Tentara Rakyat Mataram Yogyakarta maka dapat dibuat model bangunan seperti berikut:



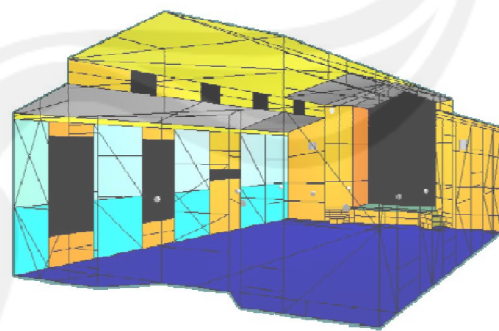
Gambar 5.9. Denah Gereja GKII pandangan "shading"



Gambar 5.10. Denah Gereja GKII pandangan "rangka"

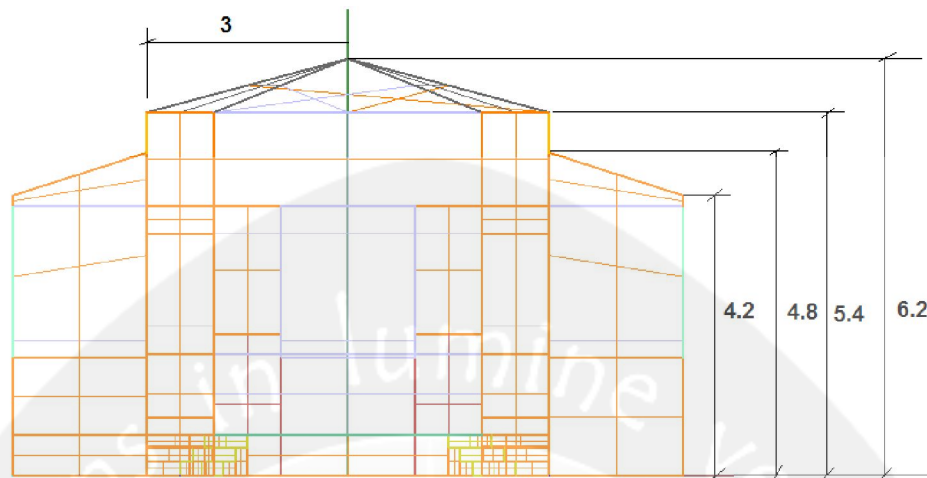


Pandangan depan bagian dalam gedung



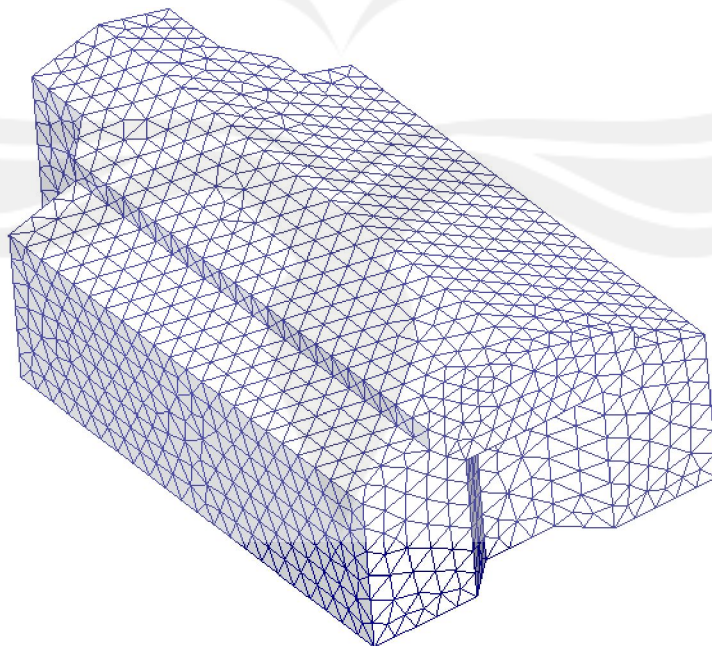
Pandangan samping bagian dalam gedung

Gambar 5.11. Bagian dalam Gereja GKII "

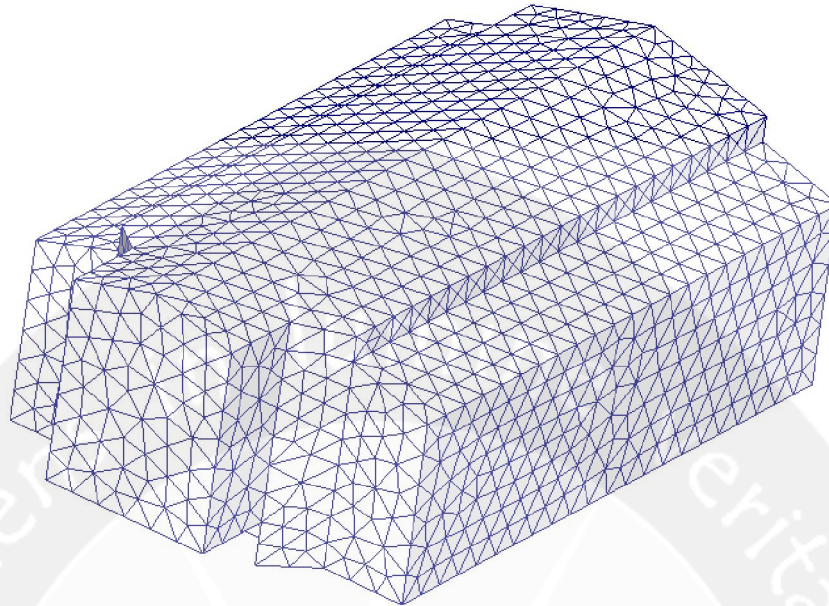


Gambar 5.13. Ukuran bagian depan Gereja GKII

Ukuran gedung gereja secara keseluruhan adalah $10 \times 17 \times 6.2 \text{ m}^3$ dengan tinggi altar 1 m. Setelah data geometri dan bahan bangunan diketahui maka langkah selanjutnya adalah membuat mesh 3 dimensi (Gambar 14a dan 14b) dan menjalankan program simulasi metode DG. Selain itu berdasar data yang ada Program CATT juga dijalankan dan hasil perhitungan CATT dapat dilihat di lampiran.



Gambar 5.14a. Mesh dilihat dilihat dari depan



Gambar 5.14b. Mesh dilihat dilihat dari belakang

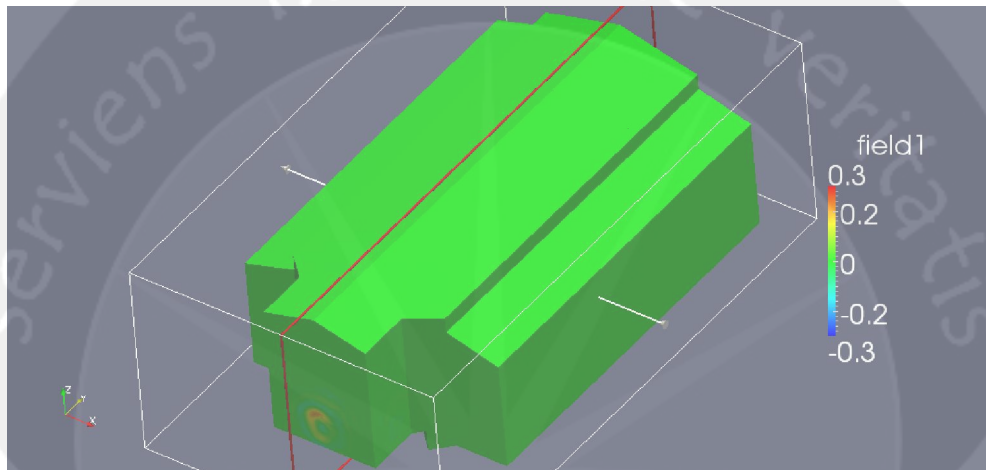
Mesh terdiri dari 14095 buah elemen segitiga dengan panjang sisi rata-rata 0.625 m dan fungsi basis berorde $N = 5$. Frekuensi dominan sumber suara yang berupa sinyal Ricker adalah 500 Hz seperti berikut:

$$f(t) = \left(2(\pi f_0)^2 \left(t - \frac{1.0}{f_0} \right) \right) e^{-\left(\pi f_0 \left(t - \frac{1.0}{f_0} \right) \right)^2}$$

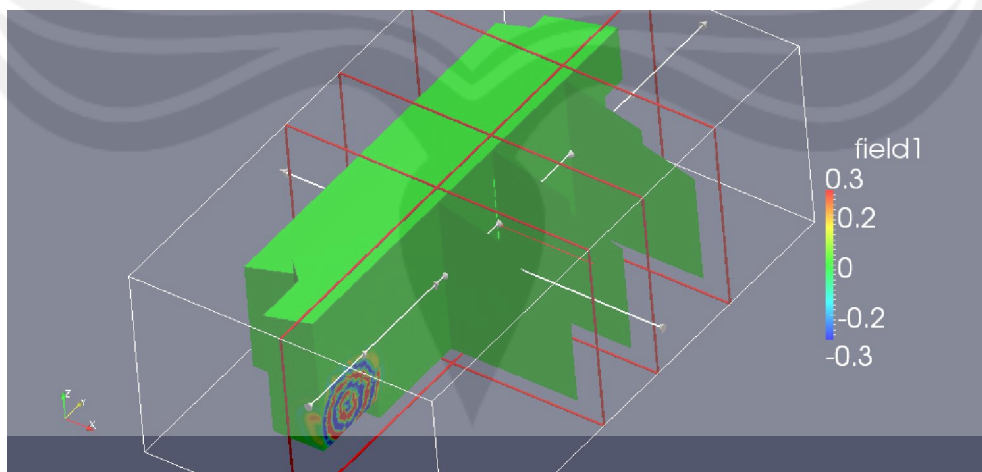
Kekuatan sumber bunyi adalah 70 dB dan posisinya terletak di koordinat (0, 1.5, 1.8). Pusat koordinat terletak di sumbu simetri gedung dan di bawah altar. Dinding adalah tembok keras sehingga memantulkan suara secara sempurna. Pada simulasi ini nilai properti udara adalah densitas bernilai 1210 kg/m^3 dan kecepatan suara adalah 343 m/s sehingga panjang gelombang adalah:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{343}{800} = 0.43 \text{ m}$$

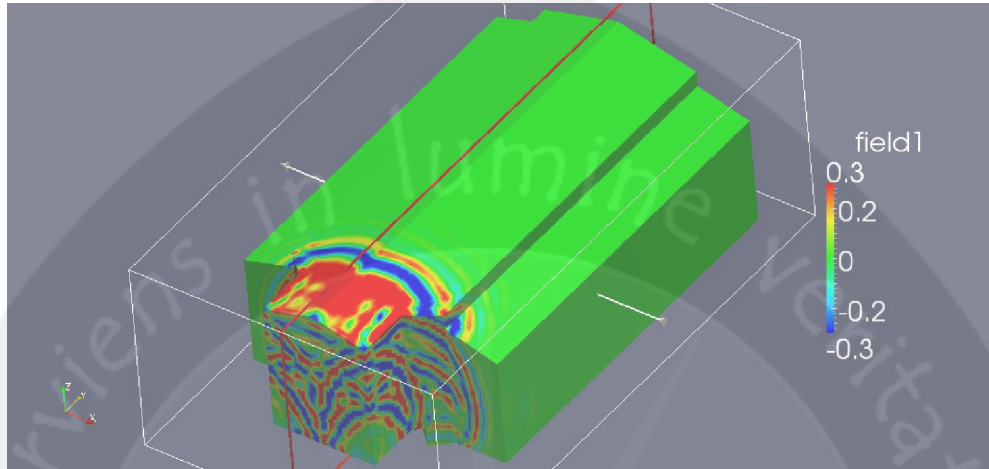
Gambar 5.15a – 5.15j menunjukkan perambatan gelombang akustik dalam gedung gereja GKII sampai $t = 50$ ms. Pada awal perambatan, gelombang akustik berupa bola yang merambat secara radial, kemudian akan dipantulkan oleh lantai dan dinding belakang altar. Gelombang langsung dan pantulan merambat menuju arah depan, pantulan oleh dinding kiri-kanan, lantai dan atap cenderung memperkuat amplitudo gelombang akustik.



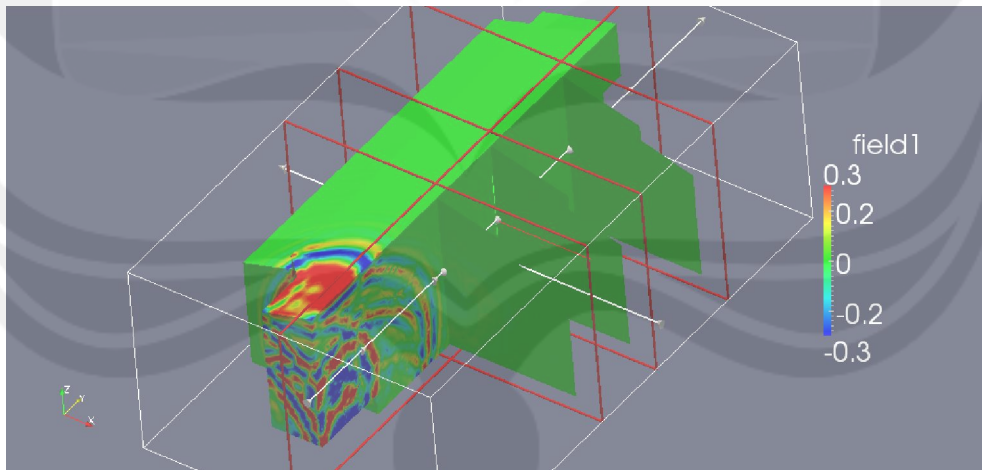
Gambar 5.15a . Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi luar saat $t = 5$ ms.



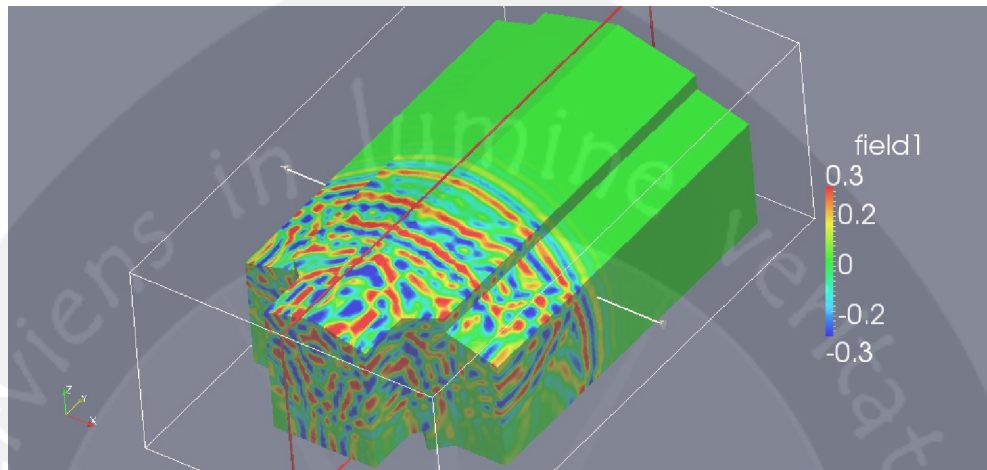
Gambar 5.15b . Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi dalam saat $t = 5$ ms.



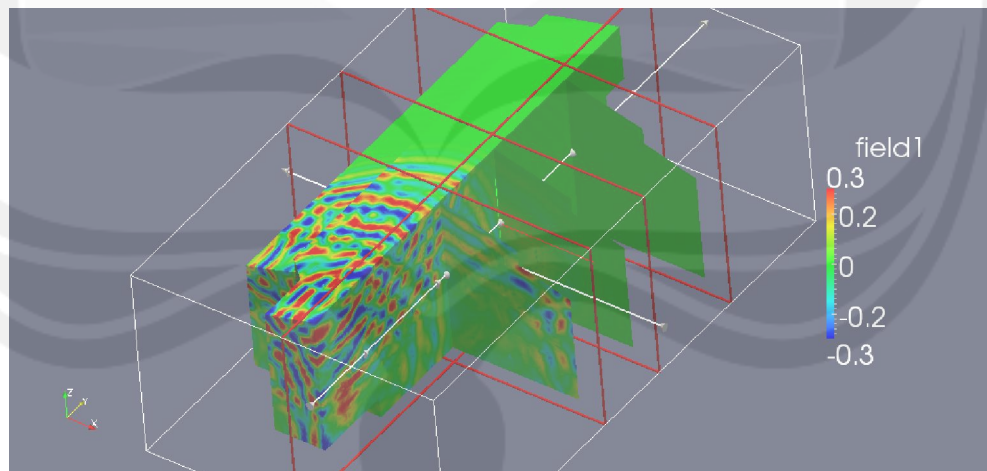
Gambar 5.15c. . Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi luar saat $t = 15$ ms.



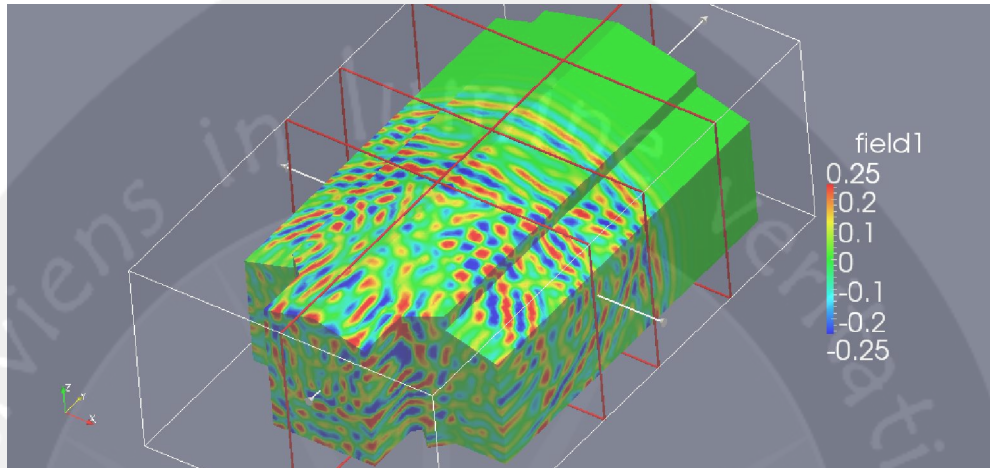
Gambar 5.15d. . Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi dalam saat $t = 15$ ms.



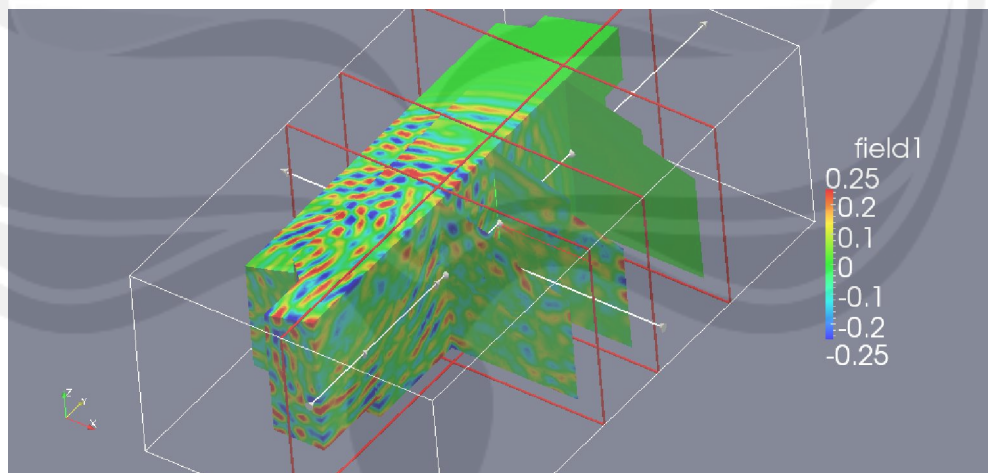
Gambar 5.15e. . Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi luar saat $t = 25$ ms.



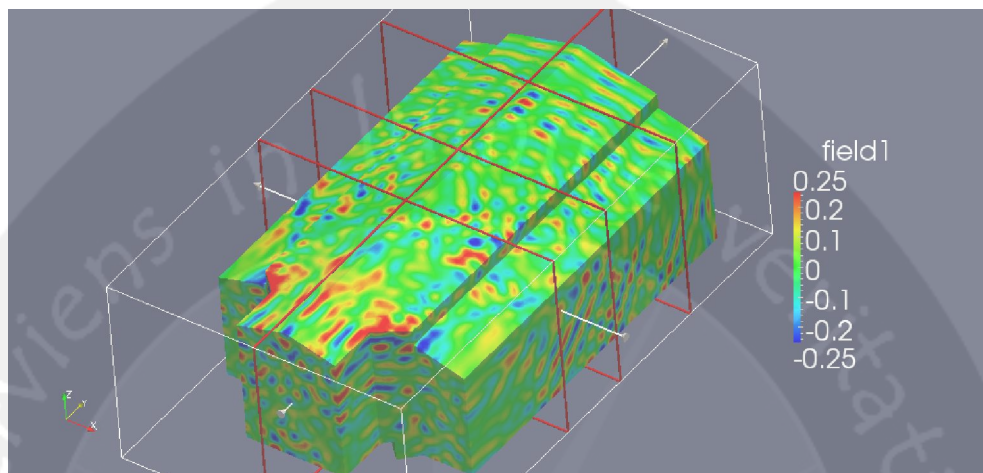
Gambar 5.15f. . Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi dalam saat $t = 25$ ms.



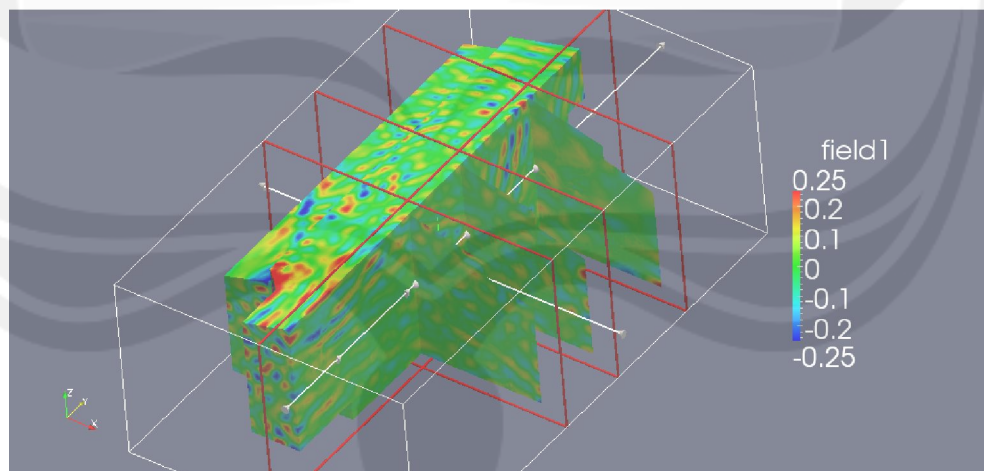
Gambar 5.15g. . Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi luar saat $t = 35$ ms.



Gambar 5.15h. . Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi dalam saat $t = 35$ ms.

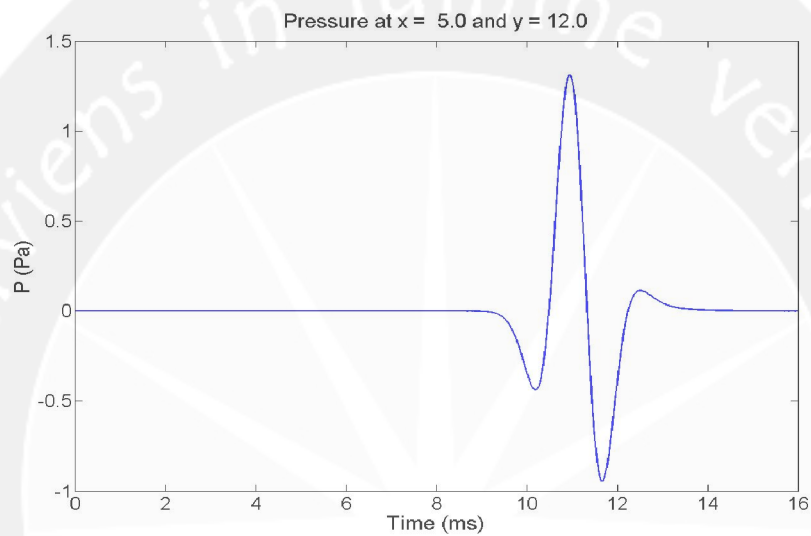


Gambar 5.15i. . Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi luar saat $t = 50$ ms.

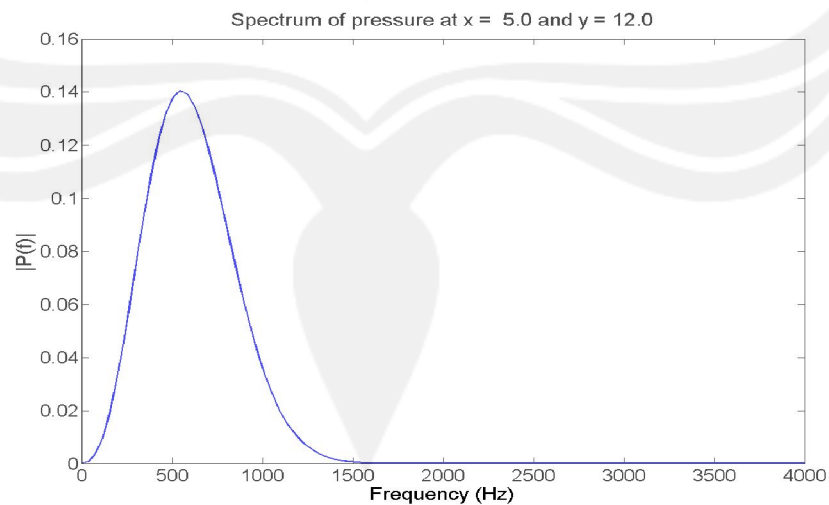


Gambar 5.15j. . Perambatan gelombang dalam gedung gereja sisi dalam saat $t = 50$ ms.

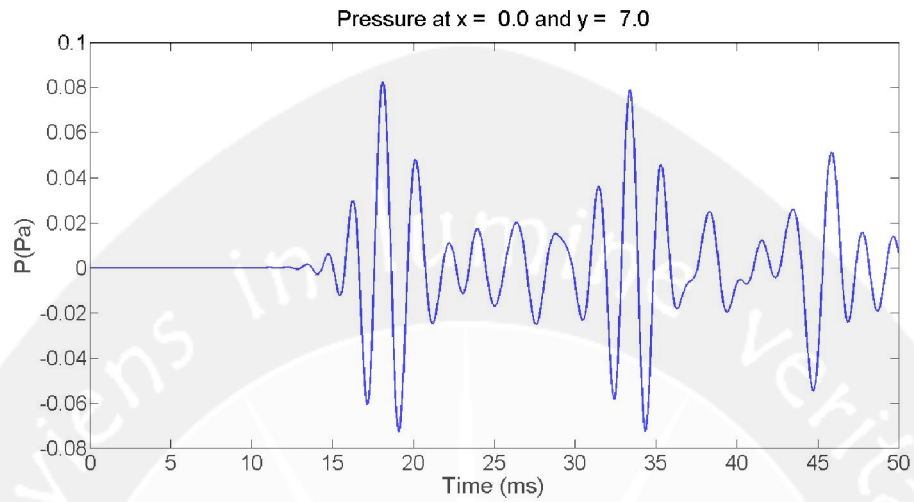
Meskipun gelombang pantulan yang terjadi mengganggu sinyal utama (langsung), tetapi gelombang pantulan tidak menyebabkan perubahan frekuensi sinyal, hal ini dapat dilihat pada Gambar 5.17b, 5.18b, 5.19b dan Gambar 5.20b. Gambar tersebut memperlihatkan sinyal yang diterima di titik tertentu (posisi orang duduk kira-kira $z=1.1$ m)



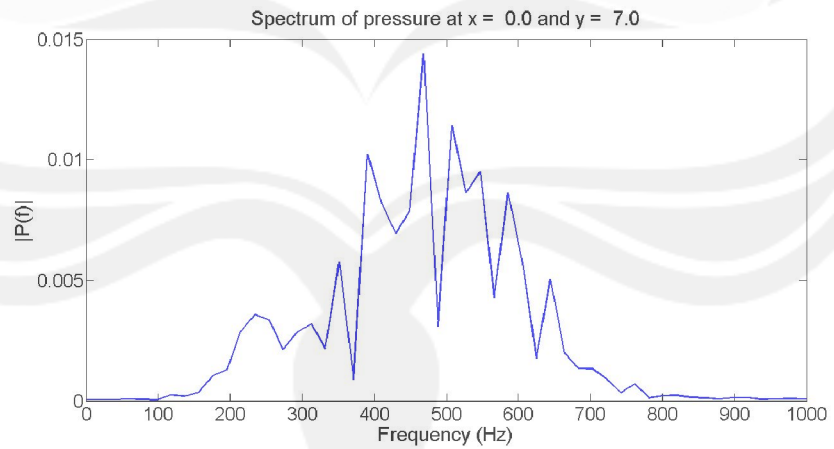
Gambar 5.16a. Sinyal sumber suara



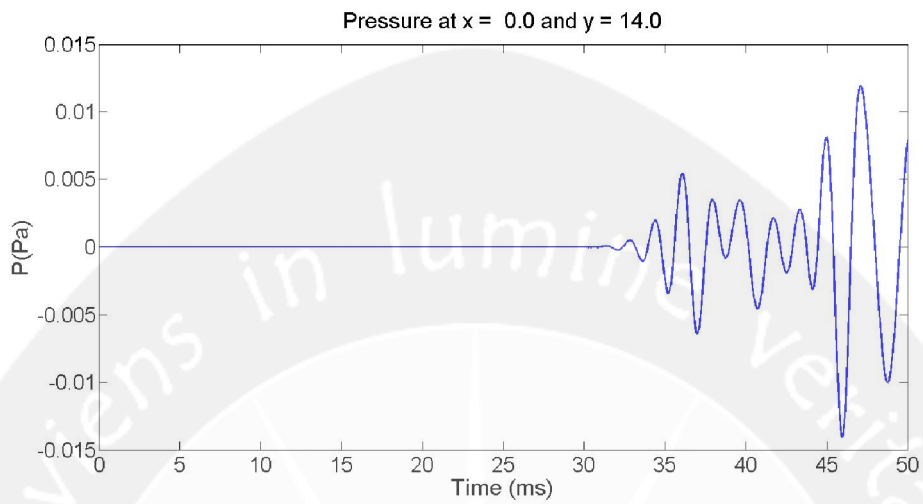
Gambar 5.16b. Spektrum frekuensi sinyal sumber suara



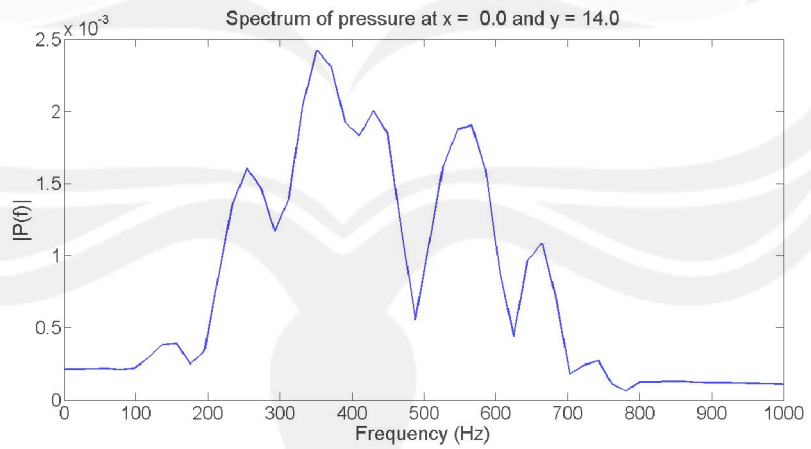
Gambar 5.17a. Sinyal suara dalam Gereja GKII di posisi (0, 7, 1,1)



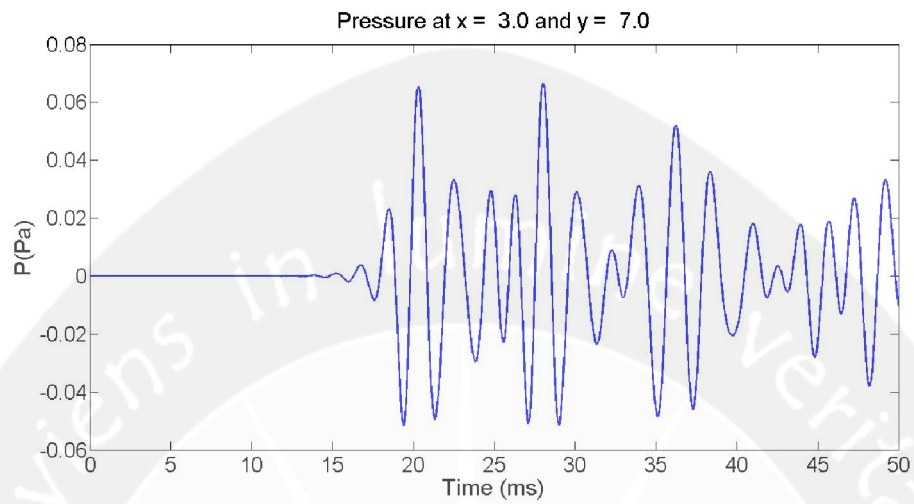
Gambar 5.17b. Spektrum frekuensi sinyal tekanan di posisi (0, 7, 1,1)



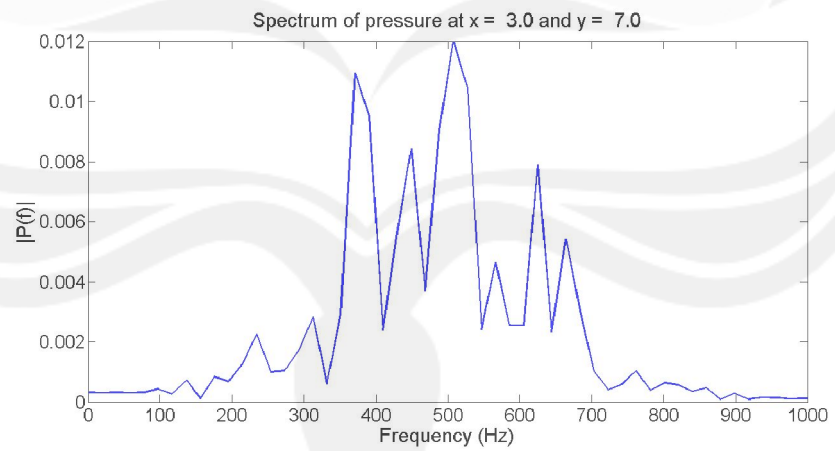
Gambar 5.18a. Sinyal suara dalam Gereja GKII di posisi (0, 14, 1,1)



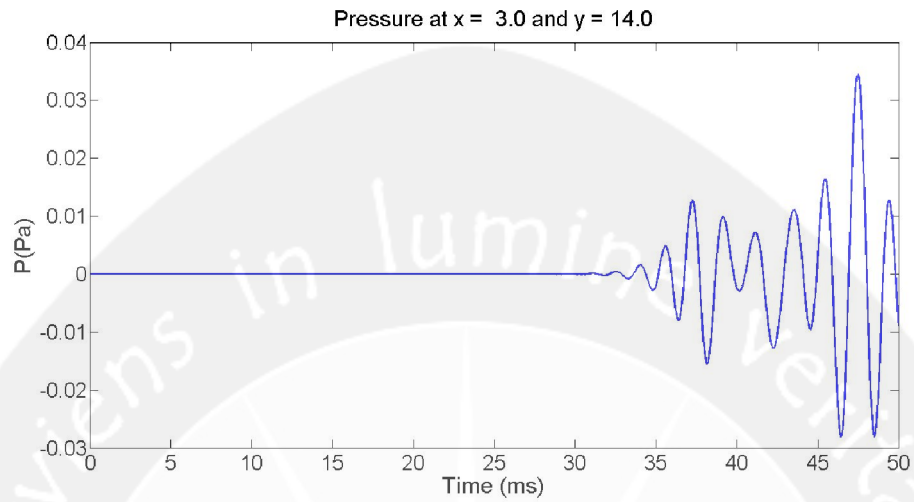
Gambar 5.18b. Spektrum frekuensi sinyal tekanan di posisi (0, 14, 1,1)



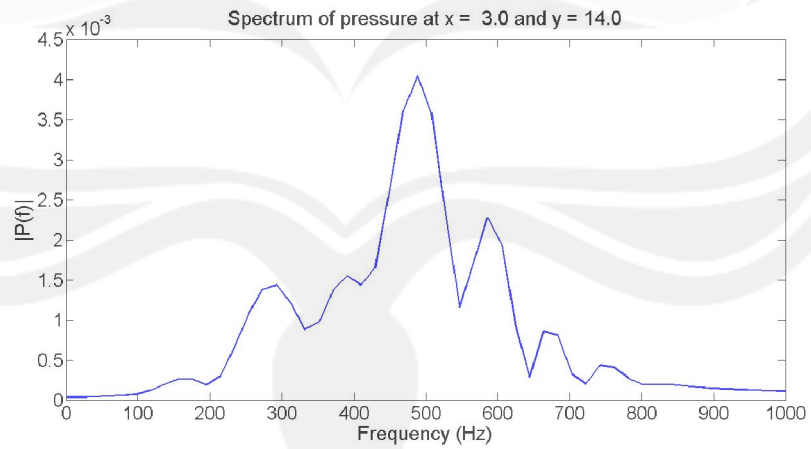
Gambar 5.19a. Sinyal suara dalam Gereja GKII di posisi (3, 7, 1,1)



Gambar 5.19b. Spektrum frekuensi sinyal tekanan di posisi (3, 7, 1,1)



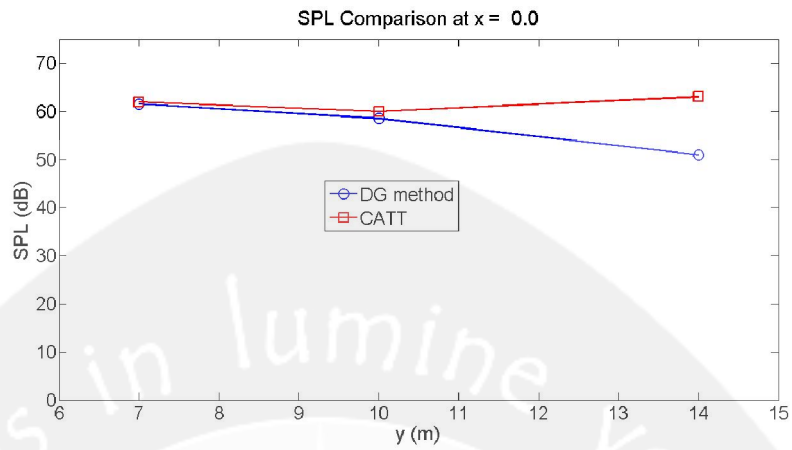
Gambar 5.20a. Sinyal suara dalam Gereja GKII di posisi (3, 14, 1,1)



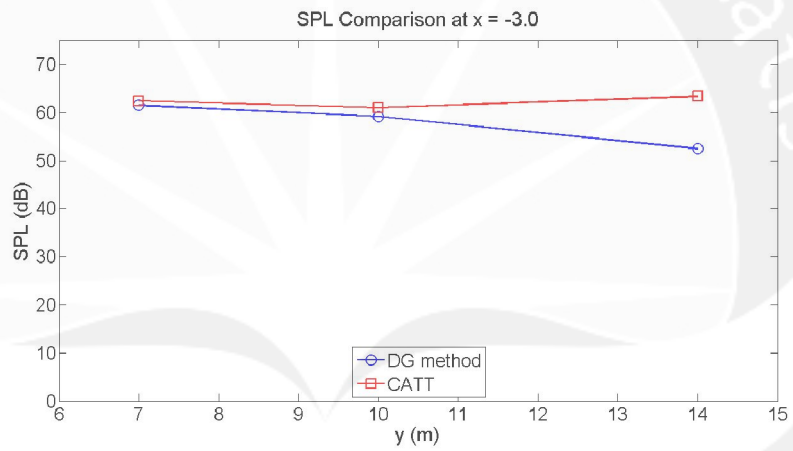
Gambar 5.20b. Spektrum frekuensi sinyal tekanan di posisi (3, 14, 1,1)

Berdasar dari gambar-gambar di atas dapat diketahui bahwa semakin jauh jarak antara pendengar dengan sumber suara maka sinyal yang diterima semakin lemah tetapi karena ada pengaruh pantulan dari dinding dan lantai membuat sinyal yang jauh dari sumber menjadi lebih kuat dibanding jika tidak ada pantulan. Selain itu juga dapat diketahui bahwa pantulan sempurna tidak membuat sinyal yang diterima pendengar berubah spektrum frekuensinya.

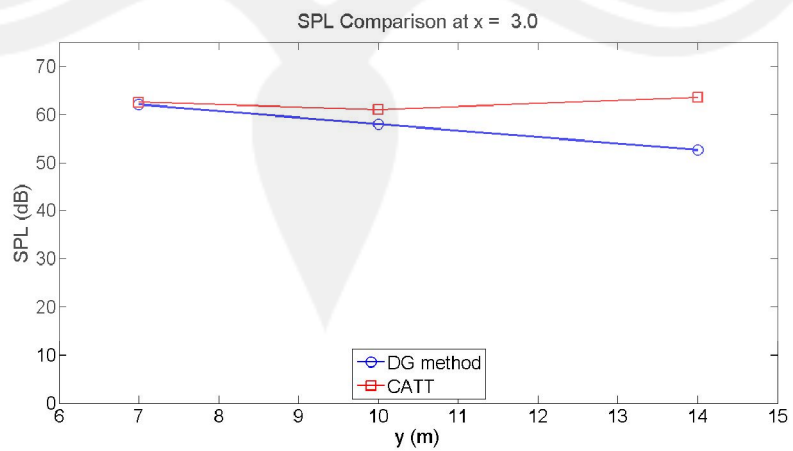
Langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil simulasi metode DG dengan hasil perhirungan CATT. Parameter yang dibandingkan adalah *sound pressure level* (SPL) pada 9 titik pendengar (penerima) pada posisi $x = -3, 0, 3$ m, $y = 7, 10$ dan 14 m dan $z = 1.1$ m. Berdasar gambar 5.15a - 5.15i dapat dilihat bahwa gelombang akustik didominasi oleh gelombang langsung dan gelombang tidak langsung hasil pantulan dinding belakang, kiri-kanan, atap dan lantai. Saat waktu $t = 50$ ms, gelombang langsung sudah menabrak dinding bagian depan dan sedikit dipantulkan ke belakang. Meskipun pantulan dinding kiri-kanan, atap dan lantai dapat memperkuat amplitudo gelombang tetapi masih relatif lebih kecil dibanding gelombang langsung sehingga semakin jauh dari sumber maka SPL cenderung menurun, tetapi kecenderungan ini tidak terlihat dari SPL hasil perhitungan CATT (lihat Gambar 5.21a - 5.21c). Perhitungan CATT memperlihatkan bahwa SPL dibagian depan ($y = 14$) malah membesar, hal ini diduga karena formulasi dasar CATT yang *berbasis ray-tracing* dimana jarak perambatan tidak berpengaruh terhadap amplitudo sinyal tekanan. Selain itu CATT menghitung SPL dengan menjumlahkan *ray* satu persatu tidak secara serentak seperti halnya perhitungan metode DG, sehingga hal ini mempengaruhi hasil perhitungan menjadi kurang realistis. Software CATT tidak dapat dipakai untuk simulasi dengan sembarang rentang waktu dan sembarang jenis sumber suara. Keunggulan CATT adalah waktu yang diperlukan eksekusi komputer relatif jauh lebih singkat dibanding metode DG, sebagai gambaran CATT untuk simulasi dengan rentang waktu 500 ms memerlukan 2,5 jam sedangkan metode DG memerlukan waktu lebih dari 5×24 jam.



Gambar 5.21a. Perbanding SPL di posisi $x = 0$, $7 \leq y \leq 14$.



Gambar 5.21a. Perbanding SPL di posisi $x = -3$, $7 \leq y \leq 14$.



Gambar 5.21a. Perbanding SPL di posisi $x = 3$, $7 \leq y \leq 14$.

BAB VI.

KESIMPULAN

6.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini adalah:

1. Simulator perambatan gelombang akustik 3-dimensi yang dikembangkan berhasil dikerjakan.
2. Waktu eksekusi simulator berbasis metode Discontinuous Galerkin memerlukan waktu jauh lebih lama dibanding software CATT
3. Hasil simulasi simulator berbasis metode Discontinuous Galerkin memberikan hasil lebih realistis.
4. Kajian lebih lanjut masih diperlukan meningkatkan performa simulator dan akurasi.

6.2. Saran

Berdasar penelitian yang sudah dilakukan pada tahun pertama, ada beberapa saran yang akan dilaksanakan pada penelitian tahun kedua, yaitu:

1. Menambahkan efek serapan pada dinding, lantai dan atap sehingga simulasi semakin mendekati keadaan nyata..
2. Analisis hasil simulasi dilanjutkan ke analisis akustik seperti faktor STI, RT dan SPL serta dibandingkan dengan hasil perhitungan komputer dengan software CATT.
3. Studi kasus di gereja GKII dilanjutkan dengan memasang dinding redaman untuk mengurangi efek pantulan dinding. Analisis dilakukan dengan membandingkan tata akustik sebelum dan sesudah pemasangan dinding redaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdou, Adel A. (2003) "Comparison of the Acoustical Performance of Mosque Geometry Using Computer Model Studies", Proceedings of Eight International IBPSA Conference, Eindhoven, Netherlands August 11-14, 2003, p. 39-46.
- Adarsh,K (2005), *Modeling Ultrasonic Field in Complex Geometries*, a project reports for bachelor of technology and master of technology, Department of Mechanical Engineering, India Institute of Madras, India.
- Botteldoreen, D. (1995), "Finite-Difference Time-Domain Simulation of Low Frequency Room Acoustic Problems", *Journal Acoustical Society of America*, vol. 98, no. 6, pp. 3302-3308.
- Cox, Trevor (2004), *Acoustics Laboratory: Lab Session 4, Reverberation Time and Absorption*, Manchester: University of Salford.
- Dalenback, D. I., (2002), *User's Manual CATT-Acoustic v8.0*, CATT CATT2002, Guthenburg, Sweden.
- Desarnaulds, V et al. (2002), "Church Acoustics and the Influence of Occupancy" *Journal of Building Acoustics*, vol.9 Number 1/2002, p. 29-47.
- Fogarty, T. R. and LeVeque, R. J. (1999), "High-resolution finite volume methods for acoustics in periodic or random media", *Journal of the Acoustical Society of America* 106 (1999) pp. 17-28.
- Istiadji, A. D., dan Binarti (2006), "Studi Simulasi Komputer sebagai Pendekatan Desain Akustik Auditorium", Laporan Penelitian, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.

- Istiadji, A. D., dan Tim rekonstruksi (2006), " Perencanaan dan perancangan environmental (akustik, pencahayaan dan penghawaan) auditorium Universitas Atma Jaya Yogyakarta", Laporan Perencanaan dan Perancangan, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Istiadji, A. D., dan Binarti (2009), " *Speech Transmission Index (STI)* Gedung-Gedung Gereja memadukan kajian objektif dan subjektif", Laporan Penelitian, Universitas Atma Jaya Yogyakarta
- Kuttruff, H. (2000), *Room Acoustics*, Spon Press Taylor and Francis Group, New York.
- Laboratorium Akustik dan Getaran Mekanis, "Buku Petunjuk Praktikum Getaran Mekanis", Yogyakarta: Jurusan Teknik Mesin FT-UGM.
- Lahivaara, T., Huttunen, T. and Simonaho, S. P. (2008), "Audio acoustic modeling using full-wave methods", International conference on "Acoustic 08", Paris, June29 – July 4, 2008.
- LeVeque, R. J. (1997), "Wave propagation algorithms for multi-dimensional hyperbolic systems", *Journal of Computational Physics*, 131 (1997), pp. 327-353.
- LeVeque, R. J. (2002), "Finite Volume Methods for Hyperbolic Problems", Cambridge University Press.
- Lisa, M., Rindel, J. G., and Christensen, C. E. (2004), "Predicting The Acoustics Of Ancient Open-Air Theatres: The Importance Of Calculation Methods And Geometrical Details", Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2004, 8-10 June 2004, Mariehamn, Åland.
- Long, M. (2006), "Architectural Acoustics", Elsevier Academic Press, London..
- Olson, H. F., (1967), "Music, Physics and Engineering", Second Edition, Dover Publications, London.
- Pranowo, Soesianto, F. dan Susanto, A. (2002) , "The MRTD Technique Based on Haar Wavelet for Acoustic Wave Modeling", Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi dalam Industri, Universitas Gadjah Mada.

- Pranowo dan Bintoro, A. G. (2003), "Metode Beda Hingga Implisit Orde Tinggi Untuk Penyelesaian Numeris Persamaan Akustik 3 Dimensi", Laporan Penelitian, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Pranowo and Soesianto, F. (2004), "Adaptive Multiresolution Scheme Based on Haar Wavelets or Acoustic Wave Propagation", Seventh International Conference Quality in Research 2004, University of Indonesia.
- Pranowo (2007), "Studi Gelombang Akustik dengan Metode Discontinuous Galerkin Orde Tinggi dalam Mesh Tidak Berstruktur", *Jurnal Teknologi Industri*, Juli 2007.
- Rindel, J. G., and Christensen, C. E. (2008), "Modelling Airborne Sound Transmission Between Coupled Rooms", Joint Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2008, 17-19 August 2008, Reykjavik, Iceland.
- Rossing, R. D. (2007), *Handbook of Acoustics*, Springer, New York.
- Schneider, J. B. and Ramahi, O. M. (1998), "The Complementary Operators Method Applied to Acoustic Finite-Difference Time-Domain Simulations", *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 104, no. 2, pt. 1, pp. 686-693.
- Suptandar, J. Pamudji (2004), "Faktor Akustik dalam Perancangan Disain Interior", Jakarta, Djambatan.
- Yoshimasa software, (2008), "Program Manual and Technical Support Document" Yoshimasa Electronic Inc, Japan.

LAMPIRAN

A. List Program Utama

Program pada penelitian ini menggunakan bahasa Pemrograman C++ dan dikembangkan berdasar framework NUDG milik Prof. Tim Warburton dari Rice Universty dan Prof. Jan Hesthaven dari Brown University USA. Lampiran ini hanya mencantumkan 5 subprogram utama yang ditambahkan pada framework NUDG dan digunakan selama penelitian berlangsung.

1. Acoustic3D_Driver.cpp

```
// Acoustic3D_Driver.cpp
// Driver for solving the 3D Acoustic's equations
//-----
#include "NDGLib_headers.h"
#include "Acoustic3D.h"

//-----
void Acoustic3D::Driver()
//-----
{
    umLOG(1, "Acoustic3D::Driver()\n");

    // Polynomial order of approximation

    N = 7;
    // rho = 1.2; //air density;
    // cp = 1.0; // sound velocity;
    // Kappa = rho*cp*cp;

    FileName = "C:/Fluent.Inc/Data mesh/Room3D_plt_442.neu";

    // Read in Mesh: [vertices, elements, materials, BC's]
    if (!MeshReaderGambit3D(FileName)) {
        umWARNING("Acoustic3D::Driver", "Error loading mesh (file:
%s)\nExiting.\n", FileName.c_str());
        return;
    }

    try {
        // Solve Problem
        //FinalTime = 10.0;
        //FinalTime = 1.0;
        FinalTime = 0.04;
        Run();
    } catch (...) {
        umWARNING("Acoustic3D::Driver", "Caught exception from Run()");
        return;
    }
}
```

```

}
}

```

2. Acoustic3D_Run.cpp

```

// Acoustic3D.m
// function [vx,Hy,HZ,p,Ey,Ez,sampleEz,sampleT,L2errEz] =
//         Acoustic3D(vx, Hy, Hz, p, Ey, Ez, FinalTime)
//-----
#include "NDGLib_headers.h"
#include "Acoustic3D.h"
//-----
void Acoustic3D::Run()
//-----
{
    // function [vx,Hy,HZ,p,Ey,Ez,sampleEz,sampleT] = ...
    //         Acoustic3D(vx, Hy, Hz, p, Ey, Ez, FinalTime)
    //
    // Purpose : Integrate 3D Maxwell's until FinalTime starting with
    //         initial conditions vx,Hy,HZ, p,Ey,Ez

    ti0=timer.read(); // start timing
    InitRun();        // prepare simulation
    Output_Mesh();
#ifdef 0
    OutputNodes(false);
    OutputNodes(true);
    return;
#endif

    DMat w1, pr;
    double RKtime, xR, yR, zR, xS, yS, zS, Nb,f;
    int is, js, il;

    Nb=1;
    xS= 2.50;// 6.0e-3;
    yS=2.0;//3.0e-3; //
    zS=0.0;

    xR=5.0; yR=yS; zR=zS;
    f=0.0;

    FindNearest3D(x,y,z,xS,yS,zS,Np,il,is,js,xS,yS,zS);
    // sample point
    Sample3D(0.1, 0.2, 0.3, sampleweights, sampletet);
    // Sample3D(1.25, 0.0, 0.25, sampleweights, sampletet);

    // outer time step loop
    while (time<FinalTime)
    {
        tw1=timer.read(); // time NDG work

        // adjust final step to end exactly at FinalTime
        if (time+dt > FinalTime) { dt = FinalTime-time; }
    }
}

```

```

// inner multi-stage Runge-Kutta loop
for (int INTRK=1; INTRK<=5; ++INTRK) {
    RKtime = time+rk4c(INTRK)*dt;
    Ricker(f0, t0, RKtime, f); // Ricker wavelet as source function
    // compute right hand side of 3D Acoustic's equations
    //[rhsvx, rhsvy, rhsvz, rhsp] =
    this->RHS(); // (vx,vy,vz, p);
    rhsp(is,js)=rhsp(is,js)+1e3*f/J(is,js)/MassMatrix(is,is);

    // initiate, increment Runge-Kutta residuals and update fields
    resvx *= rk4a(INTRK);   resvx += dt*rhsvx;
    resvy *= rk4a(INTRK);   resvy += dt*rhsvy;
    resvz *= rk4a(INTRK);   resvz += dt*rhsvz;
    resp  *= rk4a(INTRK);   resp  += dt*rhsp;

    vx += rk4b(INTRK)*resvx;
    vy += rk4b(INTRK)*resvy;
    vz += rk4b(INTRK)*resvz;

    p += rk4b(INTRK)*resp;
}

time_work += timer.read() - tw1;

time += dt; // increment current time
Report(); // optional reporting
tstep++; // increment timestep

if (tstep>1200) {break;}
}

time_total = timer.read()-ti0; // stop timing
FinalReport(); // final report
}

```

3. Acoustic3D_RHS.cpp

```

// Acoustic3D_RHS.m
// function [rhsvx, rhsvy, rhsvz, rhsEx, rhsEy, rhsp] = ...
//           AcousticRHS3D(vx,vy,vz,Ex,Ey,p)
//-----
#include "NDGLib_headers.h"
#include "Acoustic3D.h"

//-----
void Acoustic3D::RHS()
//-----
{
    // function [rhsvx, rhsvy, rhsvz, rhsp, rhsEy, rhsp] = ...
    //           AcousticRHS3D(vx,vy,vz,Ex,Ey,p)
    // Purpose : Evaluate RHS flux in 3D Acoustic equations

    //-----
    double t1 = timer.read();
    //-----
}

```

```

// form field differences at faces
dvx = vx(vmapM)-vx(vmapP);
dvy = vy(vmapM)-vy(vmapP);
dvz = vz(vmapM)-vz(vmapP);
dp  = p(vmapM)-p(vmapP);

// make boundary conditions all reflective (p+ = -p-)
dvx(mapB) = 2.0*vx(vmapB);//0.0;
dvy(mapB) = 2.0*vy(vmapB);//0.0;
dvz(mapB) = 2.0*vz(vmapB);//0.0;
dp(mapB)  = 0.0; //-2.0*p(vmapB);

// alpha=1.0; // => full upwinding
alpha=1.0; // => central difference flux
//ndotdH = nx.dm(dvx) + ny.dm(dvy) + nz.dm(dvz);
//ndotdE = nx.dm(dEx) + ny.dm(dEy) + nz.dm(dp);
//fluxvx = -nx.dm(dp) ; //alpha*(dvx - ndotdH.dm(nx));

fluxvx = nx.dm(dp)/rho - cp*dvx;
fluxvy = ny.dm(dp)/rho - cp*dvy ;
fluxvz = nz.dm(dp)/rho - cp*dvz;
fluxp  = Kappa*(nx.dm(dvx) + ny.dm(dvy) + nz.dm(dvz)) - cp*dp;

// evaluate local spatial derivatives
Div3D(vx,vy,vz, divU);
Grad3D(p,px,py,pz);

// calculate Acoustic's right hand side
rhsvx = -px/rho + LIFT*(Fscale.dm(fluxvx)/2.0);
rhsvy = -py/rho + LIFT*(Fscale.dm(fluxvy)/2.0);
rhsvz = -pz/rho + LIFT*(Fscale.dm(fluxvz)/2.0);
rhsp  = -Kappa*divU + LIFT*(Fscale.dm(fluxp)/2.0);

//-----
time_rhs += timer.read() - t1;
//-----
}

```

4. Acoustic3D.cpp

```

// Acoustic3D.cpp
// member routines for class Acoustic3D
//-----
#include "NDGLib_headers.h"
#include "Acoustic3D.h"

//-----
Acoustic3D::Acoustic3D()
//-----
{
    class_name = "Acoustic3D";
}

//-----
Acoustic3D::~Acoustic3D()
//-----

```

```

{
}

//-----
void Acoustic3D::Resize()
//-----
{
    // Allocate storage for member arrays

    // storage for solution
    vx.resize(Np, K);    vy.resize(Np, K);    vz.resize(Np, K);    p.resize(Np,
K);
    vx_init.resize(Np, K);vy_init.resize(Np, K);    vz_init.resize(Np, K);
    p_init.resize(Np, K);

    // Runge-Kutta residual storage
    resvx.resize(Np,K);    resvy.resize(Np,K);    resvz.resize(Np,K);
    resp.resize(Np,K);

    // field differences at faces
    int Nr = Nfp*Nfaces;
    dvx.resize(Nr,K);    dvy.resize(Nr,K);    dvz.resize(Nr,K);
    dp.resize(Nr,K);

    // storage for output
    Q_plot.resize(Np*K, 3);
    // x+=0.5; y+=0.5; z+=0.5;
}

//-----
void Acoustic3D::SetIC()
//-----
{
    // Set initial conditions for simulation

    // Set initial conditions
    //mmode = 4.0; nmode = 4.0;

    // Use TM mode Acoustic's initial condition

    xmode = 1.0; ymode = 1.0;
    /*
    DVec tsinx = apply(sin, (4*pi*x)),
        tcosx = apply(cos, (4*pi*x)),
        tsiny = apply(sin, (4*pi*y)),
        tcosy = apply(cos, (4*pi*y)),
        tsinz = apply(sin, (4*pi*z)),
        tcosz = apply(cos, (4*pi*z));
    */
    //    vx_init = -tsinx.dm(tcosy.dm(tcosz))/sqrt(3.0);
    //    vy_init = -tcosx.dm(tsiny.dm(tcosz))/sqrt(3.0);
    //    vz_init = -tcosx.dm(tcosy.dm(tsinz))/sqrt(3.0);
    //    p_init = tcosx.dm(tcosy.dm(tcosz));

    p_init = exp(-50.0 * (sqr(x-2.0) + sqr(y-2.1)+ sqr(z-1.0)));

    //vx=vx_init; vy=vy_init; vz=vz_init; p=p_init; // p=0.0;

```

```

vx=0.0;  vy=0.0;  vz=0.0;  p=0.0;//vx_init;

// source frequency
f0 = 500.0;
t0 = 1.2/f0;

// material properties
rho =1.21e3;
cp=343;
Kappa =rho*cp*cp;
}

//-----
void Acoustic3D::SetStepSize()
//-----
{
// compute time step size (dt)

dt = dtscale3D(); // TW: buggy
dt=1.0*dt/cp;
dt=2.0e-5;
// correct dt for integer # of time steps
Nsteps = (int)ceil(FinalTime/dt);
dt = FinalTime/(double)Nsteps;
}

//-----
void Acoustic3D::InitRun()
//-----
{
  StartUp3D(); // construct grid and metric
  Resize(); // allocate work arrays
  SetIC(); // set initial conditions
  SetStepSize(); // calculate step size (dt)

  int Ns = Nsteps+10; // expected number of samples
  samplep.resize(Ns); // p(t) at sample point
  sampleT.resize(Ns); // time for each p(t)
  L2errp.resize(Ns);

  // just call base class version
  NDG3D::InitRun();

  Nreport = 5; // set frequency of reporting (param)
  //Nreport = 50; // set frequency of reporting (param)
  Nrender = Nreport; // output frequency (param)
  // Nrender = 100000; // output frequency (param)

  Summary(); // show simulation details
}

//-----
void Acoustic3D::Summary()
//-----
{
  NDG3D::Summary();
}

```

```

//-----
void Acoustic3D::Report(bool bForce)
//-----
{

    if (1 == tstep) {
        // print header
        //umLOG(1, "\n** Adjust Nreport when timing **\n\n");
        umLOG(1, "\n step      time      pmin      pmax      p_err\n"
                "-----\n");
    }

    // sample p by interpolation
    DVec ev = p(All,sampletet);
    samplep(tstep) = inner(sampleweights, ev);
    sampleT(tstep) = tstep*dt;

    if (1 == tstep || !umMOD(tstep,Nreport) || bForce || Nsteps == tstep) {

        //p_Anal = p_init * (sin(4*sqrt(3.0)*pi*time));
        //err_p = p - p_Anal;
        m_maxAbsError = m_ErrAnalytic.max_val_abs();
        //m_maxAbsError = p_Anal.max_val_abs();
        //m_maxAbsError = err_p.max_val_abs();
        umLOG(1, "%5d %9.5lf %8.5lf %8.5lf %g\n",
                tstep, time, p.min_val(), p.max_val(), m_maxAbsError);
    }

    //#####
    // skip field output for timing tests
    //#####
    //return;

    if (!umMOD(tstep,Nrender) || bForce) {
/*#if (0)

        DMat MM = trans(invV)*invV;
        L2errp(tstep) = 0.0;
        for (int k=1; k <=this->K; ++k) {

            ev = err_p(All,k);
            L2errp(tstep) += ev*MM*(dm(J(All,k),ev));
        }

        //#####
//#elif (0)
//#####
*/
        Q_plot.set_col(1, p); // load plot data
        Q_plot.set_col(2, vx);
        Q_plot.set_col(3, vy);
        //NvtkInterp = 12; // set output resolution
        NvtkInterp = this->N; // set output resolution
        NvtkInterp +=0;
        //cout << " NvtkInterp = " << NvtkInterp;
        OutputVTK(Q_plot, NvtkInterp);

        //#####
//#endif

```

```

    }
}

//-----
void Acoustic3D::FinalReport()
//-----
{
    // force report on final step
    // this->Report(true);

    // report work times (in seconds)
    umLOG(1, "\n time for NDG work   : %12.2lf secs\n", time_work);
    umLOG(1, "   time for RHS               : %12.2lf secs\n", time_rhs);
    umLOG(1, "   time for main loop          : %12.2lf secs\n\n", time_total);
}

```

5. Acoustic3D.h

```

// Acoustic3D.h
// solves the 3D Acoustic's equations
//-----
#ifndef NDG_Acoustic_333D_H_INCLUDED
#define NDG_Acoustic_333D_H_INCLUDED

#include "NDG3D.h"

//-----
class Acoustic3D : public NDG3D
//-----
{
public:
    Acoustic3D();
    virtual ~Acoustic3D();
    virtual void Driver();

protected:

    virtual void Run();
    virtual void RHS();

    virtual void Resize();
    virtual void SetIC();
    virtual void SetStepSize();
    virtual void InitRun();
    virtual void Summary();
    virtual void Report(bool bForce=false);
    virtual void FinalReport();

protected:

    //-----
    // member data
    //-----
    double alpha, mmode, nmode, xmode, ymode;

    DMat    vx,    vy,    vz,    p;
    DMat    dvx,   dvy,   dvz,   dp;

```

```
DMat rhsvx, rhsvy, rhsvz, rhsp;
DMat resvx, resvy, resvz, resp;
DMat fluxvx, fluxvy, fluxvz, fluxp;

// local spatial derivatives
DMat px, py, pz, divU;
DMat ndotdH, ndotdE;

DMat vx_init, vy_init, vz_init, p_init; // store initial conditions
DMat p_Anal; // analytic solution
DMat err_p; // error estimate

DVec sampleweights; // data for monitoring
int sampletet; // selected sample point

DVec samplep; // Ez(t) at sample point
DVec sampleT; // time for each Ez(t)
DVec L2errp;
double f0, rho, cp, Kappa, t0; // air properties
};

#endif // NDG__Acoustic_333D_H__INCLUDED
```

B. List Program Bantu

1. Akustik_room_reader.m

```
clear all;
clc;
close all;

FileName='D:\nudg++.r62\Akustik2D\GKII TRM Ricker\UMLOG_msg.txt';
Fid = fopen(FileName, 'rt');

% read intro
for i=1:1
    line = fgetl(Fid);
end

% Find number of receivers
line = fgetl(Fid)
dims = sscanf(line, ['(' '%d' ',' '%d' ')'])

%dims = fscanf(Fid, '%d');
Nv = dims(1); K = dims(2);

% read node coordinates
X = (1:Nv); Y = (1:Nv);
for i = 1:Nv
    line = fgetl(Fid);
    tmpx = sscanf(line, '%lf');
    X(i) = tmpx(1); Y(i) = tmpx(2);
end

for i=1:2
    line = fgetl(Fid);
end

%dim = fscanf(Fid, '%d');
line = fgetl(Fid)
dim = sscanf(line, ['(' '%d' ',' '%d' ')'])

Nt = dim(1); NR = dim(2);
Nt=Nt-36;
% read element to node connectivity
Data_p = zeros(Nt, NR-1);
Time = zeros(Nt,1);

for k = 1:Nt
    line = fgetl(Fid);
    tmpcon = sscanf(line, '%lf');
    Time(k)=tmpcon(1);
    for i =2:NR;
        Data_p(k,i-1)= tmpcon(i);
    end
end

% Close file
st = fclose(Fid);

dT = (Time(2)-Time(1))/1e3; % Sample time
Fs=1.0/dT;

y=Data_p(1:650,3);
L=size(y);
NFFT = 2^nextpow2(L(1)); % Next power of 2 from length of y
figure(50)
plot(Time(1:650),y,'LineWidth',2);
xlim([0 16]);
set(gca,'FontSize', 20);
xlabel('Time (ms)','FontSize', 22)
ylabel('P (Pa)','FontSize', 22)
```

```

title(sprintf('Pressure at x = %4.1f and y = %4.1f', X(3), Y(3)),'Color',[0 0
0],'FontSize', 22); drawnow;

[f,Ya]=FFT_1(y,Fs,NFFT,L);
figure(51)
% Plot single-sided amplitude spectrum.
plot(f,2*abs(Ya(1:NFFT/2+1)),'LineWidth',2);
set(gca,'FontSize', 20);
xlim([0 4000]);
xlabel('Frequency (Hz)','FontSize', 22)
ylabel('|P(f)|','FontSize', 22)
% set(gcf,'Color', [0 0 1], 'Number', 'off', 'Name', sprintf('Amplitude Spectrum of
p(t) at x', X(3+(i-1)*5)));
title(sprintf('Spectrum of pressure at x = %4.1f and y = %4.1f', X(3),
Y(3)),'Color',[0 0 0],'FontSize', 22); drawnow;
for i=1:3

y=Data_p(:,8+(i-1)*10);
L=size(y);
NFFT = 2^nextpow2(L(1)); % Next power of 2 from length of y
figure(1+(i-1)*6)
plot(Time,y,'LineWidth',2);
set(gca,'FontSize', 20);
xlabel('Time (ms)','FontSize', 22)
ylabel('P(Pa)','FontSize', 22)
title(sprintf('Pressure at x = %4.1f and y = %4.1f', X(8+(i-1)*10), Y(8+(i-
1)*10)),'Color',[0 0 0],'FontSize', 22); drawnow;

[f,Ya]=FFT_1(y,Fs,NFFT,L);
figure(2+(i-1)*6)
% Plot single-sided amplitude spectrum.
plot(f,2*abs(Ya(1:NFFT/2+1)),'LineWidth',2);
set(gca,'FontSize', 20);
xlim([0 4000]);
xlabel('Frequency (Hz)','FontSize', 22)
ylabel('|P(f)|','FontSize', 22)
% set(gcf,'Color', [0 0 1], 'Number', 'off', 'Name', sprintf('Amplitude Spectrum of
p(t) at x', X(3+(i-1)*5)));
title(sprintf('Spectrum of pressure at x = %4.1f and y = %4.1f', X(8+(i-1)*10),
Y(8+(i-1)*10)),'Color',[0 0 0],'FontSize', 22); drawnow;
end

```

2. FFT_1.m

```

function [f,Ya]=FFT_1(y,Fs,NFFT,L);
Ya = fft(y,NFFT)/L(1);
f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
return

```

C. Contoh Catatan (Log) Eksekusi Program

C.1. Log untuk simulasi dalam Ruang Kecil

Acoustic3D::Driver()

NuDG++ 3D simulation:

```
Model type = Acoustic3D
Order (N)  = 6
Np         = 84
K          = 4537
FileName   = D:/Data mesh/Room3D_small_s0_25.neu
report freq = 25
render freq = 25
plot field = 1
Vtk interp = 6
Finaltime  = 0.025
time-step  = 1e-005 (inital dt)
num. steps = 2500
```

step	time	pmin	pmax	p_err
1	0.00001	-0.00061	0.00001	0
25	0.00025	-0.02448	0.00462	0
50	0.00050	-0.22000	0.03885	0
75	0.00075	-1.38579	0.24093	0
100	0.00100	-5.82694	0.95299	0
125	0.00125	-15.28015	2.87818	0
150	0.00150	-20.20409	6.03623	0
175	0.00175	-10.86636	6.04905	0
200	0.00200	-20.50636	55.14954	0
225	0.00225	-13.25675	66.99134	0
250	0.00250	-9.36970	27.98454	0
275	0.00275	-64.18694	35.67125	0
300	0.00300	-50.79205	17.27293	0
325	0.00325	-17.18091	5.65554	0
350	0.00350	-15.80740	17.48683	0
375	0.00375	-6.62688	11.61044	0
400	0.00400	-4.65642	3.69955	0
425	0.00425	-3.88321	2.89577	0
450	0.00450	-3.35195	2.60299	0
475	0.00475	-2.93948	2.33947	0
500	0.00500	-2.89539	3.83475	0
525	0.00525	-2.85261	3.96115	0
550	0.00550	-2.69532	3.74300	0
575	0.00575	-3.74921	3.42264	0
600	0.00600	-3.58932	4.12759	0
625	0.00625	-4.01489	5.76580	0
650	0.00650	-4.01863	5.30735	0
675	0.00675	-5.53432	4.65098	0
700	0.00700	-5.55465	6.77077	0
725	0.00725	-6.61720	8.57448	0
750	0.00750	-6.40062	4.39566	0
775	0.00775	-9.47303	4.90000	0
800	0.00800	-7.64291	6.07332	0
825	0.00825	-5.05776	6.65132	0
850	0.00850	-4.57779	5.65869	0
875	0.00875	-7.06819	4.68787	0
900	0.00900	-6.44860	4.85801	0

```

925    0.00925   -4.83734   5.93953   0
950    0.00950   -4.80064   3.35941   0
975    0.00975   -5.79782   3.85418   0
1000   0.01000   -4.61724   4.08797   0
1025   0.01025   -3.65551   4.44330   0
1050   0.01050   -4.11232   5.32695   0
1075   0.01075   -4.28532   3.83806   0
1100   0.01100   -4.41193   4.22057   0
1125   0.01125   -5.97321   4.38483   0
1150   0.01150   -4.29419   5.35702   0
1175   0.01175   -4.18126   4.00032   0
1200   0.01200   -4.69415   4.77053   0

```

```

time for NDG work :    20614.16 secs
time for RHS      :    20558.01 secs
time for main loop:    20874.38 secs

```

Simulation complete.

C.2. Log untuk simulasi dalam Ruang Sedang

```
Acoustic3D::Driver()
```

```
NuDG++ 3D simulation:
```

```

Model type = Acoustic3D
Order (N)  = 6
Np         = 84
K          = 7710
FileName   = D:/Data mesh/Room3D_medium_s_0_40.neu
report freq = 20
render freq = 20
plot field = 1
Vtk interp = 6
Finaltime  = 0.05
time-step  = 2e-005 (inital dt)
num. steps = 2500

```

step	time	pmin	pmax	p_err
1	0.00002	-0.00430	0.00032	0
20	0.00040	-0.21581	0.04820	0
40	0.00080	-4.32433	1.06351	0
60	0.00120	-30.50542	8.97527	0
80	0.00160	-45.12306	30.68232	0
100	0.00200	-13.24009	100.01760	0
120	0.00240	-62.03916	107.48488	0
140	0.00280	-103.59830	21.96718	0
160	0.00320	-52.90012	21.88063	0
180	0.00360	-13.08531	21.48326	0
200	0.00400	-7.79026	9.17584	0
220	0.00440	-5.89878	4.36807	0
240	0.00480	-4.78646	5.67811	0
260	0.00520	-4.49261	5.88617	0
280	0.00560	-5.89910	5.52678	0

300	0.00600	-5.65492	5.09358	0
320	0.00640	-5.11883	4.66817	0
340	0.00680	-4.73475	4.28744	0
360	0.00720	-4.33906	4.00183	0
380	0.00760	-4.01086	3.73763	0
400	0.00800	-3.73145	3.44673	0
420	0.00840	-3.50528	3.35925	0
440	0.00880	-3.54368	5.05580	0
460	0.00920	-3.59097	5.05721	0
480	0.00960	-4.96438	4.90441	0
500	0.01000	-4.91181	5.09826	0
520	0.01040	-4.61752	4.42332	0
540	0.01080	-4.61274	4.20756	0
560	0.01120	-4.27815	4.05046	0
580	0.01160	-4.05903	3.83697	0
600	0.01200	-3.86146	3.59307	0
620	0.01240	-3.80238	3.48606	0
640	0.01280	-3.56615	3.17842	0
660	0.01320	-4.04522	6.07944	0
680	0.01360	-3.73115	3.70202	0
700	0.01400	-5.82918	4.61328	0
720	0.01440	-3.43178	4.34908	0
740	0.01480	-4.37307	3.57457	0
760	0.01520	-4.12829	4.17136	0
780	0.01560	-4.31838	3.85123	0
800	0.01600	-3.66925	4.45208	0
820	0.01640	-3.51459	4.00490	0
840	0.01680	-4.48407	3.82956	0
860	0.01720	-3.76430	4.40182	0
880	0.01760	-3.76441	5.02559	0
900	0.01800	-4.31261	3.41719	0
920	0.01840	-4.32035	4.81769	0
940	0.01880	-3.40278	3.69966	0
960	0.01920	-5.10092	3.69602	0
980	0.01960	-3.77942	3.58822	0
1000	0.02000	-3.16319	3.13005	0
1020	0.02040	-3.62476	3.30321	0
1040	0.02080	-2.88475	3.07277	0
1060	0.02120	-3.01813	3.47878	0
1080	0.02160	-3.35877	2.77154	0
1100	0.02200	-3.31108	2.89323	0
1120	0.02240	-2.90600	3.14352	0
1140	0.02280	-3.37866	3.52662	0
1160	0.02320	-3.08219	3.18320	0
1180	0.02360	-3.94075	3.71884	0
1200	0.02400	-3.39211	2.98511	0

time for NDG work : 34466.36 secs
time for RHS : 34367.63 secs
time for main loop : 35007.68 secs

Simulation complete.

PENGUNAAN ANGGARAN 30 %

Penggunaan anggran Termine 1 (70 %) = Rp 32.539.000 (sudah dilaporkan di Laporan Kemajuan Penelitian)

Rincian penggunaan anggaran termine 2I (30 %) adalah seperti berikut:

1. Upah dan honor

No	Peneliti	Jumlah orang	Bulan Kerja	Minggu per bulan	Jam per minggu	Tarip per jam (Rp)	Total (Rp.)
a.	Ketua Peneliti	1	2	4	10	15.000	1.200.000
b.	Anggota Peneliti I	1	2	4	9	14.000	1.008.000
c.	Anggota Peneliti II	1	2	4	9	14.000	1.008.000
Sub Total							3.216.000

2. Komponen Peralatan

	Uraian	Volume		Harga satuan (Rp.)	Harga total (Rp.)
1.	Biaya administrasi dan pengolahan data	1	bulan	500.000	500.000
2.	Biaya perawatan dan perbaikan hardware	1	bulan	500.000	500.000
3	Service CPU dan penggantian Power supply ATX 450 W	1	bulan	265.000	265.000
4	Service CPU, penggantian HardDisk dan Install Windows baru			675.000	675.000
5	Biaya penyusunan code simulator dan analisis hasil	2	bulan	1.000.000	2.000.000
Sub Total					3.940.000

3. Bahan aus

No	Uraian	Kebutuhan		Harga satuan (Rp.)	Harga total (Rp.)
a.	HD Eksternal 1 TB	1	buah	1.200.000	1.200.000
b.	HD Internal 1 TB	1	buah	800.000	800.000
c.	Mouse	2	buah	80.000	160.000
d.	Kabel data	1	buah	25.000	25.000
e.	Flashdisk 32 GB	1	buah	210.000	210.000
f.	Alat tulis	1	set	83.000	83.000
g.	Kertas HVS	8	rim	35.000	280.000
Sub Total					2.748.000

4. Perjalanan

	Uraian	Kebutuhan		Harga satuan (Rp.)	Harga total (Rp.)

5. Lain-lain

	Uraian	Kebutuhan		Harga satuan (Rp.)	Harga total (Rp.)
	Biaya konsumsi diskusi, konsultasi dan simulasi Agustus- Oktober 2013				410.000
Sub Total					410.000
TOTAL					10.314.000

Mengetahui
Ketua LPPM UAJY

Dr. Ir. Djarot Purbadi
NPP: 0787217

Yogyakarta, 5 November 2013
Ketua Peneliti

Dr. Pranowo, ST, MT
NPP: 0996596

KUITANSI

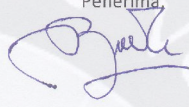
Telah terima dari : Tim Hibah Bersaing - Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Terbilang : # Satu Juta Dua Ratus Ribu Rupiah #

Guna membayar : Honorarium Ketua Peneliti bulan 9 - 10

Rincian : Rp 1.200.000 – PPh 5% = Rp 1.140.000 (Jumlah Bersih yang diterima)

Yogyakarta, 01 Nov 2013.
Penerima,


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

Rp 1.200.000,00

KUITANSI

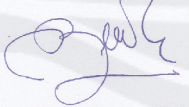
Telah terima dari : Tim Hibah Bersaing - Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Terbilang : # Dua juta rupiah#

Guna membayar : Penyusunan code (coding) simulator dan Analisis hasil HB –Th.2

Rincian : Rp 2.000.000 – PPh 5% = Rp 1.900.000 (Jumlah Bersih yang diterima)

Yogyakarta, 4 November 2013.
Penerima,


Dr. Pranowo, ST, MT

Rp 2.00.000,00

KUITANSI

Telah terima dari : Tim Hibah Bersaing - Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Terbilang : # Satu Juta Delapan Ribu Rupiah #

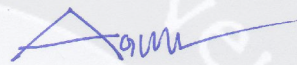
Guna membayar : Honorarium Anggota Peneliti I bulan 9 - 10

Rincian : Rp 1.008.000 – PPh 5% = Rp 957.600 (Jumlah Bersih yang diterima)

Yogyakarta, 01 Nov 2013.

Penerima,

Rp 1.008.000,00



Ir. Ag. Djoko Istiadji, M.Sc. Bld.Sc.

KUITANSI

Telah terima dari : Tim Hibah Bersaing - Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Terbilang : # Satu Juta Delapan Ribu Rupiah #

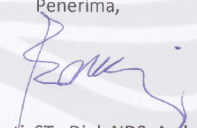
Guna membayar : Honorarium Anggota Peneliti II bulan 9 - 10

Rincian : Rp 1.008.000 – PPh 5% = Rp 957.600 (Jumlah Bersih yang diterima)

Yogyakarta, 01 Nov 2013.

Penerima,

Rp 1.008.000,00



Fl. Binarti, ST., Dipl. NDS. Arch.,

KUITANSI

Telah terima dari : Tim Hibah Bersaing - Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Terbilang : # Lima Ratus Ribu Rupiah#

Guna membayar : Perdiem Hibah Bersaing

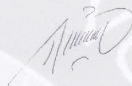
Honorarium administrasi dan perawatan hardware Penelitian Hibah Bersaing – Th.2

Rincian : Rp 500.000 – PPh 5% = Rp 475.000 (Jumlah Bersih yang diterima)

Yogyakarta, 4 November 2013.

Penerima,

Rp 500.000,00


F.X. Supriyanto

KUITANSI

Telah terima dari : Tim Hibah Bersaing - Universitas Atma Jaya Yogyakarta

Terbilang : # Lima Ratus Ribu Rupiah#

Guna membayar : Perdiem Hibah Bersaing

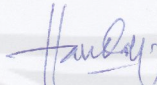
Honorarium administrasi dan pengolahan data Penelitian Hibah Bersaing –Th.2

Rincian : Rp 500.000 – PPh 5% = Rp 475.000 (Jumlah Bersih yang diterima)

Yogyakarta, 4 November 2013.

Penerima,

Rp 500.000,00


Ag. Kris Handoyo

No. _____
Telah diterima dari: Tim Hbuh Beraring - UAF.
Uang sebanyak # Dua Juta Rupiah #
Guna membayar: Pembelian 2 (dua buah) hardisk.
(Eksternal dan Internal)

Vega

METERAI
TEMPER
E2260ABF419416832
6000
DJP
SATU MARI SUPPLA

Asoka 6-11-2013

Terbilang Rp. 2.000.000,-
Dua juta
Hatri Zamgani



PETRACO
Pusat Aksesories & Alat Tulis

Tgl. : 3-9-2013

Jl. Babarsari No. 25 B Yogyakarta Telp. (0274) 485157

ATK 1037782

Banyaknya	Kode Komputer	NAMA BARANG	Harga Satuan	Jumlah
8		HVS A4 80gr Bola dunia	35.000	280.000

Barang yang sudah dibeli tidak dapat ditukar/dikembalikan

Pramuniaga:

Total Rp. 280.000



Showroom :
Babarsari TB 16/1A Yogyakarta 55281
(0274) 485083, 487923, 7493949
Service Center :
Babarsari TB 17/2A Yogyakarta 55281
(0274) 485061, 485286
E-mail :
jrw_mtc@yahoo.com YM : jrw_mtc

NOTA SERVICE RETUR

Nama Lab. Perangkat Keras

Alamat FTI - UAD

No. Tlp. Email :

Tgl. Pembelian

nama barang	merk/spec	deskripsi kerusakan	keterangan
<input checked="" type="checkbox"/> CPU	Komputer	mati/blank/tidak ada tampilan/sering hang	→ Tdk Bisa Matic Wind
<input type="checkbox"/> mainboard		terbakar/pecah/bocor/tidak ada shutdown	
<input type="checkbox"/> processor		virus/system error/overheat	→ HDD Rusak
<input type="checkbox"/> memory		sering restart/blue screen	
<input type="checkbox"/> hard disk		partisi rusak/bad/no detect/bungi	→ Ganti HDD 500 GB
<input type="checkbox"/> floppy disk		tdk bisa baca	WD Digital SATA
<input type="checkbox"/> cdr/dvd/cdrw		kadang detect/tdk bisa tulis-baca	
<input type="checkbox"/> vga card		gambar pecah/garis-garis, resolusi rendah	
<input type="checkbox"/> Audio card		tdk keluar suara	→ include instal Wind xp
<input type="checkbox"/> casing/PSA		tegangan tdk stabil, aksesoris mati	Program standar
<input type="checkbox"/> monitor		kabur/warna tdk lengkap	
<input type="checkbox"/> q-board*mouse		port PS-2 mati, tombol mati	
<input type="checkbox"/> printer		paper jam/tinta macet	
<input type="checkbox"/> speaker		mati sebelah/suara pecah	
<input type="checkbox"/> stabilizer/UPS		batre rusak/tegangan drop	
<input type="checkbox"/> modem		no dial tone/tdk connect internet	
<input type="checkbox"/> tv tuner		no channel	
<input type="checkbox"/> lain-lain		tidak tahu	SN :
<input type="checkbox"/> kelengkapan	dos/buku/driver/panel/kartu garansi		

Biaya Rp. 675.000,-

Tgl. Masuk : 23-08-2013

Customer :

Diterima oleh

Diserahkan oleh (Tgl. Ambil)

Teknisi

Tgl. Selesai : 26-08-2013

As-supriyanto

F. Setiawan

Perhatian !!

- Pada saat pengambilan barang service/retur slip ini harus dibawa.
- Dalam jangka waktu 90 hari setelah selesai service/retur tidak diambil, barang hilang/rusak bukan tanggung jawab kami.
- Apabila tidak bisa menunjukkan kartu garansi (faktur), dianggap barang tersebut tidak bergaransi.
- Garansi tidak termasuk software.

2228



Showroom :
 Babarsari TB 16/1A Yogyakarta 55281
 ☎ (0274) 485083, 487923, 7493949
Service Center :
 Babarsari TB. 17/2A Yogyakarta 55281
 ☎ (0274) 485081, 485286
E-mail :
 jrw_mtc@yahoo.com YM : jrw_mtc

NOTA SERVICE RETUR

Nama Lab Perangkat Keras FTI-UNY
 Alamat

RETUR
 Tgl. Pembelian

No. Tlp. Email :

nama barang	merk/spec	deskripsi kerusakan	keterangan
<input checked="" type="checkbox"/> CPU	<u>KOMPUTER</u>	<input type="checkbox"/> mati/blank/tidak ada tampilan/sering hange	<u>=> MATI TOTAL</u>
<input type="checkbox"/> mainboard	<input type="checkbox"/> terbakar/pecah/bocor/tidak ada shutdown	.....
<input type="checkbox"/> processor	<input type="checkbox"/> virus/system error/overheat	.....
<input type="checkbox"/> memory	<input type="checkbox"/> sering restart/blue screen	<u>=> Ganti Power Supp ATX 450 Watt INFINITY</u>
<input type="checkbox"/> hard disk	<input type="checkbox"/> partisi rusak/bad/no detect/bungi	.....
<input type="checkbox"/> floppy disk	<input type="checkbox"/> tdk bisa baca	.....
<input type="checkbox"/> cdr/dvd/cdrw	<input type="checkbox"/> kadang detect/tdk bisa tulis-baca	.....
<input type="checkbox"/> vga card	<input type="checkbox"/> gambar pecah/garis-garis, resolusi rendah	.....
<input type="checkbox"/> Audio card	<input type="checkbox"/> tdk keluar suara	.....
<input type="checkbox"/> casing/PSA	<input type="checkbox"/> tegangan tdk stabil, aksesoris mati	.....
<input type="checkbox"/> monitor	<input type="checkbox"/> kabur/warna tdk lengkap	.....
<input type="checkbox"/> q-board*mouse	<input type="checkbox"/> port PS-2 mati, tombol mati	.....
<input type="checkbox"/> printer	<input type="checkbox"/> paper jam/tinta macet	.....
<input type="checkbox"/> speaker	<input type="checkbox"/> mati sebelah/suara pecah	.....
<input type="checkbox"/> stabilizer/UPS	<input type="checkbox"/> batre rusak/tegangan drop	.....
<input type="checkbox"/> modem	<input type="checkbox"/> no dial tone/tdk connect internet	.....
<input type="checkbox"/> tv tuner	<input type="checkbox"/> no channel	.....
<input type="checkbox"/> lain-lain	<input type="checkbox"/> tidak tahu	.....
<input type="checkbox"/> kelengkapan	<u>dos/buku/driver/panel/kartu garansi</u>		SN :

Biaya Rp 265.000,-
 Tgl. Masuk : 28-08-2013
 Tgl. Selesai : 29-08-2013
 Customer : Subriyanto
 Diterima oleh : [Signature]
 Diserahkan oleh (Tgl. Ambil) :
 Teknisi :
 .. 2378

Perhatian !!
 1. Pada saat pengambilan barang service/retur, slip ini harus dibawa.
 2. Dalam jangka waktu 90 hari setelah selesai service/retur tidak diambil, barang hilang/usak bukan tanggung jawab kami.
 3. Apabila tidak bisa manunjukkan kartu garansi (faktur), dianggap barang tersebut tidak bergaransi.
 4. Garansi tidak termasuk software.

No.
 Telah terima dari UNY
 Uang sejumlah Tiga ratus sembilan puluh lima ribu rupiah
 Untuk pembayaran pembelian kabel mouse usb, 2 unit mouse genius dan vga transend 32 GB
 Rp. 295.000,-
 [Signature]


Toko Merah
 Jl. Arafani No.1
 Yogyakarta 0274-684162

NOTA PENJUALAN
 NO TRANS: 112013-PST-NINIK-PJA-00000046
 TANGGAL: 03-NOV-2013
 Kasir : NINIK 17:59:40

OP	HT	36	SE
1,00	x	43.000	
TPX PC REFILLABLE SR-806/1694			PCS
1,00	x	14.700	
LABEL CHAMPION 121			PCS
1,00	x	1.800	
TAPE NACHI OPP BROWN			ROLL
1,00	x	9.000	
SETIP WITZ 626E40			PCS
10,00	x	700	
BP ZEL SMOKY P 25107 BLACK			PCS
2,00	x	1.750	
BP FM MV-1/BLUE			PCS
2,00	x	2.000	
SUB TOTAL :			83.000
DISKON :			0
BIAYA KIRIM :			0
JUNILAH :			83.000
BAYAR :			100.000
KEMBALI/KURANG :			17.000
Qty :	18		
Item :	7		

TERIMA KASIH
 ATAS KUNJUNGAN ANDA
 -Barang yang sudah dibeli tidak
 dapat dikembalikan.

dm **RUMAH MAKAN DUTA MINANG MASAKAN PADANG**
 Jl. Solo Km. 7/211 Babarsari - Yogyakarta Telp. (0274) 484089

Banyak	Keterangan	Jumlah
4	Nasi Pamas	50.000
 RUMAH MAKAN DUTA MINANG MASAKAN PADANG MENERIMA PESANAN NASI BUNGKUS / DUS CATERING UNTUK PESTA / RESepsi, Dll. Jl. SOLO KM. 7/5 NO. 211, BABARSARI, YOGYAKARTA TLP. (0274) 484089		
Total		Rp. 50.000

Melayani Pesanan
 Nasi Bungkus/ Dus, Catering
 Untuk Pesta/Resepsi, Dll.

Terima kasih atas belatanger anda

Banyu Muti
 SPECIAL UPANG & GIRAM + KEPTING TELUR

Jl. Godean KM. 4.5 Kwarasan, Nogosirto, Sleman, Yogyakarta
 Telp : 0274 - 545143, 7848877 Fax : 0274 - 564443

12

No.	Tanggal	Gubug/Meja	Server	Jumlah Orang
			Bakmi	
Pesanan	Jumlah	Harga Satuan (Rp)	Harga total (Rp)	
UDANG				
Bakar Madu				
Goreng				
Saos Tiram	1	10000		
Asam Manis				
Rebus				
GURAME				
Goreng				
Goreng Bumbu				
Cobek				
Asam Manis				
Bakar	1	7000		
KEPTING				
Goreng				
Saos Tiram				
Asam Manis				
Rebus				
SAYURAN				
Kangkung Tumis				
Karedok				
Tahu/Tempe Goreng	1	35000		
capri	1	50000		
SAMBAL				
Terasi Dadak	1	2500		
Cobek				
Tomat				
Lalapan				
NASI				
Nasi Putih/BK/BB	1	14000		
Nasi Goreng/Spesial				
Bakmi Grng/Spesial				
MINUMAN				
Soda Gembira				
Soft Drink				
Air Mineral				
Teh Botol/Fruit Tea				
Es Jeruk/Teh				
Teh Tawar				
Jeruk Panas/Teh	2	6000		12000
Es Kelapa Muda				
Tax 7%			240.00	
Service 15%				
0070803				
Terima Kasih Atas Kunjungannya			Jumlah Rp.	260.000



819

Jl. Bumijo 48 Yogyakarta
MENERIMA PESANAN
Telp. 0274 - 7838121

MENU MAKANAN : 13 Okt 13

Nasi Putih	Rp. 2.500	Rp.	
Nasi Goreng Ayam / Hongkong	Rp. 10.000	Rp.	
Nasi Goreng Zancho	Rp. 13.000	Rp.	
Nasi Goreng Cap Jay / Kombinasi	Rp. 16.000	Rp.	
Nasi Goreng Ali	Rp. 12.000	Rp.	
Nasi Goreng Magelangan	Rp. 10.000	Rp.	
Nasi Goreng Kambing	Rp. 15.000	Rp.	
Nasi Goreng Special / Seafood	Rp. 14.000	Rp.	
Bakmi Cap Jay	Rp. 16.000	Rp.	
Bakmi Goreng / Kuah	Rp. 10.000	Rp.	10.000
Bakmi Spesial	Rp. 14.000	Rp.	
Bakmi Seafood	Rp. 16.000	Rp.	
Bihun Goreng / Kuah	Rp. 10.000	Rp.	
Bihun Spesial	Rp. 14.000	Rp.	
Bihun Cap Jay / Bihun Seafood	Rp. 16.000	Rp.	
Kwetlaw Goreng / Kuah	Rp. 10.000	Rp.	
Kwetlaw Seafood / Cap Jay	Rp. 16.000	Rp.	
Kwetlaw Spesial	Rp. 14.000	Rp.	
Fuyunghai	Rp. 15.000	Rp.	
Koloke	Rp. 15.000	Rp.	
Ifumi	Rp. 14.000	Rp.	
Paklay	Rp. 14.000	Rp.	
Ayam Masak Mentega	Rp. 14.000	Rp.	
Ayam Saus Tiram	Rp. 14.000	Rp.	
Ayam Goreng Tepung	Rp. 14.000	Rp.	
Ayam Masak Kecap	Rp. 14.000	Rp.	
Ayam Masak Cabe Hijau	Rp. 14.000	Rp.	
Ayam Asam Manis	Rp. 14.000	Rp.	
Cap Jay Goreng / Kuah	Rp. 14.000	Rp.	
Kamar Bola	Rp. 15.000	Rp.	15.000
Cah Sawi Ayam	Rp. 8.000	Rp.	
Cah Sawi Seafood	Rp. 14.000	Rp.	
Cah Kangkung	Rp. 8.000	Rp.	
Cah Kangkung Seafood	Rp. 14.000	Rp.	
Cah Jamur Ayam	Rp. 12.000	Rp.	
Cah Jamur Seafood	Rp. 14.000	Rp.	
Gurami	Rp. 15.000	Rp.	
Udang	Rp. 19.000	Rp.	
Cumi	Rp. 18.000	Rp.	
Sup Asparagus	Rp. 14.000	Rp.	
Sup Jagung	Rp. 14.000	Rp.	
Chicken Katsu	Rp. 16.000	Rp.	
Ebi Furai	Rp. 19.000	Rp.	
Nila / Bawal	Rp. 14.000	Rp.	
Sapo Tahu Ayam	Rp. 15.000	Rp.	
Sapo Tahu Seafood	Rp. 16.000	Rp.	

MENU MINUMAN :

Teh Panas / Es	Rp. 2000	Rp.	
Jeruk Panas / Es	Rp. 3000	Rp.	6.000
Lemon Tea Panas / Es	Rp. 3000	Rp.	
Coffemix Panas / Es	Rp. 3000	Rp.	
Nutrisari Panas / Es	Rp. 3000	Rp.	
Milo Panas / Es	Rp. 3000	Rp.	
Tape Panas / Es	Rp. 3000	Rp.	

TOTAL Rp. 31.000



82

Jl. Bumijo 48 Yogyakarta
MENERIMA PESANAN
Telp. 0274 - 7838121

MENU MAKANAN : 5 Okt 13

Nasi Putih	Rp. 2.500	Rp.	
Nasi Goreng Ayam / Hongkong	Rp. 10.000	Rp.	
Nasi Goreng Zancho	Rp. 13.000	Rp.	
Nasi Goreng Cap Jay / Kombinasi	Rp. 16.000	Rp.	
Nasi Goreng Ali	Rp. 12.000	Rp.	
Nasi Goreng Magelangan	Rp. 10.000	Rp.	
Nasi Goreng Kambing	Rp. 15.000	Rp.	
Nasi Goreng Special / Seafood	Rp. 14.000	Rp.	
Bakmi Cap Jay	Rp. 16.000	Rp.	
Bakmi Goreng / Kuah	Rp. 10.000	Rp.	
Bakmi Spesial	Rp. 14.000	Rp.	16.000
Bakmi Seafood	Rp. 16.000	Rp.	
Bihun Goreng / Kuah	Rp. 10.000	Rp.	
Bihun Spesial	Rp. 14.000	Rp.	
Bihun Cap Jay / Bihun Seafood	Rp. 16.000	Rp.	
Kwetlaw Goreng / Kuah	Rp. 10.000	Rp.	
Kwetlaw Seafood / Cap Jay	Rp. 16.000	Rp.	32.000
Kwetlaw Spesial	Rp. 14.000	Rp.	
Fuyunghai	Rp. 15.000	Rp.	
Koloke	Rp. 15.000	Rp.	
Ifumi	Rp. 14.000	Rp.	
Paklay	Rp. 14.000	Rp.	
Ayam Masak Mentega	Rp. 14.000	Rp.	
Ayam Saus Tiram	Rp. 14.000	Rp.	
Ayam Goreng Tepung	Rp. 14.000	Rp.	
Ayam Masak Kecap	Rp. 14.000	Rp.	
Ayam Masak Cabe Hijau	Rp. 14.000	Rp.	
Ayam Asam Manis	Rp. 14.000	Rp.	
Cap Jay Goreng / Kuah	Rp. 14.000	Rp.	14.000
Kamar Bola	Rp. 15.000	Rp.	
Cah Sawi Ayam	Rp. 8.000	Rp.	
Cah Sawi Seafood	Rp. 14.000	Rp.	
Cah Kangkung	Rp. 8.000	Rp.	
Cah Kangkung Seafood	Rp. 14.000	Rp.	
Cah Jamur Ayam	Rp. 12.000	Rp.	
Cah Jamur Seafood	Rp. 14.000	Rp.	
Gurami	Rp. 15.000	Rp.	
Udang	Rp. 19.000	Rp.	
Cumi	Rp. 18.000	Rp.	
Sup Asparagus	Rp. 14.000	Rp.	
Sup Jagung	Rp. 14.000	Rp.	
Chicken Katsu	Rp. 16.000	Rp.	
Ebi Furai	Rp. 19.000	Rp.	
Nila / Bawal	Rp. 14.000	Rp.	
Sapo Tahu Ayam	Rp. 15.000	Rp.	
Sapo Tahu Seafood	Rp. 16.000	Rp.	

MENU MINUMAN :

Teh Panas / Es	Rp. 2000	Rp.	8.000
Jeruk Panas / Es	Rp. 3000	Rp.	
Lemon Tea Panas / Es	Rp. 3000	Rp.	
Coffemix Panas / Es	Rp. 3000	Rp.	
Nutrisari Panas / Es	Rp. 3000	Rp.	
Milo Panas / Es	Rp. 3000	Rp.	
Tape Panas / Es	Rp. 3000	Rp.	

TOTAL Rp. 70.000