

**PROPAGASI GELOMBANG AKUSTIK BAWAH AIR
MENGUNAKAN METODE RAY TRACING DAN MONTEREY-
MIAMI PARABOLIC EQUATION PADA PERAIRAN DANGKAL
TELUK KAYELI KABUPATEN BURU**

RAYI KHASANAH LALITA



**TEKNOLOGI KELAUTAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
Bogor Indonesia

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik *IPB University*

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Propagasi Gelombang Akustik Bawah Air Menggunakan Metode *Ray Tracing* dan *Monterey-Miami Parabolic Equation* pada Perairan Dangkal Teluk Kayeli Kabupaten Buru” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir tesis ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, 03 Juni 2024

Rayi Khasanah Lalita
C5502201004



RINGKASAN

RAYI KHASANAH LALITA. Propagasi Gelombang Akustik Bawah Air Menggunakan Metode Ray Tracing dan Monterey-Miami Parabolic Equation pada Perairan Dangkal Teluk Kayeli Kabupaten Buru. Dibimbing oleh HENRY M. MANIK dan IRSAN S. BRODJONEGORO.

Posisi geografis Indonesia menjadi suatu keunggulan dibandingkan dengan negara-negara lain, baik dari segi geoekonomi, geopolitik, maupun geostrategi. Laut Indonesia tidak hanya penting bagi Indonesia, tetapi juga bagi dunia internasional. Perairan Indonesia terletak di perbatasan dengan negara lain dan sering dilalui lalu lintas laut dari negara lain. Dalam posisi seperti ini, Indonesia sangat rentan akan ancaman keamanan maritim karena meningkatnya jumlah arus pelayaran yang melintasi perairan Indonesia. Sementara itu, patroli yang dilakukan TNI AL masih berfokus pada pengamanan di daerah permukaan laut, sementara dengan kemajuan teknologi saat ini banyak kapal selam asing yang memanfaatkan daerah bawah air untuk melakukan operasi laut (Bada *et al.* 2017), disisi lain kedaulatan wilayah Indonesia perlu dijaga.

Akustik bawah air kini secara rutin digunakan untuk memperkirakan kondisi akustik, merencanakan eksperimen maritim, perancangan sistem sonar yang optimal, dan memprediksi kinerja sonar di laut. Pemodelan memberikan cara yang efisien untuk memvalidasi kinerja desain sonar virtual secara parametrik dalam kondisi lingkungan yang berbeda dan memperkirakan kinerja sistem sonar yang ada di wilayah laut dan musim yang berbeda. Kajian mengenai propagasi perambatan suara dalam air perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik kecepatan dan pola perambatan suara di bawah air berdasarkan data salinitas, temperatur, kecepatan suara, dan kedalaman yang disimulasikan ke dalam pemrograman. Penelitian ini dimaksudkan untuk memberikan gambaran secara analitis maupun visual grafis dengan tujuan agar dapat digunakan untuk diaplikasikan ke berbagai macam keperluan baik dibidang riset, militer, dan di bidang kelautan lainnya. Penelitian ini dilakukan dengan membandingkan dua metode pemodelan propagasi akustik yaitu *ray tracing model* dan *Monterey- Miami Parabolic Equation* (MMPE). Pada metode MMPE digunakan tiga frekuensi dan empat tipe sedimen yang berbeda, frekuensi yang digunakan yaitu 1 kHz, 10 kHz dan 100 kHz dan tipe sedimen yang digunakan adalah *clay*, *silt*, pasir halus dan pasir kasar. Penelitian ini menggunakan data CTD (conductivity, temperature and depth) Teluk Kayeli yang merupakan perairan yang terdapat di Kabupaten Buru Provinsi Maluku dan terletak antara $3^{\circ} 15' 55'' - 3^{\circ} 22' 50''S$ dan $127^{\circ} 01' 35'' - 127^{\circ} 01' 35'' T$.

Nilai *transmission loss* (TL) dari hasil pemodelan menunjukkan kemampuan propagasi yang dimiliki gelombang akustik. Rentang nilai TL untuk model dengan frekuensi 1 kHz dengan tipe sedimen *clay* pada medium air berkisar antara 10 dB – 90 dB, pada lapisan sedimen *clay* berkisar antara 10 dB – 90 dB, dan pada lapisan batuan berkisar antara 20 dB – 110 dB. Untuk tipe sedimen *silt*, pada medium air berkisar antara 10 dB – 90 dB, pada lapisan sedimen *silt* berkisar antara 10 dB – 90 dB, dan pada lapisan batuan berkisar antara 20 dB – 110 dB. Untuk tipe sedimen pasir halus, pada medium air berkisar antara 10 dB – 100 dB, pada lapisan sedimen pasir halus berkisar antara 10 dB – 110 dB, dan pada lapisan batuan berkisar antara 20 dB – 110 dB. Untuk tipe sedimen pasir kasar, pada medium air berkisar antara 10 dB – 100 dB, pada lapisan sedimen pasir kasar berkisar antara 10 dB – 110 dB, dan pada lapisan batuan berkisar antara 20 dB –



110 dB. Rentang nilai TL untuk model dengan frekuensi 10 kHz dengan tipe sedimen *clay* pada medium air berkisar antara 10 dB – 90 dB, pada lapisan sedimen *clay* berkisar antara 10 dB – 100 dB, dan pada lapisan batuan berkisar antara 20 dB – 100 dB. Untuk tipe sedimen *silt*, pada medium air berkisar antara 10 dB – 90 dB, pada lapisan sedimen *silt* berkisar antara 10 dB – 100 dB, dan pada lapisan batuan berkisar antara 20 dB – 100 dB. Untuk tipe sedimen pasir halus, pada medium air berkisar antara 10 dB – 90 dB, pada lapisan sedimen pasir halus berkisar antara 10 dB – 100 dB, dan pada lapisan batuan berkisar antara 20 dB – 100 dB. Untuk tipe sedimen pasir kasar, pada medium air berkisar antara 10 dB – 90 dB, pada lapisan sedimen pasir kasar berkisar antara 10 dB – 100 dB, dan pada lapisan batuan berkisar antara 20 dB – 100 dB. Rentang nilai TL untuk model dengan frekuensi 100 kHz dengan tipe sedimen *clay* pada medium air berkisar antara 10 dB – 110 dB, pada lapisan sedimen *clay* berkisar antara 10 dB – 100 dB, dan pada lapisan batuan berkisar antara 30 dB – 90 dB. Untuk tipe sedimen *silt*, pada medium air berkisar antara 10 dB – 100 dB, pada lapisan sedimen *silt* berkisar antara 10 dB – 100 dB, dan pada lapisan batuan berkisar antara 30 dB – 90 dB. Untuk tipe sedimen pasir halus, pada medium air berkisar antara 10 dB – 100 dB, pada lapisan sedimen pasir halus berkisar antara 20 dB – 90 dB, dan pada lapisan batuan berkisar antara 50 dB – 90 dB. Untuk tipe sedimen pasir kasar, pada medium air berkisar antara 10 dB – 100 dB, pada lapisan sedimen pasir kasar berkisar antara 20 dB – 90 dB, dan pada lapisan batuan berkisar antara 50 dB – 90 dB. Sebaran intensitas TL ini bervariasi bergantung kepada jarak dan kedalaman.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dalam penelitian ini maka dapat disimpulkan bahwa propagasi gelombang suara pada laut dangkal sangat dipengaruhi oleh kedalaman dan jenis sedimen pada dasar perairan dikarenakan impedansi akustik yang mempengaruhi propagasi akustik melalui fenomena seperti refleksi, refraksi dan interaksi dasar perairan. Impedansi akustik yang berbeda antara dasar perairan dan air laut dapat secara signifikan mempengaruhi perilaku gelombang akustik di lingkungan perairan dangkal. Frekuensi akustik mempengaruhi kemampuan propagasi gelombang suara dalam medium, gelombang dengan frekuensi lebih rendah memiliki kemampuan propagasi yang lebih baik. Model menggunakan metode *ray tracing* dan MMPE menunjukkan pola yang sesuai pada model dengan frekuensi 100 kHz. Hal ini dikarenakan kemampuan propagasi yang kecil sehingga pengaruh dasar perairan tidak signifikan sehingga sesuai dengan metode *ray tracing* yang mengabaikan pengaruh dasar perairan.

Kata Kunci: frekuensi, MMPE *model* perairan dangkal, propagasi akustik, *ray tracing*, sedimen,

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



SUMMARY

RAYI KHASANAH LALITA. Underwater Acoustic Propagation Using the Ray Tracing and the Monterey-Miami Parabolic Equation Method in the Shallow Waters of Kayeli Bay Buru Regency. Supervised by HENRY M. MANIK and IRSAN S. BRODJONEGORO.

Indonesia's geographical position is an advantage compared to other countries, both in terms of geoeconomics, geopolitics and geostrategy. The Indonesian seas are not only important for Indonesia, but also for the international world. Indonesian waters are located on the border with other countries and are often passed by sea traffic from other countries. In a position like this, Indonesia is very vulnerable to maritime security threats due to the increasing number of shipping flows crossing Indonesian waters. Meanwhile, patrols carried out by the Indonesian Navy still focus on securing the sea surface area, while with current technological advances many foreign submarines are using underwater areas to carry out maritime operations. On the other hand, Indonesia's territorial sovereignty needs to be maintained.

Underwater acoustics are now routinely used to estimate acoustic conditions, plan maritime experiments, design optimal sonar systems, and predict sonar performance at sea. Modeling provides an efficient way to parametrically validate the performance of virtual sonar designs under different environmental conditions and estimate the performance of existing sonar systems in different ocean regions and seasons. Studies regarding sound propagation in water need to be carried out to determine the speed characteristics and sound propagation patterns underwater based on salinity, temperature, sound speed and depth data that are simulated in programming. This research is intended to provide an analytical and visual graphic description with the aim that it can be used for various purposes in the research, military and other maritime fields. This research was carried out by comparing two acoustic propagation modeling methods, namely the ray tracing model and the Monterey-Miami Parabolic Equation (MMPE). In the MMPE method, three frequencies and four different types of sediment are used, the frequencies used are 1 kHz, 10 kHz and 100 kHz and the sediment types used are clay, silt, fine sand and coarse sand. This research uses CTD (conductivity, temperature and depth) data from Kayeli Bay, which is a body of water in Buru Regency, Maluku Province and is located between $3^{\circ} 15' 55'' - 3^{\circ} 22' 50'' S$ and $127^{\circ} 01' 35'' - 127^{\circ} 01' 35'' E$.

The transmission loss (TL) value from the modeling results shows the propagation capabilities of acoustic waves. The range of TL values for models with a frequency of 1 kHz with clay sediment types in the water medium is between 10 dB - 90 dB, in clay sediment layers it is between 10 dB - 90 dB, and in rock layers it is between 20 dB - 110 dB. For the silt sediment type, in the water medium it ranges from 10 dB - 90 dB, in the silt sediment layer it ranges from 10 dB - 90 dB, and in the rock layer it ranges between 20 dB - 110 dB. For the fine sand sediment type, in the water medium it ranges from 10 dB - 100 dB, in the fine sand sediment layer it ranges from 10 dB - 110 dB, and in the rock layer it ranges from 20 dB - 110 dB. For the coarse sand sediment type, in the water medium it ranges from 10 dB - 100 dB, in the coarse sand sediment layer it ranges from 10 dB - 110 dB, and in the rock layer it ranges between 20 dB - 110 dB. The range of TL values for models with a frequency of 10 kHz with clay sediment types in the water medium is between 10 dB - 90 dB, in clay sediment layers it is between 10 dB - 100 dB,



and in rock layers it is between 20 dB - 100 dB. For the silt sediment type, in the water medium it ranges from 10 dB – 90 dB, in the silt sediment layer it ranges from 10 dB – 100 dB, and in the rock layer it ranges between 20 dB – 100 dB. For the fine sand sediment type, in the water medium it ranges from 10 dB – 90 dB, in the fine sand sediment layer it ranges from 10 dB – 100 dB, and in the rock layer it ranges from 20 dB – 100 dB. For the coarse sand sediment type, in the water medium it ranges from 10 dB – 90 dB, in the coarse sand sediment layer it ranges from 10 dB – 100 dB, and in the rock layer it ranges from 20 dB – 100 dB. The range of TL values for models with a frequency of 100 kHz with clay sediment types in the water medium is between 10 dB - 110 dB, in clay sediment layers it is between 10 dB - 100 dB, and in rock layers it is between 30 dB - 90 dB. For the silt sediment type, in the water medium it ranges from 10 dB – 100 dB, in the silt sediment layer it ranges from 10 dB – 100 dB, and in the rock layer it ranges between 30 dB – 90 dB. For the fine sand sediment type, in the water medium it ranges from 10 dB – 100 dB, in the fine sand sediment layer it ranges from 20 dB – 90 dB, and in the rock layer it ranges between 50 dB – 90 dB. For the coarse sand sediment type, in the water medium it ranges from 10 dB – 100 dB, in the coarse sand sediment layer it ranges from 20 dB – 90 dB, and in the rock layer it ranges between 50 dB – 90 dB. The distribution of TL intensity varies depending on distance and depth.

Based on the results obtained in this research, it can be concluded that the propagation of sound waves in shallow seas is greatly influenced by the depth and type of sediment at the bottom of the waters due to acoustic impedance which influences acoustic propagation through phenomena such as reflection, refraction and bottom water interactions. The different acoustic impedance between bottom waters and seawater can significantly influence the behavior of acoustic waves in shallow water environments. Acoustic frequency affects the propagation ability of sound waves in a medium, waves with lower frequencies have better propagation ability. The model using the ray tracing and MMPE methods shows a pattern that matches the model with a frequency of 100 kHz. This is due to the small propagation capacity so that the influence of the bottom of the waters is not significant so it is suitable for the ray tracing method which ignores the influence of the bottom of the waters.

Keywords: acoustic propagation, frequency, MMPE model, ray tracing, sediment, shallow water

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

©Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip Sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepeningsn Pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.



PROPAGASI GELOMBANG AKUSTIK BAWAH AIR MENGUNAKAN METODE RAY TRACING DAN MONTEREY- MIAMI PARABOLIC EQUATION PADA PERAIRAN DANGKAL TELUK KAYELI KABUPATEN BURU

RAYI KHASANAH LALITA

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Teknologi kelautan

**TEKNOLOGI KELAUTAN
SEKOLAH PASCASARJANA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Tim Penguji pada Ujian Tesis:

- 1 Dr. Ir. Totok Hestirianoto, M.Sc
- 2 Dr. Ayi Rahmat, S.Pi, M.Si



IPB University

Bogor Indonesia

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Perpustakaan IPB University



Judul Tesis : Propagasi Gelombang Akustik Bawah Air Menggunakan Metode *Ray Tracing* dan *Monterey-Miami Parabolic Equation* pada Perairan Dangkal Teluk Kayeli Kabupaten Buru

Nama : Rayi Khasanah Lalita
NIM : C5502201004

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Henry M. Manik, S.Pi, MT, Ph.D



Pembimbing 2:
Ir. Irsan S. Brodjonegoro, Ph.D

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Jonson Lumban Gaol, M.Si
NIP 196607211991001009



Dekan Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan :
Prof. Dr. Ir. Fredinan Yulianda, M.Sc
NIP 196307311988031002



Tanggal Ujian: Rabu, 12 Juni 2024

Tanggal Lulus:

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Januari 2023 sampai bulan Juli 2023 ini ialah akustik kelautan, dengan judul “Propagasi Akustik Bawah Air Menggunakan Metode *Ray Tracing* dan *Monterey-Miami Parabolic Equation* pada Perairan Dangkal Teluk Kayeli Kabupaten Buru”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Henry M. Manik, S.Pi, MT, Ph.D dan Ir. Irsan S. Brodjonegoro, Ph.D yang telah membimbing dan banyak memberi saran.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada:

1. Pimpinan dan seluruh staf sekolah pascasarjana IPB,
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Jonson Lumban Gaol, M.Si selaku ketua program studi, serta dosen dan staf program studi Teknologi Kelautan Sekolah Pascasarjana IPB,
3. Dr. Ir. Totok Hestirianoto, M.Sc selaku penguji pada ujian tesis penulis dan Dr. Ayi Rahmat, S.Pi, M.Si selaku moderator pada ujian tesis penulis atas masukan yang diberikan guna memperbaiki tesis penulis agar lebih baik,
4. Kedua orang tua dan saudara tercinta atas segala dukungan doa dan kasih sayangnya,
5. Siti Rahma Hentihu *for loving me as her own*,
6. Keluarga,
7. Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah menjadi sponsor bagi penulis selama studi ,
8. Pusat Hidro-Oseanografi Angkatan Laut (PUSHIDROSAL) yang telah memberikan data bagi penulis untuk penelitian,
9. Sahabat-sahabat penulis yang senantiasa memberikan semangat dan menjadi tempat berbagi bagi penulis,
10. Rekan-rekan mahasiswa Pascasarjana Teknologi Kelautan atas bantuan dan kerjasamanya selama ini,
11. Semua pihak yang telah membantu dalam penulisan ini

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, 03 Juni 2024

Rayi Khasanah Lalita



DAFTAR ISI

RINGKASAN	ii
SUMMARY	iv
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR ISTILAH	xvi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Ray Tracing Model</i>	5
2.2 <i>Monterey-Miami Parabolic Equation</i>	6
III METODE PENELITIAN	7
3.1 Waktu dan Lokasi Penelitian	7
3.2 Alat dan Data	8
3.3 Prosedur Kerja	8
3.4 Model Propagasi Bawah Air	10
IV HASIL	20
4.1 Kondisi Perairan Teluk Kayeli	20
4.2 Pemodelan Menggunakan <i>Ray Tracing</i> dan MMPE	21
4.3 Penampang di dalam Teluk Kayeli	22
4.4 Penampang di mulut Teluk Kayeli	36
4.5 Penampang di luar Teluk Kayeli	47
V PEMBAHASAN	51
5.1 Perbandingan Hasil Model Menggunakan Metode <i>Ray Tracing</i> dan MMPE	51
5.2 Model Propagasi Akustik Di Perairan Dangkal	53
5.3 Pengaruh Sedimen Terhadap Propagasi Gelombang Akustik	54
5.4 Pengaruh Frekuensi Terhadap Propagasi Gelombang Akustik	57
VI SIMPULAN DAN SARAN	59
6.1 Simpulan	59
6.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	63
RIWAYAT HIDUP	78

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR TABEL

1	Koordinat titik awal dan akhir penampang yang digunakan dalam pemodelan	7
2	<i>File setting</i> untuk program MMPE	8
3	Parameter sedimen	8
4	Rentang nilai TL untuk tiap frekuensi dan tipe sedimen di seluruh penampang	54
5	Rentang nilai TL untuk tiap frekuensi dan tipe sedimen di seluruh penampang (Lanjutan)	55

DAFTAR GAMBAR

1	Peta lokasi pengambilan data CTD	7
2	Diagram alir pemrosesan model <i>ray tracing</i> dan MMPE	10
3	Empat tipe dasar eigenrays: DP, <i>direct path</i> ; RSR, <i>refracted-surface reflected</i> ; RBR, <i>refracted-bottom-reflected</i> ; RSRBR, <i>refracted-surface reflected-bottom-reflected</i> RSRBR.	11
4	Profil menegak suhu, salinitas dan kecepatan suara untuk kedelapan penampang	20
5	Jalur penampang yang digunakan pada model MMPE	21
6	Hasil pemodelan menggunakan metode <i>ray tracing</i> (kiri) dan profil kecepatan suara (kanan)	22
7	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 1 kHz dan profil kecepatan suara	23
8	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 1 kHz dan profil kecepatan suara	23
9	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	24
10	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	24
11	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	25
12	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	25
13	Model propagasi akustik menggunakan <i>ray tracing</i> (kiri) dan profil kecepatan suara (kanan)	26
14	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 1 kHz dan profil kecepatan suara	27
15	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 1 kHz dan profil kecepatan suara	27
16	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	28
17	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	28
18	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	29
19	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	29
20	Hasil pemodelan menggunakan metode <i>ray tracing</i> (kiri) dan profil kecepatan suara (kanan)	30

21	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 1 kHz dan profil kecepatan suara	30
22	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 1 kHz dan profil kecepatan suara	31
23	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	31
24	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	32
25	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	32
26	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	33
27	Hasil pemodelan menggunakan metode <i>ray tracing</i> (kiri) dan profil kecepatan suara (kanan)	33
28	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> (kiri), <i>silt</i> (kanan) dan profil kecepatan suara	34
29	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 1 kHz dan profil kecepatan suara	34
30	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	35
31	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	35
32	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	36
33	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	36
34	Hasil pemodelan menggunakan metode <i>ray tracing</i> (kiri) dan profil kecepatan suara (kanan)	37
35	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan 1 kHz dan profil kecepatan suara	37
36	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	38
37	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	38
38	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	39
39	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	39
40	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	40
41	Hasil pemodelan menggunakan metode <i>ray tracing</i> (kiri) dan profil kecepatan suara (kanan)	40
42	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan 1 kHz dan profil kecepatan suara	41
43	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 1 kHz dan profil kecepatan suara	41
44	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	42

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

IPB University

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mempublikasikan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

45	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	42
46	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	43
47	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	43
48	Hasil pemodelan menggunakan metode <i>ray tracing</i> (kiri) dan profil kecepatan suara (kanan)	44
49	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 1 kHz dan profil kecepatan suara	44
50	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 1 kHz dan profil kecepatan suara	45
51	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	45
52	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	46
53	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	46
54	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	47
55	Hasil pemodelan menggunakan metode <i>ray tracing</i> (kiri) dan profil kecepatan suara (kanan)	47
56	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 1 kHz dan profil kecepatan suara	48
57	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 1 kHz dan profil kecepatan suara	48
58	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	49
59	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan frekuensi 10 kHz dan profil kecepatan suara	49
60	Model MMPE menggunakan tipe sedimen <i>clay</i> dan <i>silt</i> dengan frekuensi 100 kHz dan profil kecepatan suara	50
61	Model MMPE menggunakan tipe sedimen pasir halus dan pasir kasar dengan 100 kHz dan profil kecepatan suara	50
62	Perbandingan model <i>ray tracing</i> dan MMPE untuk penampang 3-4	51
63	Perbandingan model <i>ray tracing</i> dan MMPE untuk penampang 5-6	51
64	Perbandingan model <i>ray tracing</i> dan MMPE untuk penampang 7-8	52
65	Perbandingan model <i>ray tracing</i> dan MMPE untuk penampang 9-10	52
66	Perbandingan model <i>ray tracing</i> dan MMPE untuk penampang 15-16	52
67	Perbandingan propagasi gelombang akustik antara penampang 1 – 2, 5 – 6 untuk model dengan tipe sedimen <i>clay</i>	54
68	Perbandingan propagasi gelombang akustik antara penampang 13 – 14 dan 15 – 16 untuk model dengan tipe sedimen <i>clay</i>	54

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR LAMPIRAN

1	Pengaturan sumber dalam <i>file</i> pesrc.inp	64
2	Pengaturan nama <i>file</i> masukan, kedalaman, jarak, kecepatan suara awal nama <i>file</i> masukan, kedalaman, jarak, kecepatan suara awal dalam <i>file</i> pefiles.in	64
3	Pengaturan kecepatan suara dalam <i>file</i> pssp.inp	64
4	Pengaturan batimetri dalam <i>file</i> pebath.inp	65
5	Pengaturan bottom properties dalam <i>file</i> pebotprop.inp	65
6	Pengaturan lapisan sedimen dalam <i>file</i> pedbath.inp	65
7	Pengaturan <i>subbottom properties</i> dalam <i>file</i> pedbotprop.inp	66
8	Hasil <i>running file</i> peout1	66
9	Tampilan <i>running file</i> MMPE2DBB	66
10	Penjelasan MATLAB <i>code file</i> peout1.m	67
11	Penjelasan MATLAB <i>code file</i> peout2.m	71



DAFTAR ISTILAH

<i>Bandwidth</i>	: Rentang frekuensi atau spekrm frekuensi yang dapat dipancarkan atau dideteksi oleh system sonar atau sensor bawah air.
<i>Bilinear profile</i>	: Jenis profil kecepatan suara di dalam air yang memiliki dua segmen linear yang terpisah.
<i>Bottom reverberation</i>	: Fenomena di mana gelombang suara yang dipancarkan dari suatu sumber memantul dari dasar laut dan kemudian kembali ke penerima.
<i>Bottom properties</i>	: Karakteristik fisik dari dasar laut atau substrat dibawah permukaan air.
<i>Boundaries</i>	: <i>Interface</i> atau batas antara dua medium atau struktur yang berbeda di dalam lingkungan bawah air.
<i>Broadband</i>	: Kemampuan sistem sonar atau sensor untuk mendeteksi atau memancarkan sinyal dalam rentang frekuensi yang luas atau lebar, dibandingkan dengan sinyal yang lebih terfokus pada frekuensi tunggal.
<i>Caustics</i>	: Pola intensitas yang terbentuk saat gelombang suara yang merambat melalui medium air diubah oleh variasi kecepatan suara di dalamnya.
<i>Clay</i>	: Jenis sedimen di dasar laut yang terdiri dari partikel-partikel halus dan memiliki kepadatan yang tinggi.
<i>Continuous wave</i>	: Gelombang suara yang memiliki frekuensi tunggal dan berkelanjutan secara kontinu. Artinya, gelombang ini tidak terputus-putus atau tidak memiliki gangguan frekuensi lain di dalamnya.
<i>Cubic spline</i>	: Metode interpolasi yang digunakan untuk mengaproksimasi atau menemukan fungsi yagn melewati serangkaian titik data dengan menggunakan potongan polinomial kubik di antara titik-titik tersebut.
<i>Cusped caustics</i>	: Pola intensitas yang terbentuk saat gelombang suara yang merambat melalui medium air mengalami variasi kecepatan suara yang ekstrem, yang menghasilkan efek cusp atau titik fokus yang tajam.
<i>Cusped focal surface</i>	: Permukaan di mana gelombang suara yang terfokus secara alami membentuk titik focus atau “cusp”.
<i>Direct path</i>	: Jalur suara langsung yang membentuk bagian dari spektrum <i>eigenray</i> .
<i>Eigenray</i>	: Jalur-jalur suara yang merupakan solusi dari persamaan eikonol dan menggambarkan jalur-jalur propagasi gelombang suara dari sumber ke penerima dalam medium yang memiliki variasi kecepatan suara.
<i>Far field</i>	: Wilayah disekitar sumber suara di mana gelombang suara telah menyebar dan jaraknya jauh dari sumber tersebut.



Fractional-step fourier march

: Metode numerik yang membagi perjalanan gelombang menjadi langkah-langkah kecil atau “fraksional” dalam domain waktu dan menggunakan transformasi fourier untuk menganalisis respon gelombang di setiap langkah.

Grazing angle

: Sudut datangnya gelombang suara terhadap permukaan laut atau objek di bawah air.

Heaviside step function

: Fungsi matematika yang mendefinisikan transisi tiba-tiba dari satu keadaan ke keadaan lainnya. Dalam konteks akustik bawah air, fungsi ini digunakan untuk memodelkan perubahan tiba-tiba dalam sifat akustik tertentu, seperti tekanan, kecepatan, atau kepadatan.

Interface

: Batas antara dua media yang memiliki properti akustik yang berbeda.

Kondisi akustik

: Karakteristik dan fenomena suara saat merambat melalui media air yang dipengaruhi beberapa factor antara lain kecepatan suara di air, penyerapan dan penyebaran suara, refleksi dan refraksi, kekeruhan partikel di air dan kondisi lingkungan.

Multiply segmented profile

: Profil kecepatan suara yang terdiri dari beberapa segmen atau lapisan yang memiliki karakteristik kecepatan suara yang berbeda.

Ray chaos

: Fenomena di mana jalur-jalur gelombang suara yang terbentuk oleh pantulan dan pembiasan dari struktur bawah air menjadi sangat kompleks dan sulit diprediksi.

Refracted-bottom-reflected

: Jalur suara yang merupakan bagian dari spektrum *eigenray*. Merujuk pada jalur suara yang mengalami pembiasan ketika melewati lapisan medium dengan kecepatan suara yang berbeda kemudian gelombang suara ini memantul (pantulan permukaan) dari permukaan air laut sebelum mencapai penerima.

Refracted-surfaced-reflected

: Jalur suara yang merupakan bagian dari spektrum *eigenray*. Merujuk pada jalur suara yang mengalami pembiasan ketika melewati lapisan medium dengan kecepatan suara yang berbeda kemudian gelombang suara ini memantul (pantulan dasar laut) dari dasar laut sebelum mencapai penerima.

Refracted-surfaced-reflected-bottom-reflected

: Jalur suara yang merupakan bagian dari spektrum *eigenray*. Merujuk pada jalur suara yang mengalami pembiasan ketika melewati lapisan medium dengan kecepatan suara yang berbeda kemudian gelombang suara ini memantul (pantulan permukaan) dari permukaan air laut dan pantulan (pantulan dasar laut) dari dasar laut sebelum mencapai penerima (Etter 2003).

Runoff

: Aliran permukaan yang mengalir kedalam sebuah teluk atau perairan laut.



Runtime

: Periode saat program berjalan atau dieksekusi oleh mesin atau lingkungan tempat program tersebut dijalankan.

Shadow zone

: Daerah di mana gelombang suara tidak dapat mencapainya karena terhalang oleh suatu objek atau struktur di bawah air.

Shear wave

: Gelombang akustik yang merambat melalui medium dengan gerakan geser.

Silt

: Jenis sedimen dengan ukuran partikel yang lebih besar dari pada *clay* tetapi lebih kecil dari pada pasir.

Smooth caustics

: Pola intensitas yang terbentuk saat gelombang suara yang merambat melalui medium air mengalami variasi kecepatan suara yang lebih gradual atau kontinu di dalam medium air.

Sound channel

: Lapisan vertikal di lautan di mana gelombang suara memiliki kecepatan yang relatif stabil atau minimal variabilitas.

Source level

: Kekuatan atau intensitas suara yang dipancarkan oleh sumber suara

Spherical Green's function

: Konsep dalam teori medan yang digunakan untuk menggambarkan bagaimana medan (seperti medan gravitasi, medan elektromagnetik, atau medan akustik) merambat dari satu titik ke titik lain dalam ruang tiga dimensi.

Subbottom properties

: Karakteristik fisik dari lapisan batuan di bawah dasar laut.

Surface duct

: Lapisan atau lapisan udara tipis yang terbentuk di atas permukaan air laut, di mana temperatur udara di atasnya lebih hangat daripada temperatur air di bawahnya. Perbedaan suhu ini menyebabkan perbedaan dalam kecepatan suara antara udara dan air, yang dapat menghasilkan kondisi di mana gelombang suara terperangkap dan terpantul di dalam lapisan udara ini daripada menyebar ke dalam air di bawahnya.

Transmission loss

: Penurunan amplitude dan energi gelombang suara saat gelombang tersebut merambat melalui media transmisi seperti air laut atau sedimen laut.

Time-harmonic

: Mengindikasikan bahwa gelombang suara memiliki pola perubahan yang berulang dalam waktu, seperti gelombang sinusoidal atau kosinusoidal.

waveguide

: Fenomena gelombang suara terperangkap dan merambat melalui lapisan medium dengan kecepatan suara yang berbeda, seperti perubahan kepadatan atau temperatur di dalam lautan.

Wide angle

: Sudut besar dari sumber suara atau penerima terhadap arah penyebaran gelombang suara.

Wide angle source

: Sumber suara yang menghasilkan gelombang suara yang menyebar ke berbagai arah atau sudut.