

**PENGARUH PERGERAKAN MASSA AIR DAN DISTRIBUSI PARAMETER
TEMPERATUR, SALINITAS DAN KECEPATAN SUARA
PADA KOMUNIKASI KAPAL SELAM**

**THE EFFECT OF WATER MASS MOVEMENT AND DISTRIBUTION OF TEMPERATURE, SALINITY AND SOUND
SPEED PARAMETERS ON SELAM SHIP COMMUNICATION**

Okol Sri Suharyo^{1*}, Dian Adrianto², Zainul Hidayah³

¹Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut Surabaya

²Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI AL

³Prodi Ilmu Kelautan Universitas Trunojoyo Madura

*Corresponding author e-mail: okolsrisuharyo@sttal.ac.id

Submitted: 13 November 2018 / Revised: 04 Desember 2018 / Accepted: 04 Desember 2018

<http://doi.org/10.21107/jk.v11i2.4521>

ABSTRACT

The study of the characteristics of the underwater acoustic wave propagation pattern which includes temperature, salinity and sound speed can be used to detect the presence of submarines. In general, submarines through or hide in shadow areas (shadow zone), which is an area that is not traversed by the propagation of acoustic waves. By knowing the position or area, it can be mapped submarine traffic area. The Monterey - Miami Parabolic Equation (MMPE) program is used to simulate the acoustic wave propagation pattern, which has previously been tested using the Ray Tracing (high frequency) and Normal (low frequency) methods. This study chose the Lombok Strait as a research locus because the area has complex oceanographic dynamics with the meeting of water masses from the Indonesian Ocean and the Pacific Ocean. Simulations are carried out in 2 seasons namely the West and East seasons (2015-2016). The first simulation of acoustic sources was placed on the island of Bali and propagated to the East. Simulation II of acoustic sources on Lombok Island and the direction of propagation to the West. Simulation III of acoustic sources on Bali Island and propagating to the Southeast, and IV Simulation of acoustic sources on Lombok Island and direction of propagation to the North West. From the simulation results show the formation of shadow zones in all research stations except at the PPSL 15 station and STN 10 station. The submarine traffic lane map is made based on the shadow zone area formed, and the determination of the installation site of submarine monitoring equipment is determined based on the minimum area / there is no shadow zone. The area is the area between STN 10 and PPSL 15 stations with coordinates A (8,746 S - 115,622 T), B (8,746 S - 115,819 T), C (8,750 S - 115,624 T) and D (8,750 S - 115,814 T).

Keywords: Temperature, Salinity, Sound Speed, Monterey – Miami Parabolic Equation, Submarine Monitoring.

ABSTRAK

Kajian terhadap karakteristik pola propagasi gelombang akustik bawah air yang meliputi temperatur, salinitas dan kecepatan suara dapat dipergunakan untuk mendeteksi keberadaan kapal selam. Pada umumnya kapal selam melalui atau bersembunyi pada daerah-daerah bayangan (shadow zone), yaitu suatu daerah yang tidak dilalui oleh propagasi gelombang akustik. Dengan mengetahui posisi atau daerah tersebut maka dapat dipetakan daerah lalu lintas kapal selam. Program Monterey – Miami Parabolic Equation (MMPE) dipergunakan untuk mensimulasikan pola propagasi gelombang akustik, yang sebelumnya telah dilakukan uji model dengan metode Ray Tracing (frekuensi tinggi) dan Normal Mode (frekuensi rendah). Penelitian ini memilih Selat Lombok sebagai lokus penelitian karena daerah tersebut memiliki dinamika oseanografi yang kompleks dengan bertemunya massa air dari Samudra Indonesia dan Samudra Pasifik. Simulasi dilakukan pada 2 musim yaitu musim Barat dan musim Timur (2015-2016). Simulasi I sumber akustik diletakkan di Pulau Bali dan berpropagasi ke Timur. Simulasi II sumber akustik di Pulau Lombok dan arah propagasi ke Barat. Simulasi III sumber akustik di Pulau Bali dan berpropagasi ke Tenggara, dan Simulasi IV sumber akustik di Pulau

Lombok dan arah propagasi ke Barat Laut. Dari hasil simulasi menunjukkan terbentuknya shadow zone pada seluruh stasiun penelitian kecuali pada stasiun PPSL 15 dan stasiun STN 10. Peta jalur lalu lintas kapal selam dibuat berdasar daerah shadow zone yang terbentuk, serta penentuan tempat pemasangan alat monitoring kapal selam ditentukan berdasarkan pada daerah yang minimal/tidak terdapat shadow zone. Daerah tersebut adalah daerah antara stasiun STN 10 dan PPSL 15 dengan koordinat titik **A** (8.746 S – 115.622 T), **B** (8.746 S – 115.819 T), **C** (8.750 S -115.624 T) dan **D** (8.750 S – 115.814 T).

Katakunci: Parameter Temperatur, Salinitas, Kecepatan Suara, Monterey–Miami Parabolic Equation, Monitoring Kapal Selam.

PENDAHULUAN

Aplikasi awal dari teknologi akustik telah dikenal pada era Perang Dunia I, walaupun bukan untuk deteksi kapal selam, melainkan dipergunakan untuk deteksi kapal pengebom musuh dan zeppelin di udara. Pada awal-awal tahun Perang Dunia I banyak kemajuan yang dibuat oleh Inggris dan Jerman, yaitu dengan mengembangkan sistem deteksi dan penentuan lokasi dari pesawat terbang musuh. Teknologi akustik selanjutnya mengalami banyak perkembangan hingga ditemukannya sistem *Sound and Ranging* (SONAR) melalui pemanfaatan propagasi gelombang akustik, yang dipergunakan untuk deteksi kapal selam oleh Inggris dan Amerika (Ludfy, 2006). Pada masa sekarang perkembangan sistem SONAR sangatlah pesat dan digunakan di banyak bidang seperti hidrografi (peta batimetri dan dasar laut), arkeologi (penentuan kerangka kapal), geologi (penentuan lapisan sedimen), perikanan (lokasi dan jumlah ikan) dan tentunya dibidang militer (Angkatan Laut) (Friyadi, 2006). Penggunaan sistem sonar aktif dan pasif telah lama dikenal baik untuk sistem deteksi, komunikasi dan sistem senjata (Wahyudi, 2006).

Di Indonesia, di tubuh TNI AL, sistem SONAR telah dikenal sebagai perlengkapan sistem deteksi objek bawah air (kapal selam), walaupun dengan kemampuan yang terbatas. Di dalam tubuh KRI (Kapal Perang RI) baik kapal atas air dan kapal selam telah diperlengkapi dengan SONAR untuk deteksi dan komunikasi bawah air (Wahyudi, 2006). Faktanya bahwa dengan keterbatasan Alat Utama Sistem Senjata baik dari segi kualitas dan kuantitas, sangatlah berat bagi TNI AL untuk melaksanakan tugas pokok menjaga kedaulatan wilayah Indonesia. Monitoring kapal-kapal yang melintas di perairan Indonesia melalui patroli laut dirasa masih kurang optimal, apalagi dengan ditentukannya Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI), kapal-kapal asing melalui selat utama seperti Selat Lombok, Malaka, Makassar, dan Ombai lebih mudah memasuki wilayah perairan Indonesia.

Guna memonitor aktifitas kapal-kapal asing, terutama keberadaan kapal selam yang melintas perairan Indonesia, dibutuhkan suatu alat monitoring. Melalui pemanfaatan teknologi akustik modern (sistem SONAR aktif), dengan cara memasang minimal satu (1) pasang transduser (1 pemancar dan 1 penerima) di Selat Lombok, diharapkan dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Melalui alat pemancar akan dilepaskan suatu gelombang akustik bawah air yang diletakkan pada salah satu sisi selat (misal, di Pulau Bali) dan diterima oleh alat penerima yang diletakkan pada sisi selat yang lain (Pulau Lombok). Dengan metode ini diharapkan keberadaan kapal selam dapat diketahui (Smith, 2001).

Selat Lombok selain sebagai salah satu "pintu" memasuki wilayah Indonesia melalui jalur ALKI, secara geografis adalah daerah yang sangat menarik, dimana telah banyak peneliti dalam dan luar negeri mengkaji daerah ini. Secara ilmiah selat Lombok dikenal mempunyai dinamika oseanografi yang tinggi, dimana terjadi pertemuan dua massa air besar dari Samudra Indonesia dan Samudra Pasifik (Visser, 2004; Wen 2008). Dalam bidang pertahanan dan keamanan, Selat Lombok adalah salah satu perairan yang sangat strategis, dimana daerah ini diduga sebagai salah satu pintu utama masuknya kapal selam asing ke wilayah perairan Indonesia.

Terdapat beberapa penelitian yang dapat dijadikan sebagai referensi dan berhubungan erat dengan penelitian ini, baik tentang propagasi gelombang akustik bawah air ataupun tentang lokasi penelitiannya, yaitu Selat Lombok. Penelitian di Selat Lombok tentang struktur akustik bawah air telah dilakukan oleh Nawanto (2003) yang menyatakan bahwa Selat Lombok merupakan tempat pertemuan dari 2 massa air dari Samudra Pasifik dan Samudra Indonesia memiliki karakteristik parameter fisis yang berubah terhadap musim, dengan parameter temperatur lebih dominan mempengaruhi pola sebaran kecepatan akustiknya dibandingkan dengan parameter fisis yang lain, seperti salinitas dan kedalaman. Secara umum

perubahan musim menimbulkan perubahan pola sebaran temperatur secara horisontal dimana lapisan permukaan memiliki harga paling tinggi pada musim Barat dan paling rendah pada musim Timur (Garrison, 2001). Sedangkan sebaran salinitas bervariasi terhadap musim dengan harga tertinggi pada musim peralihan II (September, Oktober dan Nopember) dan terendah pada musim peralihan I (Maret, April dan Mei).

Peneliti lain yang melakukan penelitian di selat Lombok adalah Syamsudin, (2003), yang melakukan simulasi penghitungan *Transmission Loss (TL)* dari propagasi gelombang akustik di perairan Lombok Selatan, antara Pulau Nusa Penida dan Pulau Lombok. Dalam penelitiannya juga terungkap bahwa melalui metode tomografi ditemukan fenomena *shadow zone* pada kedalaman selat sampai 50 meter.

Di sisi lain, berbagai penelitian tentang pola propagasi gelombang akustik yang telah dilakukan diantaranya adalah, pemodelan propagasi akustik dengan metode *Ray Tracing* dan *Normal Mode* di perairan Indonesia oleh Andrianto (2002) dan Perwata (2004), selanjutnya tentang kehilangan energi transmisi gelombang akustik oleh Friyadi (2006) dan Agung (2007), dan propagasi akustik bawah air untuk navigasi dan komunikasi kapal selam TNI AL di perairan Selat Makassar oleh Wahyudi (2006).

Gap Penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya adalah bahwa penelitian ini mengkaji pola propagasi parameter bawah air bawah air di Selat Lombok dengan metode "*Single Radial*" yang dipancarkan dari suatu sumber suara sebagai *transmitter* dan diterima oleh *receiver*. Model yang digunakan untuk mengkaji pola propagasi gelombang akustik bawah air ini adalah model 2D yang dihasilkan dengan cara menjalankan program *MMPE*, yang telah dikembangkan pada workshop *Shallow Water Acoustic Modeling 1999 (SWAM'99)*. Untuk melihat kelayakan model dilakukan verifikasi dengan model yang dikembangkan di Program Studi ASRO STTAL dan Teknik Transportasi Kelautan, FTK-ITS.

Penelitian bertujuan untuk mengkaji pola propagasi gelombang akustik bawah air yang dilepaskan dari suatu pemancar (*transmitter*) dan diterima oleh suatu penerima (*receiver*). Hasil model propagasi gelombang akustik bawah air tersebut dipergunakan untuk menentukan *shadow zone* sebagai jalur lalu lintas kapal selam serta penentuan lokasi

pemasangan alat monitoring kapal selam di Selat Lombok.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang diterapkan pada studi ini adalah mengikuti tahapan-tahapan penelitian sebagai berikut :

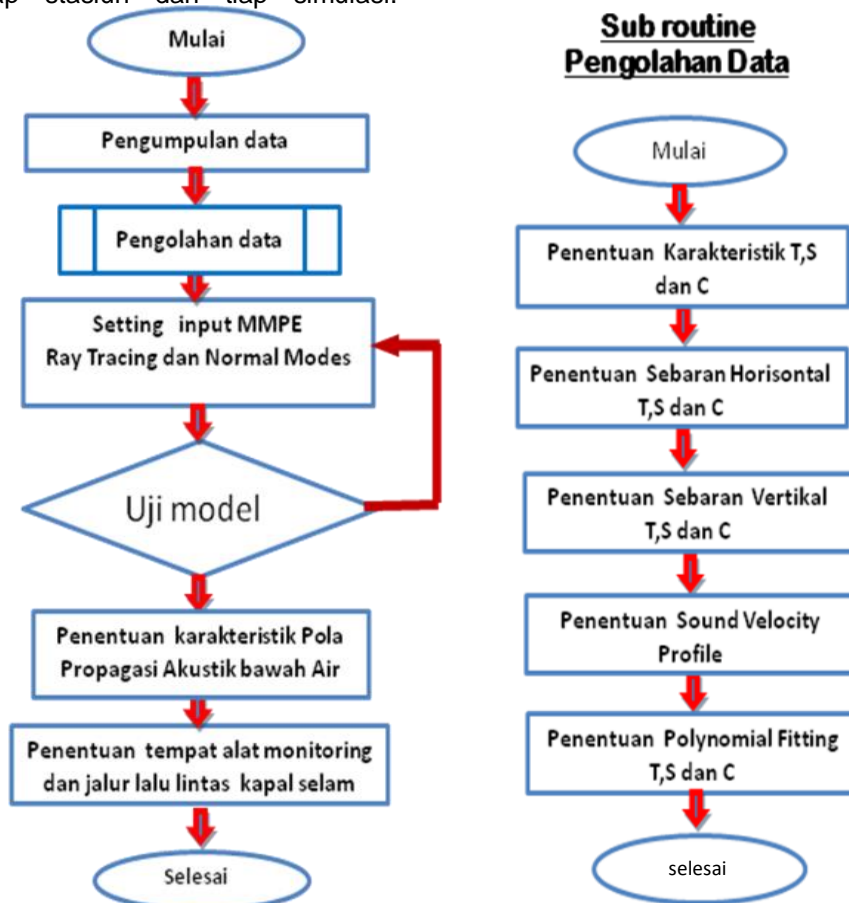
1. Mengumpulkan data temperatur (T), salinitas (S) dan kecepatan suara (c) serta kedalaman (z) pada musim Barat dan Timur di selat Lombok.
2. Menentukan profil vertikal temperatur (T), salinitas (S) dan kecepatan Suara (c) dengan menggunakan proram *MATLAB 7.0* pada seluruh stasiun penelitian.
3. Menentukan sebaran horisontal dan vertikal dari temperatur (T), salinitas (S) dan kecepatan Suara (c) seluruh stasiun penelitian pada musim Timur di tiap layer dengan menggunakan program *Ocean Data View (ODV)*.
4. Melakukan seting terhadap data temperatur (T), salinitas (S), kecepatan suara (c) dan jarak propagasi (r) terhadap kedalaman (z) yang dipergunakan sebagai input dalam program *MMPE*.
5. Menentukan persamaan kecepatan suara (*Sound Velocity Profile (SVP)*), hasil pengukuran, dengan cara melakukan pendekatan grafik kecepatan suara terhadap kedalaman dari data lapangan dengan rumus empiris kecepatan suara Leroy, Medwin dan Mackenzie di tiap stasiun penelitian. Rumus empiris dengan kesalahan (*error*) terkecil adalah yang dipakai sebagai persamaan kecepatan suara si stasiun penelitian tersebut. Persamaan kecepatan suara yang dihasilkan merupakan persamaan kecepatan suara ($c(T, S, z)$) sebagai fungsi temperatur (T), salinitas (S) dan kedalaman (z).
6. Menentukan persamaan polinomial temperatur (T) dan salinitas (S) dengan cara mendekati grafik data lapangan dengan grafik polynomial fitting pada ordo tertentu, yang terdapat pada program *MATLAB*. Persamaan polinomial ini adalah persamaan temperatur ($T(z)$) dan salinitas ($S(z)$) sebagai fungsi dari kedalaman.
7. Verifikasi hasil model dari program *MMPE* dengan program *Ray tracing* dan *Normal Modes* yang telah dikembangkan di Program Studi Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan (FTSL) ITB. Verifikasi model ini dilakukan sebelum program *MMPE* diterapkan pada daerah penelitian, dengan mengasumsikan bahwa dasar laut rata (flat).

8. Menentukan desain simulasi model sebelum diaplikasikan di Selat Lombok. Desain simulasi I, sumber suara terletak di Pulau Bali dengan arah propagasi ke Timur. Simulasi II, sumber suara diletakkan di Pulau Lombok dengan arah propagasi ke Barat. Simulasi III, sumber suara diletakkan di Pulau Bali dengan arah propagasi ke Tenggara. Simulasi IV, sumber suara terletak di Pulau Lombok dengan arah propagasi ke Barat Laut.
9. Menjalankan program *MMPE* pada daerah penelitian Selat Lombok pada musim Barat dan Timur untuk memperoleh karakteristik propagasi gelombang akustik pada tiap-tiap stasiun penelitian.
10. Menganalisa hasil karakteristik model propagasi yang dihasilkan dari program *MMPE*. Analisa yang dilakukan terutama dengan menentukan luasan daerah *shadow zone* tiap-tiap stasiun penelitian. Luas *shadow zone* ditentukan berdasarkan pada panjang dan kedalaman dari *shadow zone* tersebut.
11. Melakukan plotting di peta yang sama seluruh sisi panjang dari luas *shadow zone* pada tiap stasiun dan tiap simulasi.

Mencatat koordinat posisi awal dan akhir sisi panjang dari luas *shadow zone* yang telah di plot di peta, serta menghubungkan titik awal dengan titik awal dan titik akhir dengan titik akhir dari seluruh stasiun.

12. Menentukan daerah lalu lintas dan lokasi pemasangan alat monitoring kapal selam di Selat Lombok. Daerah lalu lintas kapal selam ditentukan berdasar seluruh stasiun yang memiliki *shadow zone*. Lokasi pemasangan alat monitoring kapal selam ditentukan berdasar pada daerah yang mempunyai *shadow zone* paling sempit atau stasiun yang tidak terdapat *shadow zone*.

Input data temperature (T), salinitas (S) dan kecepatan suara (c) diperoleh dari data *International Nusantara Stratification and Transport (INSTANT)* dari tanggal 15 – 18 Juni 2015 (musim Timur) dan 16 – 17 Desember 2015 (musim Barat) serta data dari Pusat Pengkajian Sumberdaya Laut Badan Pengkajian dan Pengembangan Teknologi (PPSL BPPT) di ITS pada tanggal 29 Februari 2016.

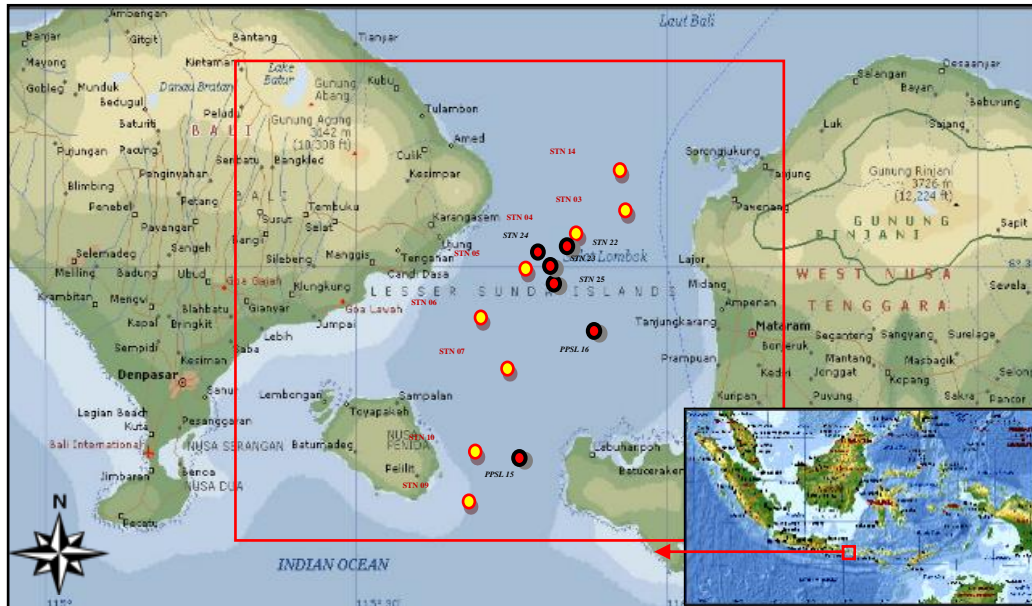


Gambar 1. Diagram Alir Analisa Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data diawali dengan pengumpulan data yang dipergunakan sebagai input dalam penentuan pola propagasi gelombang akustik bawah air. Data tersebut antara lain adalah data bathymetri yang diperoleh dari Peta laut no 291 terbitan Dinas Hidro – Oseanografi TNI AL serta data temperatur (T), salinitas (S) dan

kecepatan suara (c) yang diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan *Conductivity Temperature and Depth* (CTD). Data CTD ini diperoleh melalui PPSL BPPT tahun 2000 dan dari ekspedisi INSTANT tahun 2015 dan 2016. Peta daerah penelitian dan posisi stasiun penelitian dapat dilihat pada di bawah ini.

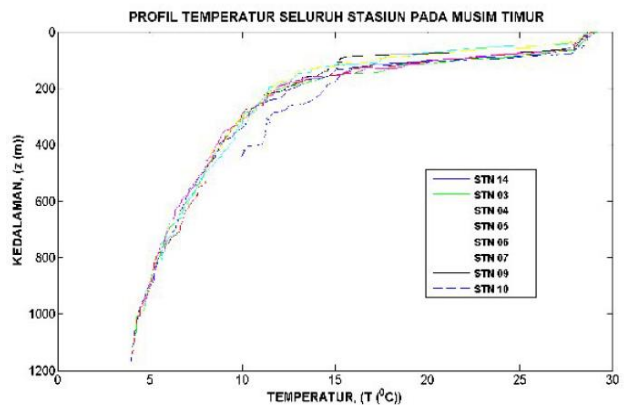
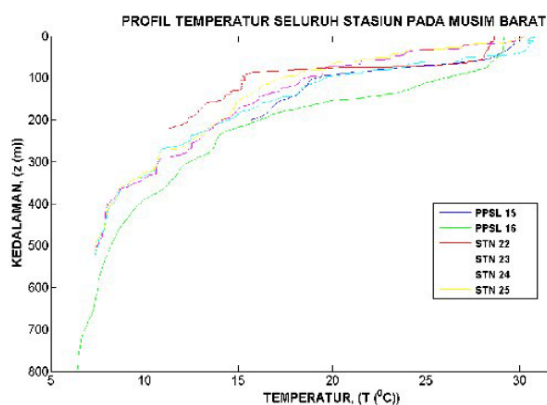


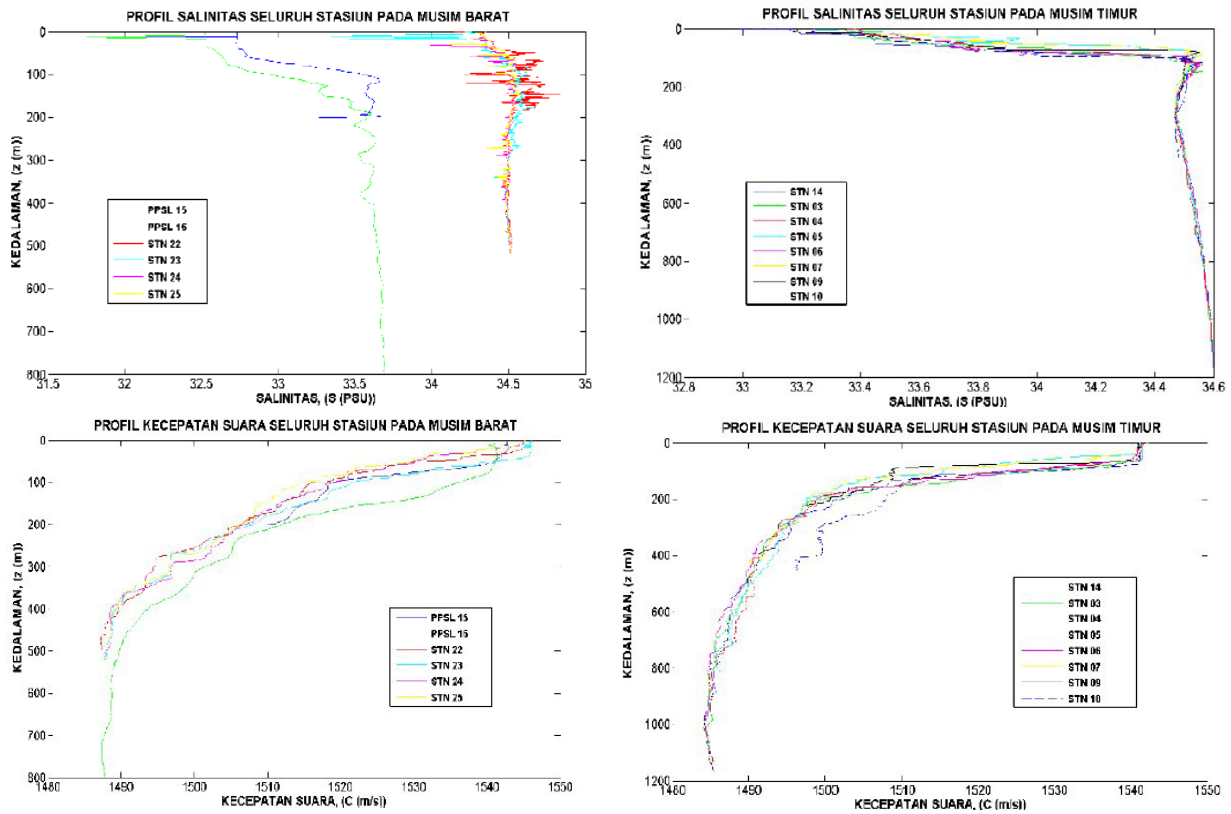
Gambar 2. Peta 14 Stasiun Pengambilan Data CTD di Selat Lombok pada musim Barat dan Timur

Uji Model Sintetik Pada Seluruh Stasiun Penelitian

Pengujian model *MMPE* untuk frekuensi tinggi diuji dengan model program *Ray Tracing*, sedangkan untuk frekuensi rendah diuji dengan model program *Normal Mode*. Uji model dilakukan pada seluruh stasiun penelitian baik pada musim Barat maupun musim Timur, pada dasar laut yang rata (*flat*). Hal ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kesesuaian karakteristik pola propagasi akustik bawah air dari ke tiga metode diatas, serta nilai Kehilangan Energi Transmisi (*Transmission Loss* (TL)) dari *MMPE* dan *Normal Mode*.

Desain model tiap-tiap stasiun disesuaikan dengan desain model untuk aplikasi di Selat Lombok. Input data yang dipergunakan pada seluruh stasiun ditentukan sama, yaitu kecepatan suara (c), kedalaman (z), jarak propagasi (r), lebar grid jarak propagasi ($\Delta r = 10$ meter), lebar grid kedalaman ($\Delta z = 1$ meter), frekuensi (3500 Hz dan 100 Hz), dan kedalaman sumber akustik ($z_s = 40$ m). Penentuan batas model horisontal berdasarkan pada posisi koordinat *transmitter* dan *receiver* diletakkan. Penentuan batas vertikal adalah batas permukaan dan dasar berupa kedalaman maksimum kolom air dari stasiun yang bersangkutan.



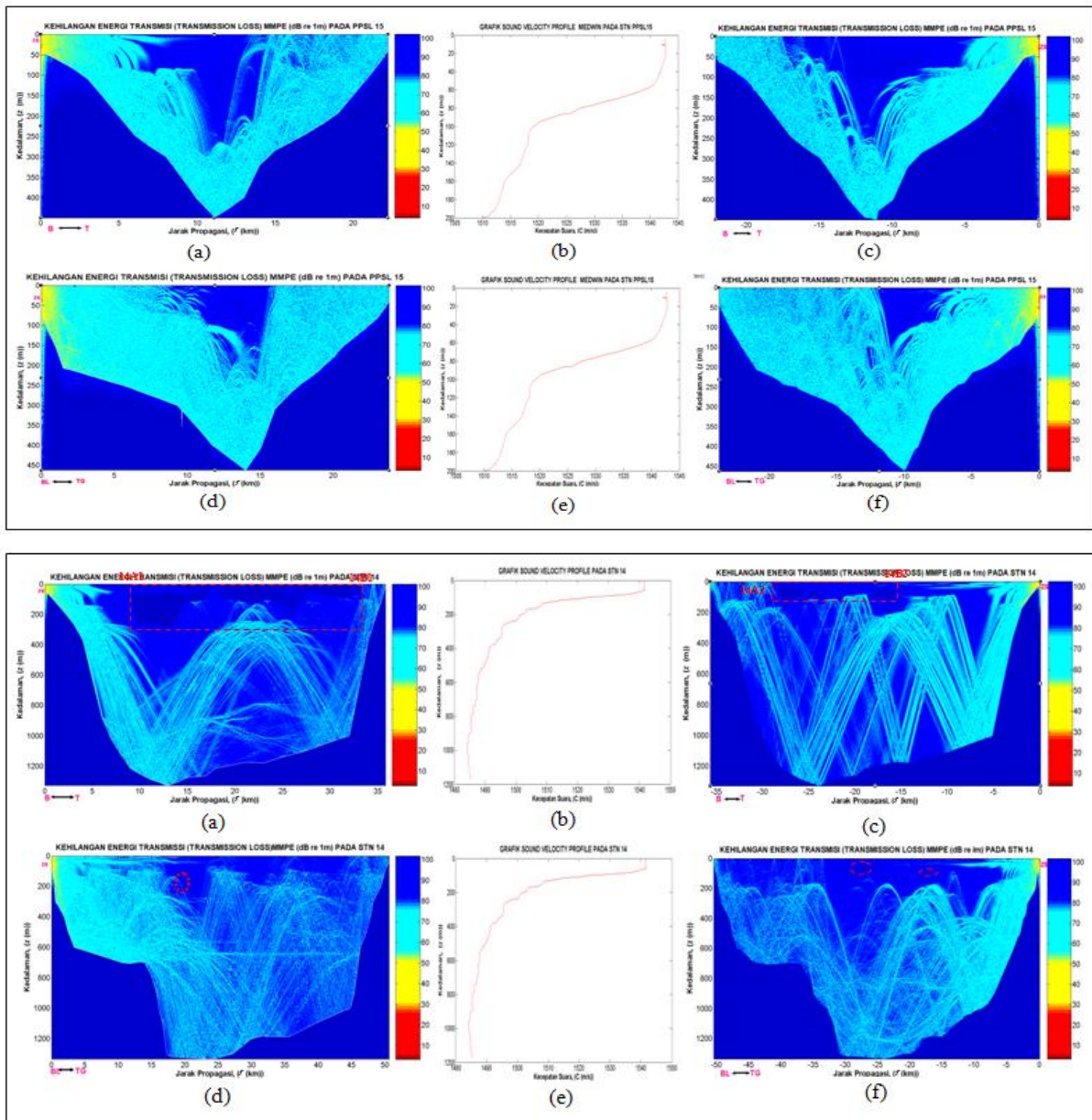


Gambar 3. Profil Suhu, Salinitas dan Kecepatan Suara

Karakteristik Pola Propagasi Gelombang Akustik Bawah Air

Karakteristik pola propagasi gelombang akustik bawah air dihasilkan dengan menjalankan program MMPE. Input data yang dipergunakan sama dengan input data yang digunakan pada sub bab uji model yang telah dijelaskan sebelumnya. Ada 4 desain simulasi yang telah dilakukan yaitu simulasi I sumber akustik terletak di Pulau Bali arah penjalaran ke Timur. Simulasi II sumber akustik di Pulau Lombok dan arah penjalaran ke Barat. Simulasi III dan IV dilakukan berdasar pada sebaran horisontal dan vertikal dari temperatur (T), salinitas (S) dan kecepatan suara (c), dimana terlihat bahwa

ketiga parameter diatas cenderung miring arah Barat Laut dan Tenggara. Kemiringan ini menunjukkan bahwa kontur ke tiga (3) parameter diatas, sampai kedalaman sekitar 200 m lebih homogen pada posisi miring dibandingkan arah horisontal. Simulasi III sumber akustik terletak di Pulau Bali arah penjalaran ke Tenggara. Simulasi IV adalah sebaliknya, sumber akustik terletak di Pulau Lombok arah penjalaran ke arah Barat Laut. Penentuan daerah - daerah *shadow zone* berdasarkan nilai dari kehilangan energi transmisi, dimana kehilangan energi transmisi diatas 90 dB atau 40% dari *Source Level (SL)* ditetapkan sebagai daerah *shadow zone*.



Gambar 4. Karakteristik Pola Propagasi Gelombang Akustik Bawah Air Pada Simulasi I - IV Di Musim Barat Dan Timur Keterangan : (a) Simulasi I; (b) dan (e) Profile Kecepatan Suara ; (c) Simulasi II; (d) Simulasi III dan (f) Simulasi IV. z_s = Kedalaman Sumber Akustik ; B = Barat ; T = Timur; BL = Barat Laut; TG = Tenggara.

Pengaruh Musim Barat dan Timur Terhadap Karakteristik Pola Propagasi Gelombang Akustik Bawah Air.

Pengaruh perubahan musim dari musim Barat ke musim Timur di Selat Lombok dapat dilihat pada karakteristik temperatur (T), dimana perubahan musim mengakibatkan perubahan batas lapisan *mixed layer*. Gambar di atas menunjukkan bahwa lapisan *mixed layer* pada musim Timur lebih dalam (sampai 80 m) dibandingkan pada musim Barat (50 m). Di Selat Lombok pengaruh kecepatan suara (c) sangat dipengaruhi oleh temperatur (T). Pola

propagasi akustik bawah air sangat tergantung terhadap kecepatan suara (c), oleh karena itu maka temperatur (T) juga sangat mempengaruhi pola propagasi gelombang akustik bawah airnya.

Pada musim Barat dari simulasi I – IV luas *shadow zone* terkecil terdapat pada seluruh stasiun dengan sumber akustik yang diletakkan di Pulau Lombok. Pada musim Timur luas *shadow zone* bervariasi pada tiap-tiap stasiun. *Shadow zone* terkecil pada musim Timur dengan sumber yang diletakkan di Pulau Lombok, terdapat pada STN 14 dan STN 07. Pada sumber akustik yang diletakkan di Pulau

Bali, *shadow zone* terkecil terdapat pada STN 03, STN 04, STN 05 dan STN 06.

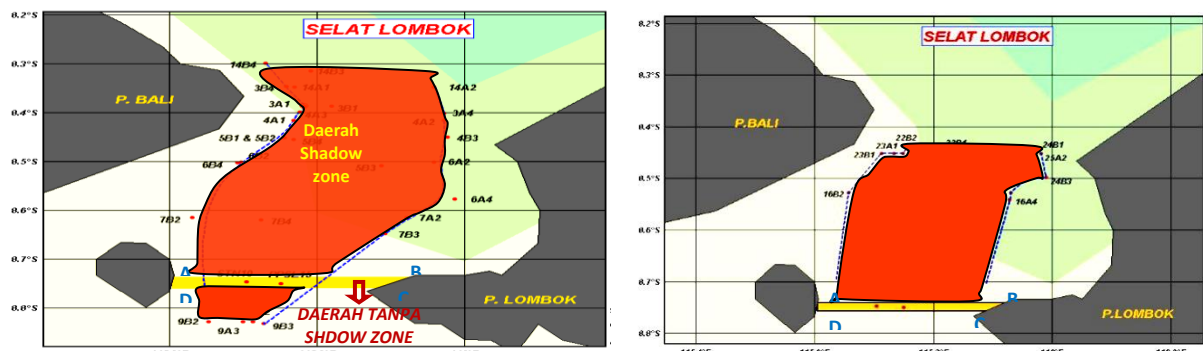
Untuk mengetahui pengaruh musim terhadap pola propagasi akustik bawah air, idealnya satu (1) stasiun dilakukan pengukuran empat (4) musim pada tempat yang sama, sehingga perubahan musim tersebut dapat diketahui dengan baik. Karena keterbatasan data maka perbandingan dua (2) musim ini dilakukan dengan membandingkan dua (2) stasiun yang saling berdekatan antara musim Timur dan Barat, yaitu stasiun PPSL 15 berdekatan dengan STN 10, STN 22 dengan STN 04, STN 23 dengan STN 05 dan PPSL 16 dengan STN 06.

Telah disebutkan dimuka bahwa pada PPSL 16, STN 22 dan STN 23 luas *shadow zone* terkecil terjadi jika sumber akustik diletakkan di Pulau Lombok. Pada musim Timur terjadi sebaliknya, *shadow zone* terkecil terdapat pada stasiun STN 04, STN 05 dan STN 06, dimana ke tiga (3) stasiun tersebut sumber akustik diletakkan di Pulau Bali. Jadi dapat disimpulkan bahwa untuk mengatasi dari efek perubahan luasan *shadow zone* akibat perubahan musim, peletakkan sumber akustik sebaiknya dilakukan di Pulau Bali dan Lombok. Pada

stasiun PPSL 15 dan STN 10 dapat dikatakan bahwa di daerah tersebut, pada musim Barat atau musim Timur, selalu dilalui oleh pola propagasi akustik bawah air walau sumber akustik diletakkan di pulau Bali ataupun pulau Lombok. Jadi daerah antara kedua stasiun inilah yang sangat cocok untuk penempatan alat monitoring kapal selam, dimana perubahan musim tidak mengakibatkan terbentuknya *shadow zone*.

Penentuan Jalur Lalu Lintas Dan Lokasi Pemasangan Alat Monitoring Kapal Selam

Pada bagian ini dilakukan penentuan jalur lalu lintas kapal selam berdasarkan pada plotting daerah *shadow zone* yang dihasilkan oleh karakteristik pola propagasi diatas. Titik awal dan titik akhir dari sisi panjang *shadow zone* dari tiap simulasi dan tiap stasiun, seluruhnya di plot dipeta, diberi tanda (kode) dan ditulis posisinya. Titik titik awal dan titik-titik akhir dengan jarak terpendek dari keempat (4) simulasi diplot kembali dipeta. Dari perbedaan simulasi dimana sumber akustik dan arah propagasi berbeda satu sama lain, sebagian menimbulkan tumpang tindih propagasi pada suatu daerah tertentu, sehingga mengakibatkan luas *shadow zone* berkurang.



Gambar 5 . Peta Daerah Shadow Zone (Lalu Lintas Kapal Selam) dan Daerah Tanpa Shadow Zone (Tempat pemasangan Alat Monitoring Kapal Selam) Musim Barat dan Timur

Penentuan daerah tempat pemasangan alat monitoring kapal selam ditentukan berdasar pada daerah yang mempunyai luas *shadow zone* yang kecil, bahkan tidak terdapat sama sekali, dalam hal ini adalah stasiun PPSL 15 dan stasiun STN 10. Oleh karena itu dapat ditentukan bahwa pemasangan alat monitoring kapal selam selayaknya pada daerah antara stasiun PPSL 15 dan stasiun STN 10, dimana daerah ini relatif tidak terdapat *shadow zone*. Hasil penentuan posisi/koordinat *shadow zone* dan gambar daerah pemasangan alat monitoring dan jalur lalu lintas kapal selam pada musim Barat dan Timur

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari serangkaian kegiatan penelitian, rancang bangun alat, uji coba laboratorium dan uji coba lapangan yang telah dilaksanakan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran sebagai berikut :

Kesimpulan :

- a. Hasil uji model sintetik antara MMPE dengan Metode Ray Tracing (frekuensi tinggi) dan Normal Mode (frekuensi rendah) dengan software yang dikembangkan di Program Studi Teknik Transportasi Kelautan FTK-ITS, secara

- umum menunjukkan kesesuaian, baik dalam pola propagasi akustiknya maupun nilai Kehilangan Energi Transmisinya (*Transmission Loss (TL)*).
- Stasiun STN 09 dapat digunakan sebagai tempat pemasangan alat monitoring kapal selam dengan memasang minimal 2 pasang transduser, dengan sumber akustik diletakkan di pulau Bali dan pulau Lombok
 - Stasiun STN 14 dapat digunakan sebagai tempat pemasangan alat monitoring kapal selam dengan memasang minimal 2 pasang transduser, dengan sumber akustik diletakkan di pulau Bali dengan arah propagasi ke Tenggara serta di pulau Lombok dengan arah propagasi ke Barat laut (sesuai simulasi III dan IV).
 - Stasiun PPSL 15 (musim Barat) dan stasiun STN 10 (musim Timur) adalah tempat yang tepat untuk pemasangan alat monitoring kapal selam di Selat Lombok.
 - Daerah dengan koordinat **A**(8.746 S – 115.622 T), **B**(8.746 S – 115.819 T), **C**(8.750 S – 115.624 T) dan **D**(8.750 S – 115.814 T) adalah lokasi yang tepat digunakan sebagai tempat pemasangan alat monitoring kapal selam, dengan jumlah alat minimal 1 pasang transduser.
 - Pada musim Barat luas shadow zone terkecil terjadi jika sumber akustik diletakkan di pulau Lombok. Pada musim Timur luas shadow zone terkecil terjadi jika sumber akustik diletakkan di pulau Bali.
- Saran :**
- Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk diutamakan pada daerah diantara stasiun STN 10 dan PPSL 15 pada koordinat **A**(8.746 S – 115.622 T), **B**(8.746 S – 115.819 T), **C**(8.750 S – 115.624 T) dan **D**(8.750 S – 115.814 T) dengan menggunakan data yang lebih rapat (data rata-rata bulanan) dari keempat musim di Indonesia.
- Disarankan untuk melakukan penelitian dengan menggunakan kedalaman sumber suara yang berbeda-beda dan dengan menggunakan metode *array* atau *multi transduser*.
- DAFTAR PUSTAKA**
- Agung, A.A. (2007). *Pemodelan Numerik Kehilangan Energi Transmisi Di Permukaan Laut Dengan Model Empiris Pada Propagasi Akustik Bawah Air*. Tugas akhir. Program Studi kelautan. Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan. Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Andrianto, A (2002). *Propagasi Akustik Di Bawah Laut Dengan Menggunakan Metode Ray Tracing*. Tugas Akhir. Program Studi teknik Kelautan. Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Bandung.
- Budi, N. (2003). *Struktur Akustik Bawah Air Di Selat Lombok Dan Sekitarnya*. Tesis Magister. Program Studi Oseanografi dan Sains Atmosfer Institut Teknologi Bandung.
- Friyadi, D. (2006). *Aplikasi Pengurangan Energi Transmisi Pada Propagasi Akustik Bawah Air Pada Metode Ray Tracing Di Perairan Indonesia*. Tugas Akhir. Institut Teknologi Bandung.
- Garrison, T. (2001). *Oceanography, An Invitation to Marine Science*. Media Edition, Orange Coast College, p. 154 – 173.
- Ludfy, S. (2006). *Studi Pelemahan Daya Pancaran Sonar PHS 32 di Selat Makassar*. Tugas Akhir. Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut.
- Perwata, W. (2004). *Aplikasi Metode Ray Tracing Dan Metode Normal – Mode Dalam Pemodelan Akustik di Perairan Kepulauan Sangihe*. Tugas Akhir. Program Studi Teknik kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan. Institut Teknologi Bandung.
- Smith, B.K. (2001). *Convergence, Stability, And Variability of Shallow Water Prediction Using a Split – Step Fourier Parabolic Equation Model*. Departement of Physics. Naval Postgraduate School, Monterey.
- Syamsudin, F. (2003). *Simulation on Transmission Loss of Sound Wave Propagation in The Southern Lombok Straits*. Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, hal 6 -10.
- Visser, W.P. (2004). *On The Generation of Internal Waves in Lombok Strait Through Kelvin - Helmholtz Instability*. Thesis Applied Mathematics, Netherlands, p. 5 – 8.
- Wahyudi, A. (2006). *Propagasi Akustik Bawah Air Untuk Navigasi Dan Komunikasi Kapal Selam TNI AL Di Perairan Selat Makassar*. Tugas Akhir. Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut.
- Wen, T. (2008). *Aplikasi Metode Normal Mode Pada Propagasi Akustik Bawah Air Di Samudra Hindia*. Tugas Akhir, Program Studi Teknik Kelautan. Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung