

## Studi Karakteristik Geospasial Daerah Senyap (*Shadow Zone*) Menggunakan Pendekatan *Monterrey-Miami Parabolic Equation* (MMPE) di Perairan Selat Sunda Bagian Selatan

Khalif Keninggan, Muhammad Helmi dan Azis Rifai\*

Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275, Indonesia

Email: \*azisrifaiapahrifa@gmail.com

### Abstrak

Selat Sunda merupakan selat yang berada di dalam ALKI (Alur Laut Kepulauan Indonesia) dimana kapal selam bebas melewatinya. Pada Selat Sunda terdapat daerah senyap, yaitu daerah bawah air yang tidak dapat dilalui gelombang suara. Sehingga Selat Sunda memiliki posisi strategis dalam segi militer dan keamanan negara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui keberadaan daerah senyap dan karakteristik geospasialnya di perairan. Penelitian ini menggunakan metode MMPE (*Monterrey-Miami Parabolic Equation*) dengan data input berupa batimetri dan jenis sedimen. Data karakteristik termoklin dan haloklin sebagai validasi. Metode MMPE menghasilkan data dan informasi visual propagasi gelombang suara di dalam kolom perairan yang dapat diinterpretasikan sebagai daerah senyap. Riset ini menunjukkan daerah senyap di Selat Sunda bagian selatan berada di kedalaman 50-200 m dan panjang bervariasi dari 20-55 km dengan luas 265.2 hektar. Keberadaan daerah senyap sesuai dengan kedalaman termoklin yaitu 50-200 meter dan kedalaman dari haloklin yaitu 30-150 meter.

**Kata kunci:** Shadow zone, sonar, geospasial, MMPE, Selat Sunda

### Abstract

#### *Geospatial Characteristics Study of the Shadow Zone Using the Monterrey-Miami Parabolic Equation (MMPE) Approach in the Southern Sunda Strait*

The Sunda Strait is located within Indonesia Archipelago Sea Channel, where submarines are free to pass through. The Sunda Strait has a shadow zone, which is an underwater area where sound waves cannot propagate. So that the Sunda Strait has a strategic position in terms of military and state security. This research aims to determine geospatial characteristics of shadow zone in Sunda strait. The MMPE (*Monterrey-Miami Parabolic Equation*) method uses bathymetry and sediment type as inputs of the program. The Characteristics of thermocline and halocline were used to validated *f* the results. The MMPE method provides visual information of underwater wave propagation, which is interpreted as a shadow zone. The results showed that using 5000hz frequency and 150 m sound source depth has provided the best information about the shadow zone. This research showed that the shadow zone was located at a depth ranged from 50 to 200 m and has a length that varies from 20-55 km with area wide 265,2 ha. The results also showed that the characteristics of the shadow zone directly influenced by the bathymetric condition of Sunda Strait. The location of the shadow zone corresponds to the depth of thermocline, which was 50-200 m and the depth of halocline, which was 30-150 m. It can be concluded that thermocline and halocline can affect the depth of the shadow zone and the characteristic as well.

**Keywords:** Shadow Zone, Sonar, Geospatial, MMPE, Sunda Strait

### PENDAHULUAN

Selat Sunda merupakan selat yang menghubungkan Pulau Jawa dan Pulau Sumatera dan terletak di Jawa bagian barat. Selat ini memiliki fungsi militer yang strategis karena selat ini merupakan jalur laut terdekat dengan pusat pemerintahan Indonesia yaitu DKI Jakarta. Selat ini memiliki potensi sebagai jalur masuknya kapal selam, karena Selat Sunda termasuk dalam ALKI (Alur Laut Kepulauan Indonesia) (Yunia dan Rubiman, 2003). Kapal yang hendak melewati ALKI tidak memerlukan izin secara formal, sehingga ada potensi ancaman terhadap keamanan nasional jika kapal selam melewati Selat Sunda. Upaya untuk mendeteksi kapal selam adalah menggunakan alat pengindera SONAR (Soedewo, 2015). Penelitian mengenai daerah senyap di Indonesia belum banyak dilakukan. Daerah yang telah dikaji adalah daerah Selat Makasar dan Selat Lombok.

Kedua alat ini termasuk ke dalam ALKI sama halnya dengan daerah penelitian yang dilakukan yaitu Selat Sunda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui keberadaan daerah senyap di Selat Sunda bagian Selatan dan bagaimana karakteristik geospasialnya, serta mengetahui hubungan antara posisi vertikal termoklin dan haloklin terhadap daerah senyap. Studi mengenai daerah senyap di perairan Selat Sunda bagian Selatan sangat penting dilakukan guna membantu upaya perencanaan strategi pertahanan dan keamanan nasional di laut.

Shadow Zone atau daerah senyap adalah daerah di bawah air laut yang tidak bisa dilewati oleh gelombang suara. Daerah ini memiliki karakteristik dimana gelombang suara yang melewati daerah tersebut akan dipantulkan, dibelokkan atau mengalami refraksi (Bada *et al.*, 2017). Dalam dunia militer keberadaan daerah senyap merupakan informasi yang penting, karena dengan mengetahui kedalaman dan panjang daerah senyap maka kapal selam dapat menyusup ke perairan tersebut tanpa terdeteksi oleh alat deteksi kapal selam menggunakan SONAR. SONAR yang digunakan untuk mendeteksi kapal selam menggunakan gelombang suara, sehingga saat gelombang suara yang dipancarkan SONAR dipantulkan oleh daerah senyap maka kapal selam yang melewati perairan tersebut tidak dapat terdeteksi. Maka perlu dilakukan upaya untuk mengetahui keberadaan daerah senyap guna mengantisipasi kapal selam penyusup. Salah satu metode untuk mengetahui keberadaan daerah senyap adalah dengan metode MMPE.

## MATERI DAN METODE

Materi yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data termoklin, data haloklin, data batimetri Selat Sunda yang berasal dari Batimetri Nasional, serta data jenis sedimen dasar selat Sunda yang didapat dari penelitian terdahulu. Data batimetri dan data jenis sedimen dasar digunakan sebagai input dalam program MMPE (Monterrey-Miami Parabolic Equation). Data karakteristik termoklin dan haloklin selat Sunda didapatkan dari CTD WOD (World Ocean Database). Data karakteristik termoklin dan haloklin tersebut digunakan untuk menghitung nilai cepat rambat suara dan untuk validasi keberadaan daerah senyap dari model MMPE.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif. Penelitian kuantitatif menggunakan data berupa angka yang kemudian dijelaskan dengan teori-teori yang relevan, untuk menghasilkan suatu interpretasi yang menguatkan teori yang sudah ada (Priyono, 2008). Pada penelitian ini, data-data suhu, salinitas, kedalaman, dan ukuran butir sedimen dasar dianalisa dengan menggunakan metode MMPE untuk menghasilkan visual grafik yang diinterpretasi sebagai daerah senyap.

### 1. Pengolahan profil kedalaman Selat Sunda

Data batimetri Selat Sunda diolah menggunakan software Mike21. Data tersebut digunakan untuk membuat MESH kedalaman yang selanjutnya di extract menjadi transek profil kedalaman. Visualisasi dari hasil pengolahan data tersebut dapat mendeskripsikan kondisi batimetri dari Selat Sunda (Smith, 2005).

### 2. Perhitungan Cepat Rambat Suara

Cepat rambat suara pada perairan Selat Sunda didapatkan dengan cara perhitungan menggunakan nilai suhu, salinitas dan kedalaman yang telah didapatkan. Penghitungan cepat rambat suara ini menggunakan persamaan empiris Leroy:

$$C = 1429,9 + 3(T - 10) - 6 \cdot 10^{-3}(T - 10) - 4 \cdot 10^{-2}(T - 18)^2 + 1,2(S - 35) - 10^{-2}(T - 18)(S - 35) + \frac{D}{61} \dots \dots \dots (1)$$

Dari persamaan ini didapatkan nilai kecepatan suara pada kedua stasiun pengamatan CTD yang digunakan dalam penelitian ini (Kinsler *et al.* 2000).

### 3. Data Suhu, Salinitas dan Cepat Rambat Suara Selat Sunda

Nilai suhu, salinitas, dan cepat rambat suara selanjutnya divisualisasikan menggunakan ODV (Ocean Data View) sehingga didapatkan grafik profil suhu, salinitas dan cepat rambat suara terhadap kedalaman perairan (Suharyo *et al.*, 2018)

### 4. Pemodelan Daerah Senyap

Pemodelan daerah senyap menggunakan program MMPE (Monterrey-Miami Parabolic Equation) dengan data input berupa data profil kedalaman, nilai cepat rambat suara, dan jenis sedimen dasar di Selat Sunda (Smith, 2005).

### 5. Pembuatan Peta Daerah Senyap

Setelah didapatkan gambar model daerah senyap untuk setiap transek, maka dilakukan analisis spasial daerah senyap menggunakan GIS (Geographic Information System). Setelah didapatkan titik mulai (awal) dan titik berakhirnya (akhir) daerah senyap dari transek maka dilakukan plot titik tersebut pada garis transek, dan selanjutnya titik tersebut dijadikan acuan untuk membuat peta daerah senyap secara horizontal di Selat Sunda. Bila setiap daerah senyap sudah di plot di peta maka dibuat bentuk poligon yang menyambungkan semua titik mulai dan titik akhir daerah senyap dari setiap transek, dimana poligon tersebut mengikuti kontur kedalaman perairan Selat Sunda bagian selatan (Suharyo *et al.*, 2018)

### 6. Analisis Daerah Senyap

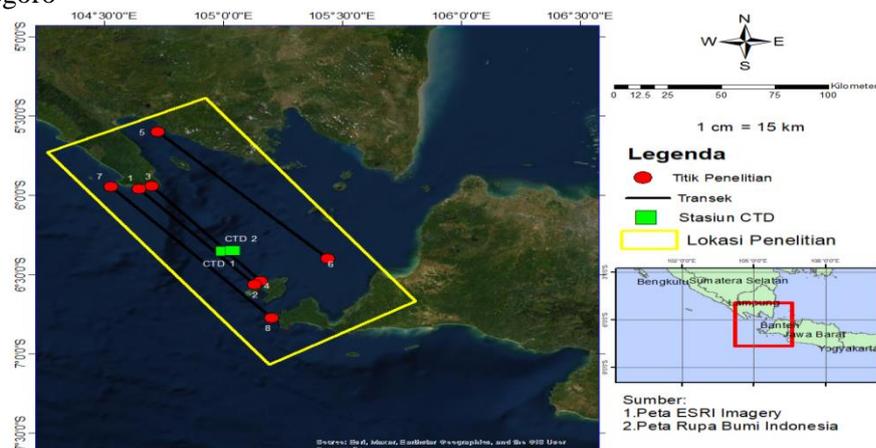
Hasil pemodelan daerah senyap dianalisis untuk mengetahui ketebalan, panjang dan bentuk daerah senyap di setiap transek penelitian. Hasil pemodelan menggunakan program MMPE menghasilkan gambar pola perambatan gelombang suara dengan keterangan yang menunjukkan kedalaman, jarak dan nilai kehilangan energi transmisi. Berdasarkan keterangan dan pola perambatan gelombang suara tersebut maka dapat diketahui ketebalan, panjang, dan bentuk daerah senyap.

### 7. Validasi Keberadaan Daerah Senyap

Validasi keberadaan daerah senyap dilakukan dengan membandingkan gambar model daerah senyap dari setiap transek dengan grafik suhu vertikal terhadap kedalaman, salinitas vertikal terhadap kedalaman, dan cepat rambat suara vertikal terhadap kedalaman. Menurut Smith (2005), daerah senyap akan berada di dalam daerah termoklin dan haloklin dari suatu perairan. Berdasarkan pernyataan tersebut maka dilakukan validasi dengan membandingkan kedalaman termoklin dan haloklin terhadap kedalaman dan ketebalan daerah senyap di Selat Sunda bagian selatan.

### 8. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini adalah di wilayah perairan Selat Sunda bagian selatan dengan posisi koordinat  $05.00.00^{\circ}\text{LS}-07.00.00^{\circ}\text{LS}$  dan  $104.00.00^{\circ}\text{BT}-106.30.00^{\circ}\text{BT}$  yang ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juni 2021 sampai dengan Oktober 2022. Pemodelan MMPE (Monterrey-Miami Parabolic Equation) dilakukan di Geostech BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) dan laboratorium Pusat Kajian Mitigasi Bencana Pesisir dan Laut (CoREM) UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro

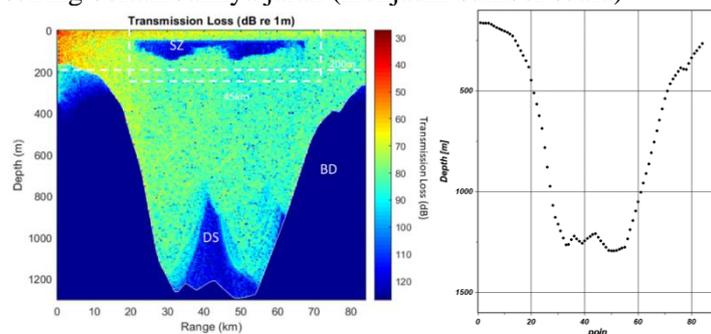


Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Daerah Senyap Transek 1**

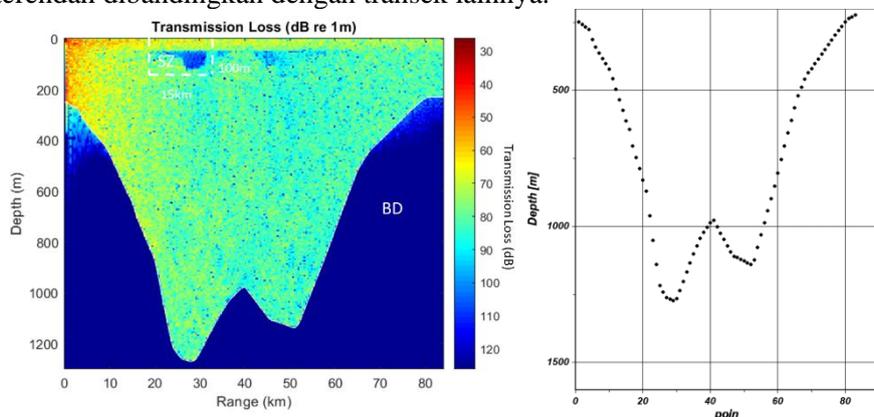
Berdasarkan hasil model dengan MMPE, diketahui bahwa daerah senyap di transek 1 (menghubungkan stasiun 1 dan 2), berada di kedalaman 50m-200m. Daerah senyap memiliki panjang 40km dengan rentang 25-65km. Pada transek ini daerah scatter berada di kedalaman 800m-1200m. Daerah scatter tidak termasuk sebagai daerah senyap walaupun pada gambar sama-sama terlihat tidak ada perambatan gelombang. Dari hasil pemodelan daerah senyap pada transek ini dapat diketahui bahwa perambatan gelombang suara memiliki nilai kehilangan energi transmisi (transmission loss) yang tinggi yang ditunjukkan dengan warna transek mencapai biru tua, dengan nilai kehilangan energi transmisi sampai 120 dB. Kehilangan energi transmisi pada transek ini adalah tertinggi dibandingkan dengan transek lain. Hasil ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Iskandarsyah (2011) yang menunjukkan bahwa nilai kehilangan transmisi (Transmission Loss/TL) mengalami peningkatan seiring bertambahnya jarak (menjauhi sumber suara).



**Gambar 2.** Hasil Pemodelan Daerah Senyap Transek 1

**Daerah Senyap Transek 2**

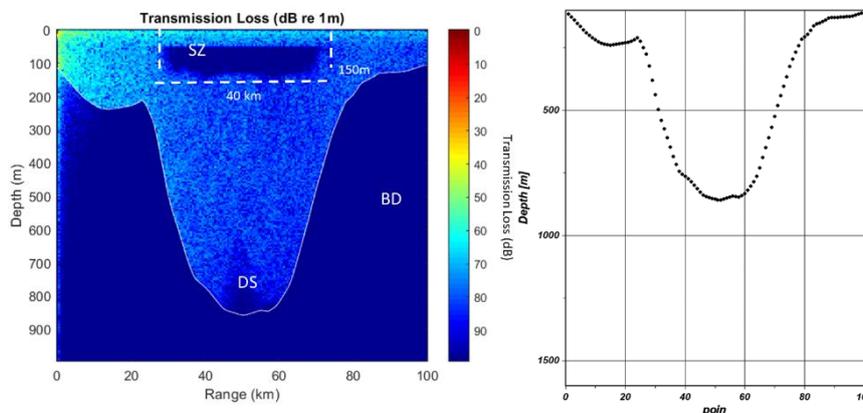
Hasil pemodelan MMPE di transek 2 (menghubungkan stasiun 3 dan 4) menunjukkan daerah senyap yang lebih kecil dibandingkan dengan daerah senyap pada transek 1. Daerah senyap pada transek 2 ini berada di kedalaman 50 meter sampai dengan 100 meter. Panjang daerah senyap di transek 2 lebih pendek dibandingkan dengan transek 1. Panjang daerah senyap di transek 2 ini adalah 20 km dengan rentang 15 km-35 km. Pada transek 2 tidak terdapat daerah scatter seperti yang ditunjukkan pada gambar hasil pemodelan, yaitu tidak ada daerah kosong (gelap) di dasar perairan, Berdasarkan hasil pemodelan daerah senyap dapat diketahui bahwa pada transek ini memiliki nilai kehilangan energi transmisi yang lebih rendah dibandingkan transek 1. Walaupun pada gambar menunjukkan transmission loss mencapai warna biru tua, tetapi rentang nilai kehilangan energi transmisi hanya sampai 90 dB. Dan transek ini merupakan transek dengan nilai kehilangan energi transmisi terendah dibandingkan dengan transek lainnya.



**Gambar 3.** Hasil Pemodelan Daerah Senyap Transek 2

### Daerah Senyap Transek 3

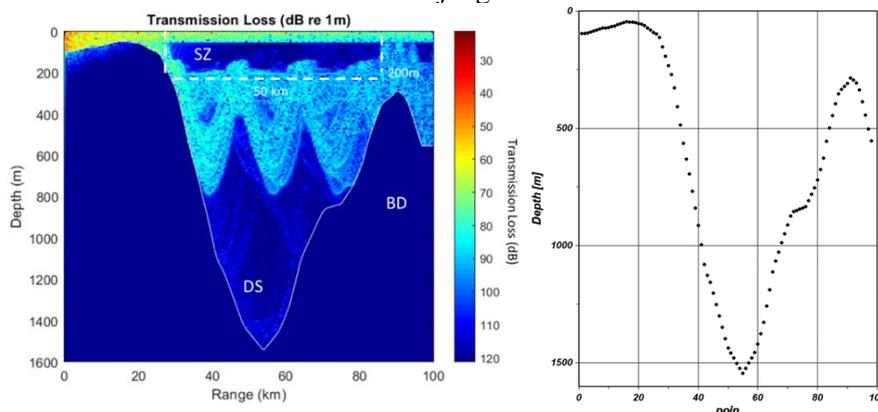
Berdasarkan hasil pemodelan MMPE daerah senyap pada transek 3 (menghubungkan stasiun 5 dan 6) berada di kedalaman 50 meter sampai 150 meter. Daerah senyap memiliki panjang 40 km dengan rentang 30 km - 70 km. Terdapat daerah scatter pada transek 3 yang berada di kedalaman 700 m - 850 m. Berdasarkan warna perambatan gelombang di gambar daerah senyap transek ini diketahui bahwa nilai kehilangan energi transmisi di transek ini cukup tinggi dengan rentang nilai kehilangan energi transmisi mencapai 100 dB. Transek 3 ini merupakan transek dengan kedalaman yang terdangkal dibandingkan dengan transek lain, yaitu dengan kedalaman hanya mencapai 900 m. Sedangkan transek lain kedalamannya mencapai lebih dari 1000 m.



Gambar 4. Daerah Senyap Transek 3

### Daerah Senyap Transek 4

Berdasarkan hasil pemodelan MMPE di transek 4 (menghubungkan stasiun 7 dan 8) menunjukkan daerah senyap yang memiliki dimensi terpanjang dibandingkan dengan transek lainnya. Daerah senyap di transek ini berada di kedalaman 50 meter sampai dengan 200 meter. Panjang daerah senyap di transek ini adalah 50 km dengan rentang 30 km-80 km. Terdapat daerah scatter di transek 4 ini, yaitu berada di kedalaman 400 m - 1600 m. Daerah scatter di transek ini merupakan daerah scatter dengan ketebalan terbesar dibandingkan transek lainnya. Penjalaran gelombang suara di transek 4 ini memiliki nilai kehilangan energi transmisi yang cukup tinggi yaitu mencapai 110 dB. Pada transek ini, stasiun 7 berada di bagian luar Selat Sunda dan stasiun 8 berada di dekat taman nasional Ujung Kulon.

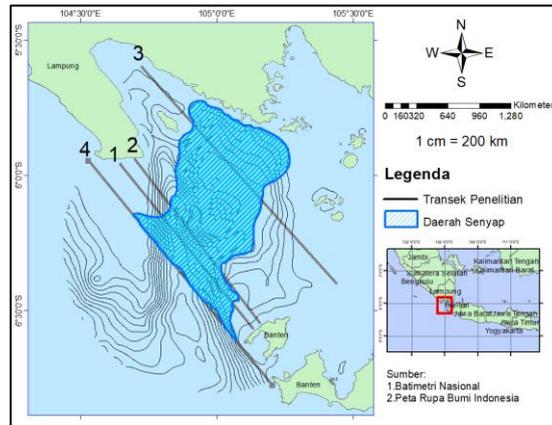


Gambar 5. Hasil Pemodelan Daerah Senyap Transek 4

### Pemetaan Daerah Senyap

Hasil pemodelan MMPE daerah senyap di selat Sunda dilakukan dari transek di bagian selatan Selat Sunda ke arah Timur Laut menuju ke bagian tengah Selat Sunda. Daerah senyap di perairan Selat Sunda berada di bagian selatan pegunungan Krakatau. Berdasarkan penghitungan dengan ArcGIS, diketahui daerah

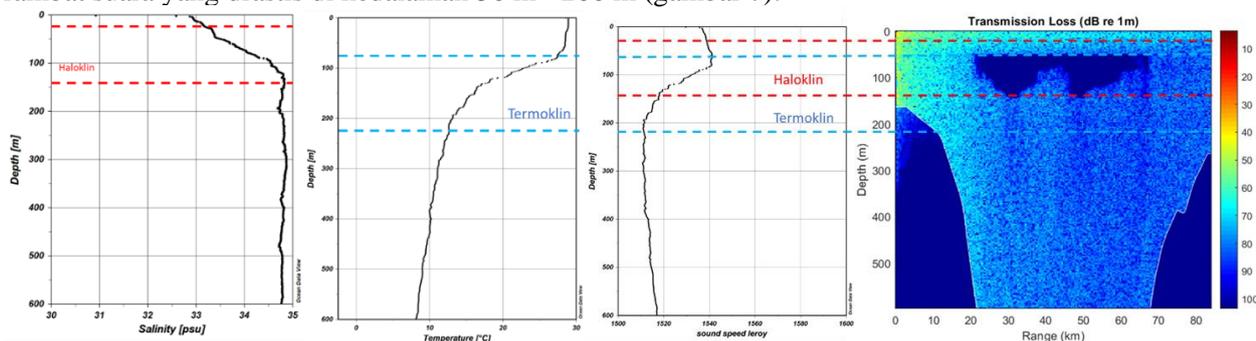
senyap ini memiliki luas 265,2 hektar. Pada transek 1, daerah senyap berada di rentang 25 kilometer sampai 65 kilometer. Pada transek 2, daerah senyap berada di rentang 15 kilometer sampai 35 kilometer.. Pada transek 3, daerah senyap berada di rentang 30 kilometer sampai dengan 70 kilometer. Pada transek 4 daerah senyap berada di rentang 30 kilometer sampai 80 kilometer. Gambaran daerah senyap di bagian selatan selat Sunda secara horizontal disajikan pada Gambar 6.



**Gambar 6.** Peta Daerah Senyap Selat Sunda

**Validasi Daerah Senyap**

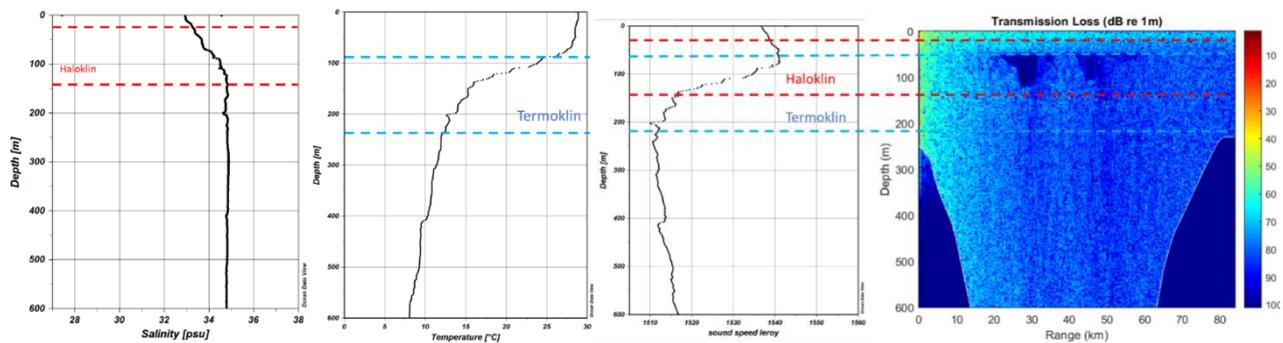
Berdasarkan hasil pengolahan data suhu, salinitas dan cepat rambat suara terhadap kedalaman di stasiun CTD 1 menunjukkan daerah haloklin berada di kedalaman 30 m - 150 m dan daerah termoklin di kedalaman 50 m - 200 m. Pada kedalaman antara 30 m – 200 m terjadi perubahan cepat rambat suara secara drastis sesuai perubahan suhu dan salinitas terhadap kedalaman. Daerah dengan perubahan cepat rambat suara secara drastis ini merupakan daerah senyap, karena gelombang suara yang masuk ke daerah ini akan dibelokkan atau dipantulkan kembali. Pada penelitian ini, hasil model daerah senyap menunjukkan bahwa daerah senyap berada di kedalaman yang sama dengan kedalaman haloklin dan termoklin, dimana daerah senyap berada di kedalaman 50 m - 200 m .. Hasil pengolahan data cepat rambat suara juga menunjukkan bentuk grafik cepat rambat suara mengikuti bentuk grafik suhu dan salinitas, dan terlihat perubahan cepat rambat suara yang drastis di kedalaman 50 m - 200 m (gambar 7).



**Gambar 7.** Validasi Daerah Senyap Transek 1 dengan CTD Stasiun 1

Hasil pengolahan data CTD World Ocean Database di stasiun 2 juga menunjukkan hasil yang hampir sama dengan pengolahan data CTD World Ocean Database di stasiun 1. Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan Ocean Data View, didapatkan grafik suhu, salinitas, dan cepat rambat suara terhadap kedalaman yang menunjukkan daerah haloklin berada di kedalaman 50 m - 130 m dan daerah termoklin di kedalaman 50 m - 200 m. Profil salinitas terhadap kedalaman menunjukkan nilai salinitas yang relatif konstan di bawah haloklin hingga kedalaman 600 meter. Hal yang sama juga terjadi pada grafik cepat rambat gelombang terhadap kedalaman. Nilai cepat rambat suara mengikuti profil suhu dan salinitas terhadap kedalaman hingga mencapai kedalaman 600 meter . Model daerah senyap pada transek 2, berada pada kedalaman 50 m – 100 m

sehingga terlihat bahwa daerah senyap berada di dalam daerah haloklin dan termoklin. Daerah senyap ini berada di kedalaman yang terjadi perubahan cepat rambat suara secara drastis (Gambar 8).



**Gambar 8.** Validasi Daerah Senyap Transek 2 dengan CTD Stasiun 2

Berdasarkan hasil pemodelan daerah senyap di perairan Selat Sunda, didapatkan bahwa daerah senyap berada pada kedalaman antara 50 meter sampai dengan kedalaman 200 meter. Daerah senyap ini dapat membelokkan (refraksi) maupun memantulkan (refleksi) gelombang suara yang menjalar ke arah daerah senyap tersebut. Pembelokan dan pemantulan gelombang suara ini menyebabkan daerah tersebut menjadi kosong (blank) dari gelombang suara. Seperti pada gambar hasil pemodelan daerah daerah senyap di semua transek, nampak bahwa daerah senyap ditunjukkan dengan warna gelap. Daerah senyap ini dapat dilewati oleh kapal selam penyusup karena tidak akan terdeteksi oleh SONAR. (Suharyo *et al.*, 2018).

Hasil analisa spasial dari model daerah senyap di perairan Selat Sunda bagian selatan ini menunjukkan bahwa daerah senyap berada pada kedalaman antara 50 m - 200 m di semua transek. Bila dibandingkan dengan data CTD di stasiun 1 dan stasiun 2, diketahui bahwa daerah senyap ini berada di dalam daerah haloklin dan termoklin di perairan Selat Sunda bagian selatan. Daerah haloklin dan termoklin di stasiun CTD 1 berada pada kedalaman 50 m – 150 m dan di stasiun CTD 2, daerah haloklin dan termoklin berada pada kedalaman 50 m - 200 m. Kedalaman daerah haloklin dan termoklin dapat mempengaruhi ketebalan daerah senyap karena perubahan suhu dan salinitas secara vertikal dapat berpengaruh terhadap profil densitas massa air laut secara vertikal. Densitas massa air laut ini berpengaruh terhadap cepat rambat suara di dalam laut, semakin tinggi densitas maka semakin tinggi nilai cepat rambat gelombang suaranya. Bila ada dua lapisan massa air laut yang memiliki perbedaan densitas signifikan, maka perbedaan cepat rambat suara antara kedua lapisan tersebut menyebabkan gelombang suara tidak dapat menembus batas antara kedua lapisan tersebut. Sebaliknya, gelombang suara akan dibelokkan arah rambatannya atau akan dipantulkan kembali. Berdasarkan persamaan Leroy, Medwin, dan Mackenzie (1984) nilai cepat rambat gelombang suara dipengaruhi oleh suhu, salinitas, dan kedalaman. Demikian pula berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Suharyo *et al.*, (2018) menunjukkan bahwa pola propagasi (perambatan) gelombang akustik bawah air sangat tergantung terhadap nilai kecepatan suara ( $c$ ) yang dipengaruhi oleh temperatur ( $T$ ).

Berdasarkan data suhu dan salinitas, dapat diperoleh profil cepat rambat suara secara vertikal (gambar 7 dan 8). Apabila profil vertikal cepat rambat suara tersebut dibandingkan dengan hasil model daerah senyap, maka akan terlihat bahwa daerah senyap akan berada pada kedalaman dengan perubahan cepat rambat suara yang drastis. Pada penelitian ini, hal tersebut terjadi pada kedalaman antara 50 – 200 m. Penelitian yang dilakukan oleh Bada *et al.*, (2017), menunjukkan bahwa perambatan gelombang suara dapat mengalami perubahan arah ketika melintasi dua badan massa air yang berbeda cepat rambat suaranya, atau disebut refraksi.

Daerah senyap (shadow zone) merupakan daerah bawah laut yang tidak bisa dilewati oleh gelombang suara. Sehingga keberadaan objek (termasuk kapal selam) pada daerah senyap tidak akan dapat terdeteksi oleh SONAR. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui keberadaan daerah senyap di suatu perairan untuk mengantisipasi adanya kapal selam penyusup yang memanfaatkan daerah senyap tersebut. Pada penelitian ini, diketahui bahwa di perairan selat Sunda bagian selatan terdapat daerah senyap yang berada di sisi selatan pegunungan Karakatau. Kedalaman daerah senyap ini antara 50 – 200 m dengan luas daerah senyap 265,2 ha. Kapal selam yang melewati daerah senyap ini tidak terdeteksi oleh SONAR pada frekuensi yang

umum digunakan, sehingga perlu pengawasan lebih di kawasan ini untuk membantu upaya menjaga keamanan negara. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mendeteksi kapal selam di daerah senyap adalah menggunakan gelombang suara dengan frekuensi yang lebih kecil dan dioperasikan pada kedalaman yang lebih presisi berdasarkan kondisi haloklin dan termoklin di Selat Sunda. Upaya lain yang dapat dilakukan yaitu dengan menggunakan drone bawah laut untuk mendeteksi keberadaan kapal selam. Sonobuoy yang dilengkapi SONAR kecil dan dapat dioperasikan pada berbagai kedalaman, dapat menjadi alternatif untuk mendeteksi keberadaan kapal selam di daerah senyap.

## KESIMPULAN

Berdasarkan pendekatan dengan MMPE (Monterrey-Miami Parabolic Equation) diketahui bahwa daerah senyap di Selat Sunda bagian selatan berada di kedalaman 50 - 200 m dengan panjang antara 20 km - 55km. Keberadaan daerah senyap berkesesuaian dengan kedalaman termoklin 50 - 200 m dan kedalaman haloklin 30 - 150 m. Perbedaan profil vertikal suhu dan salinitas serta perbedaan kedalaman memberikan profil daerah senyap yang berbeda antar transek.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bada, H I. N., Amhar, F., Octavian, A. 2017. Deteksi Shadow Zone dengan Menggunakan Parabolic Equation dalam Mendukung patrol TNI Angkatan Laut di Selat Makassar. *Jurnal Prodi Keamanan Maritim*. 3(1): 19 - 34
- Kinsler, L.E, Austin, R.F., Alan, B.C., dan James, V.S. 2000. *Fundamental of Acoustics*. John Willey & Sons Ltd. New York.
- Priyono. 2008. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Sidoarjo. Zifatama Publishing.
- Smith, K.B. 2005. *Convergence, Stability, and Variability of Shadow Water Acoustic Predictions Using a Split-step Fourier Parabolic Equation Model*. Department of Physics. Naval Postgraduate School.
- Soedewo, A. 2015. Pemberlakuan Ketentuan Bagi Kapal Berbendera Asing Untuk Melintas Di Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI) Ditinjau Dari Perspektif Hukum Negara Indonesia Dan United Convention on The Law of The Sea (UNCLOS)1982. *Student Jurnal Universitas Brawijaya*.
- Suharyo, O.S., Adrianto, D., Hidayah, Z. 2018. Pengaruh Pergerakan Massa Air dan Distribusi Parameter Temperatur, Salinitas dan Kecepatan Suara Pada Komunikasi Kapal Selam. *Jurnal Kelautan*, 11(2): 104 - 112
- Sugiyono. 2012. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*, Bandung: Alfabeta
- Urick, J. 1983. *Principle of Underwater Acoustic*. McGraw Hill. New York.
- Witasari, Y., dan Rubiman. 2003. Sedimen di Selat Sunda: Komposisi, Asal-usul, Proses Pengendapan dan Pengaruh Lingkungan. *Jurnal Pesisir dan Pantai Indonesia*. 9: 31-38.