

**STUDI KARAKTERISTIK PROPAGASI AKUSTIK BAWAH AIR DI SELAT
MAKASSAR DENGAN MENGGUNAKAN SOFTWARE MONTEREY – MIAMI
PARABOLIC EQUATION**

**UNDERWATER ACOUSTIC PROPAGATION STUDY IN MAKASSAR
STRAITS USING MONTEREY – MIAMI PARABOLIC EQUATION
SOFTWARE**

Lukman Hakim¹, Widodo S. Pranowo², & Dian Adrianto³,

¹Mahasiswa Prodi S-1 Hidrografi, STTAL

²Peneliti Pusris Iklim dan Atmosfer, BRIN

³Kepala Dinas Produksi dan Distribusi, Pushidrosal

email: lhakim3790@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki lebih dari 17.000 pulau. Diantara pulau-pulau tersebut terdapat banyak selat penting bahkan empat diantaranya merupakan selat (*choke point*) terpenting di dunia, salah satunya adalah Selat Makassar. Sebagai selat penting Indonesia harus memiliki kontrol terhadap selat tersebut. Dalam aspek kemiliteran salah satu kontrol yang harus dimiliki adalah kontrol terhadap kapal selam asing yang mencoba masuk ke wilayah Indonesia secara ilegal melalui Selat Makassar antara lain dengan memasang alat deteksi bawah air di perairan tersebut. Untuk mendukung hal tersebut perlu dilakukan penelitian terkait karakteristik propagasi akustik di perairan itu dengan melakukan pemodelan akustik. Salah satu pemodelan propagasi akustik adalah metode *parabolic equation* dengan perangkat lunak MMPE. MMPE merupakan suatu software hasil pengembangan dari *The Shallow Water Acoustic Modeling* 1999 yang menguji kemampuan berbagai model propagasi gelombang akustik, dengan memberikan suatu gangguan yang mendekati kondisi aslinya dengan menggunakan persamaan parabolik yang diturunkan dari metode *Split Step Fourier* (SSF) yang solusinya mempunyai kestabilan dan tingkat akurasi yang cukup tinggi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan data kecepatan suara pada stasiun penelitian CTD di Selat Makassar bagian utara di mana pada bagian tersebut merupakan bagian tersempit di Selat Makassar. Penelitian dilakukan dengan mengambil data kecepatan suara yang akan dijadikan input masukan program MMPE. Selanjutnya pemodelan dilakukan dengan membuat dua simulasi propagasi akustik dengan sumber suara diletakkan pada sisi P. Kalimantan dan yang kedua dari sisi P. Sulawesi. Dari hasil pemodelan yang dilakukan dengan menggunakan sumber akustik pada sisi P. Kalimantan menunjukkan bahwa masih terdapat daerah bayangan propagasi suara (*shadow zone*) yang cukup besar, demikian halnya pada simulasi yang menempatkan sumber suara pada sisi P. Sulawesi. Hal ini dimungkinkan karena jarak yang relatif jauh sehingga propagasi akustik mengalami penurunan intensitas suara yang besar.

Kata kunci : Propagasi Akustik Bawah Air, Selat Makassar, Model MMPE, Pemonitoran Kapal Selam.

ABSTRACT

Indonesia is an archipelagic country with more than 17,000 islands. Among these islands there are many important straits and even four of them are the most important choke points in the world, one of which is the Makassar Strait. As an important strait Indonesia must have control over the strait. In the military aspect, one of the controls that must be possessed is control over foreign submarines that try to enter Indonesian territory illegally through the Makassar Strait among others, by installing underwater detection devices in these waters. To support this, it is necessary to conduct research related to the characteristics of acoustic propagation in these waters by conducting acoustic modeling. One of the acoustic propagation modeling is a parabolic equation method with MMPE software. MMPE is a software developed from The Shallow Water Acoustic Modeling 1999 that tests the capabilities of various acoustic wave propagation models by providing a disturbance that is close to the original condition using parabolic equations derived from the Split Step Fourier (SSF) method whose solution has a fairly high stability and accuracy rate. The study was conducted using sound speed data at the CTD research station in the northern Makassar Strait where the section is the narrowest part of the Makassar Strait. The study was conducted by taking sound speed data which will be used as input input for the MMPE program. Furthermore, modeling was carried out by making two acoustic propagation simulations with sound sources placed on the side of P. Kalimantan and the second from the side of P. Sulawesi. From the results of modeling carried out using acoustic sources on the P. Kalimantan side, it shows that there is still a fairly large shadow zone of sound propagation, as is the case in simulations that place sound sources on the P. Sulawesi side. This is possible because of the relatively long distance so that acoustic propagation experiences a large decrease in sound intensity.

Keywords: *Underwater Acoustic, Makassar Strait, MMPE Model, Submarine Monitoring.*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki 17.504 pulau dengan wilayah lautnya 6,4 juta km² atau 2/3 wilayah Indonesia merupakan laut. Posisi Indonesia juga merupakan titik persilangan antara benua Asia dan Australia, samudera Pasifik dan samudera Hindia. Kondisi geografis Indonesia yang terdiri dari banyak pulau tersebut menjadikan Indonesia memiliki banyak selat penting bagi pelayaran di dunia. Bahkan Indonesia dikatakan memiliki empat dari Sembilan selat (terusan) sempit

(*choke point*) terpenting di dunia (Asmara, 2020).

Salah satu selat yang penting (*choke point*) tersebut berada di Selat Makassar. Untuk bisa memantau semua jenis pelayaran baik di atas permukaan maupun di bawah permukaan membutuhkan kontrol yang ketat pada semua choke point tersebut. Ancaman militer yang dihadapi sangat mungkin sekali datang melalui corong strategis, dalam hal ini selat-selat strategis perairan Indonesia dan ruang udara di atasnya, sehingga kekuatan laut dan kekuatan udara adalah yang pertama

kali akan menghadapi ancaman militer tersebut, maka pertahanan maritim adalah suatu hal mutlak untuk mendukung pertahanan Indonesia secara keseluruhan dalam bentuk pertahanan semesta (Asmara, 2020).

Adanya rencana pemindahan ibukota negara ke wilayah Provinsi Kalimantan Timur juga merupakan masalah tersendiri. Ibukota baru merupakan pusat pemerintahan di mana hal tersebut menjadikannya *center of gravity* (CoG) baru bagi pertahanan NKRI. Dengan posisi geografisnya yang berhadapan langsung dengan ALKI II membuat ibukota baru mendapatkan potensi ancaman dari aspek laut. Ancaman tersebut dapat berupa ancaman dari wahana permukaan maupun wahanan bawah air negara lawan (Putri, 2022).

Salah satu ancaman yang harus diwaspadai adalah ancaman yang datang melalui media bawah air yaitu keberadaan kapal selam lawan. Kapal selam merupakan Alutsista bernilai strategis tinggi, kapal selam dapat menimbulkan efek penangkalan (*deterrence effect*) yang tinggi bagi lawan dan sangat ditakuti pada perang laut, karena gerakannya sulit dideteksi sehingga dapat menyusup ke jantung pertahanan lawan tanpa diketahui (Sulistijono & Kukuh, 2017). Deterrence effect kapal selam berfungsi untuk mencegah penggunaan laut (*sea denial*); pengendalian laut (*sea control*); intelligence, surveillance, reconnaissance (ISR); dan penyerangan (*strike*) (Marsetio & Ritonga, 2018). Tentunya hal tersebut merupakan hal yang harus dapat diantisipasi guna menjaga pertahan dan keamanan negara.

Guna memonitor aktifitas kapal-kapal asing, terutama keberadaan Kapalkapal 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 Makassar, diharapkan dapat memenuhi kebutuhan monitoring tersebut. Melalui alat pemancar akan dilepaskan suatu gelombang akustik bawah air yang diletakkan pada salah satu sisi selat (misal, di Pulau Kalimantan) dan diterima oleh alat penerima yang diletakkan pada sisi selat yang lain (Pulau Sulawesi). Dengan metode ini diharapkan keberadaan kapal selam dapat diketahui (Clay *et al.*, 1976).

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Menganalisis karakteristik pola propagasi gelombang akustik bawah air di Selat Makassar dengan menggunakan software Monterey – Miami Parabolic Equation (MMPE)
- b. Menganalisis kesesuaian model MMPE dengan model lain yaitu Model *Ray tracing* dan metode *Normal Mode*.
- c. *menentukan* lokasi yang tepat untuk pemasangan alat monitoring kapal selam (*Hydrophone*) di Selat Makassar.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini menggunakan data CTD milik Disosemet Pushidrosal yang berasal dari hasil survei oseanografi Pushidrosal dan beberapa lembaga survei lainnya di Perairan Selat Makassar yang dilaksanakan dalam kurun waktu antara tahun 2004 sampai dengan tahun 2015 (Gambar 1). Selain data CTD data

pendukung lainnya adalah data batimetri Peta Laut Indonesia yang digunakan sebagai input data dalam pemrosesan menggunakan *software* MMPE.

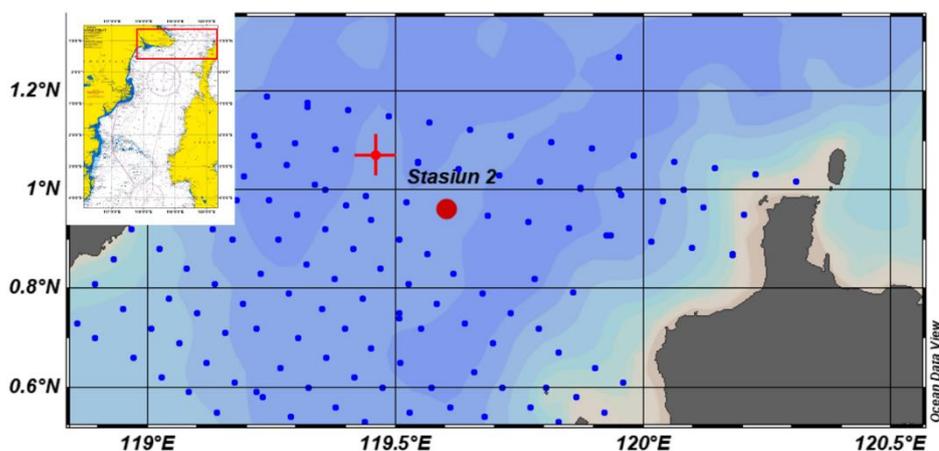
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif yang memenuhi kaidah-kaidah ilmiah dan memberikan data penelitian berupa angka-angka dan menganalisisnya menggunakan statistik atau model (Sugiyono, 2008). Selain menggunakan metode kuantitatif digunakan juga, Identifikasi kecepatan suara dari fungsi suhu, salinitas, tekanan (Lurton, 2002) dan Visualisasi data menggunakan ODV (Pranowo, 2015).

Setelah data CTD diperoleh Masing-masing data tersebut kemudian diklasifikasikan sesuai dengan tabel lokasi stasiun, waktu/hari, kedalaman, temperatur dan salinitas,. Langkah selanjutnya adalah pengolahan lebih lanjut dengan menggunakan *software* ODV. Dengan menggunakan *software* ODV dapat dilihat visualisasi sebaran variabel suhu, dan salinitas di tiap-tiap stasiun. Untuk menentukan profil vertikal data temperatur (T), salinitas (S) dan kecepatan

Suara (c) diproses dengan menggunakan proram Matlab 2016B pada stasiun penelitian.

Langkah selanjutnya adalah 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).

Berikutnya ditentukan persamaan polinomial temperatur (T) dan salinitas (S) dengan cara mendekati grafik data lapangan dengan grafik polinomial fitting pada ordo tertentu, yang terdapat pada program MATLAB. Persamaan polinomial ini adalah persamaan temperatur (T (z)) dan



Gambar 1. Posisi Koordinat Stasiun Penelitian.
Figure 1. Position of Research Station Coordinates.

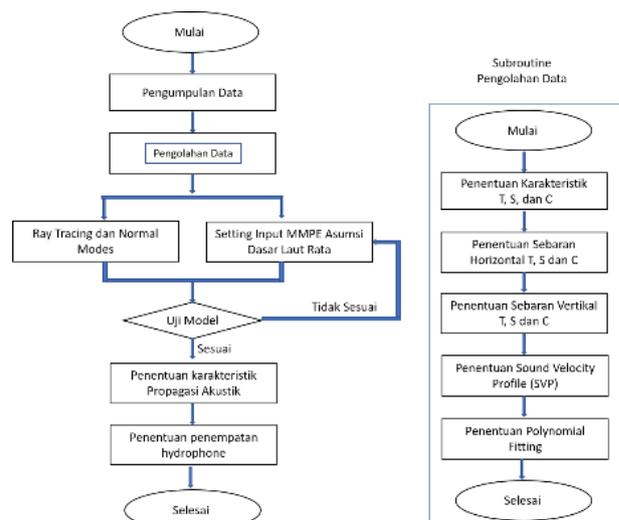
salinitas ($S(z)$) sebagai fungsi dari kedalaman.

Pada tahap berikutnya 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. Hasil pemrosesan tersebut kemudian diverifikasi dengan 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).

Analisis menggunakan metode MMPE dilakukan dengan mengunduh software MMPE dari website https://oalib-acoustics.org/website_resources/PE/MMP E/. Pada alamat website terdapat terdapat berkas unduhan berekstensi .zip yang berisi beberapa file yang akan digunakan untuk menjalankan program MMPE. Terdapat dua langkah untuk menjalankan program tersebut. Langkah pertama dilakukan dengan mengatur input pada beberapa file berekstensi .inp. Beberapa file tersebut terdiri dari dua bagian. Input utama adalah pfile.inp. Sedangkan file pendukung mewakili data input sumber akustik seperti frekuensi yang digunakan, letak kedalaman sumber suara, banyaknya frekuensi yang digunakan, sudut awal akustik serta input data lingkungan dan data pendukung lainnya seperti data batimetri, data kecepatan suara dan input kondisi pendukung lainnya (Smith, 2001).

Langkah berikutnya adalah menjalankan executable file (MMPE2DBBV2.exe) pada DOS (command prompt). Program tersebut akan berjalan dengan menggabungkan data dari beberapa file input yang sudah dijelaskan dan mengolahnya dengan memprediksi beberapa titik jarak acuan. Hasil dari pengolahan tersebut akan disimpan dalam file output dengan ekstensi .bin. File-file tersebut nantinya akan menjadi data yang diolah pada saat proses pengolahan menggunakan software Matlab. Penggunaan software Matlab tersebut dilakukan dengan dua program (script) yaitu PEOU1 dan PEOU2 (Ha, 2000).

Gambar 2 merupakan diagram alir yang diimplementasikan dalam penelitian ini sebagai panduan alur pikir kegiatan penelitian dari tahap pengambilan data awal penelitian sampai dengan interpretasi hasil penelitian.



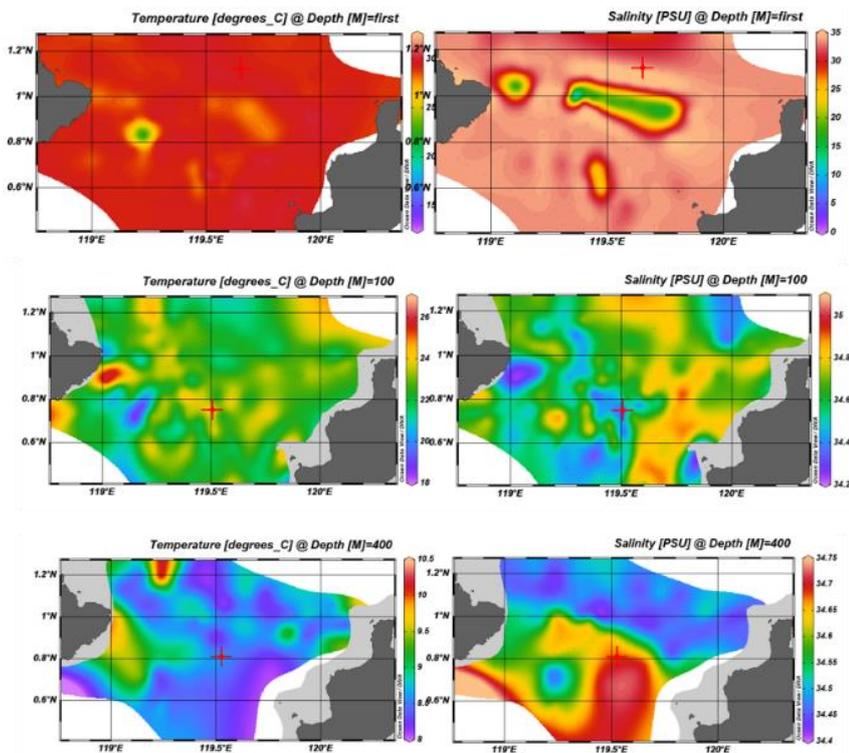
Gambar 2. Flowchart Pengolahan Data.
Figure 2. Data Processing Flowchart.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data massa air secara horizontal, menampilkan profil temperatur dan salinitas yang terletak pada tiga kedalaman. Kedalaman tersebut mewakili tiga lapisan air laut yang berbeda yaitu lapisan bercampur (*mixed layer*) diwakili dengan lapisan permukaan air laut, lapisan thermocline diwakili dengan kedalaman 100 m, dan lapisan dalam menggunakan kedalaman 400 m. Terlihat pada permukaan suhu air laut di Perairan Selat Makassar bagian utara (antara Tj. Mangkaliat –Tj. Agisol) memiliki suhu yang cenderung sama. Suhu di permukaan laut berkisar antara 28°C - 31°C. perbedaan suhu yang signifikan hanya berada pada satu tempat pada arah timur menenggara dari Tj. Mangkaliat pada sekitar koordinat 0° 01' 24 " LU - 119° 03' 38" BT dengan suhu 24°C. sedangkan

untuk salinitas pada permukaan air laut suhu rata-rata mencapai 34 PSU.

Pada kedalaman 100 m, hasil pengolahan menunjukkan pola yang berbeda jika dibandingkan dengan hasil pengolahan pada permukaan air laut yang cenderung sama. Pada kedalaman ini hasil pengolahan menunjukkan variasi yang lebih beragam dan rentang nilai maksimum dan minimum yang lebih besar dan terjadi baik pada nilai sebaran horizontal temperatur air laut maupun nilai salinitasnya. Nilai temperatur air laut memiliki nilai maksimum sebesar 25°C yang berada pada koordinat 0° 54' 21" LU - 119° 01' 55" BT dan nilai minimum sebesar 19°C pada koordinat 0° 43' 55" LU - 119° 10' 26" BT atau memiliki rentang nilai sebesar 6°C. sedangkan untuk nilai salinitas, nilai terbesar berada pada koordinat 0° 49' 15" LU - 119° 46' 19" BT



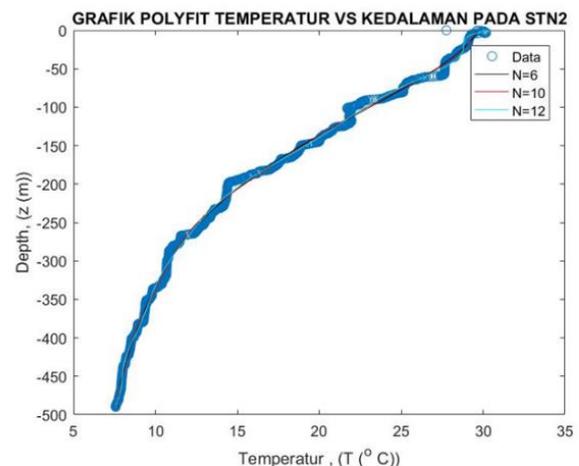
Gambar 3. Sebaran Horizontal Massa Air Laut.
Figure 3. Horizontal Distribution of Sea Water Mass.

dengan nilai 34,9 PSU dan nilai terkecil berada pada koordinat 0° 54' 25" LU - 119° 02' 38" BT dengan nilai sebesar 34,3 PSU.

Pada Gambar 3 sebaran horizontal nilai temperatur dan salinitas pada kedalaman 400 m (*deep layer*). Dari gambar terlihat bahwa pada kedalaman 400 m sebaran nilai temperatur horizontal memiliki nilai antara 8°C sampai dengan 10,2°C atau memiliki rentang nilai 2°C. suhu minimum terdapat pada sekitar posisi koordinat 0° 39' 25" LU - 119° 41' 56" BT, 0° 39' 39" LU - 118° 48' 00" BT dan 1° 12' 39" LU - 119° 27' 18" BT. Nilai minimum ini merupakan nilai mayoritas dari seluruh daerah pengolahan data. sedangkan suhu maksimum pada posisi 1° 14' 42" LU - 119° 14' 31" BT dengan nilai temperatur 10,2°C. untuk sebaran nilai salinitas secara horizontal pada kedalaman 400 m, nilai salinitas mempunyai rentang antara 34.42 PSU sampai dengan 34,7 PSU atau mempunyai rentang nilai sebesar 0,28 PSU. Nilai maksimum salinitas berada pada posisi 0° 48' 32" LU - 119° 32' 20" BT dengan nilai 34,7 PSU.

Pengolahan sebaran massa air secara vertikal dalam penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan software Matlab R2016B. Data yang digunakan untuk melaksanakan pengolahan adalah data CTD pada stasiun yang terletak pada posisi 0° 39' 25" LU - 119° 41' 56" BT. Profil vertikal kecepatan suara pada stasiun 2 ditunjukkan oleh (Gambar 4). Pada grafik tersebut data temperatur dibandingkan dengan kedalaman. Grafik tersebut menunjukkan besar nilai temperatur pada tiap kedalaman. Pada permukaan/kedalaman 0 m, suhu air memiliki nilai 30,37°C. Pada

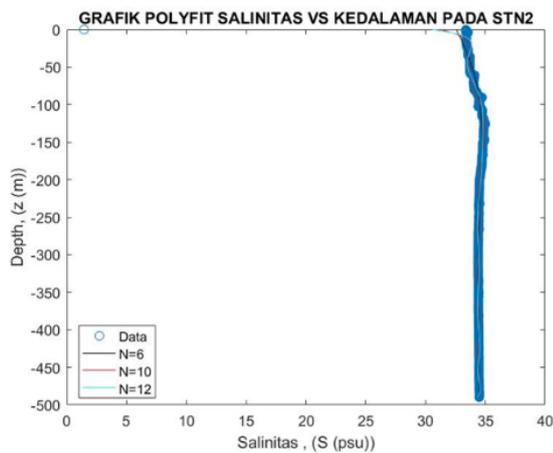
lapisan tercampur (*mixed zone*) suhu tersebut terus turun dengan penurunan yang tidak terlalu signifikan. Pada kedalaman 55 m suhu air laut masih 28,65°C. Artinya ketika kedalaman turun sedalam 55 meter, suhu hanya mengalami penurunan yang tidak terlalu besar (kurang dari 2°C). menurut (Hutabarat, Purba, Astuty, Syamsudin, & Kuswardani, 2018) Lapisan *mixed zone* yang tebal (dalam) ini diakibatkan oleh adanya faktor eksternal seperti angin dan turbulensi air. Faktor-faktor tersebut akan membuat proses pencampuran air yang terjadi merambah ke lapisan air yang lebih dalam.



Gambar 4. Profil Vertikal Temperatur.
Figure 4. Vertical Temperature Profile.

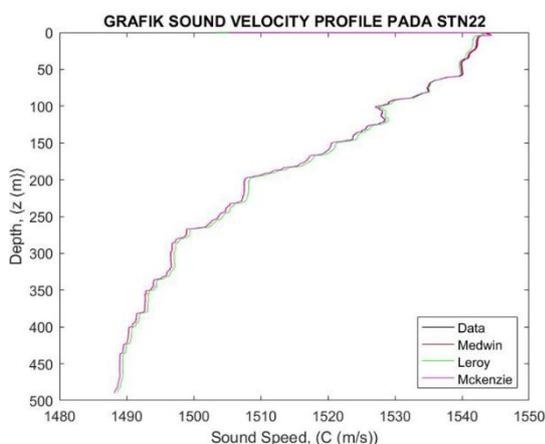
Untuk nilai salinitas pada stasiun CTD tersebut (Gambar 5) pada seluruh kedalaman data tidak menunjukkan perbedaan yang terlalu signifikan. Pada lapisan *mixed layer* di permukaan nilai salinitas adalah 34,12 PSU sedangkan untuk bagian bawahnya (55 m) adalah 34,14 PSU. Grafik kemudian naik sampai nilai pada lapisan termoklin mencapai nilai maksimal 34,935 PSU pada kedalaman 112 m. Setelah kedalaman tersebut grafik kembali turun pada akhir data (kedalaman

490 m) nilai salinitas grafik adalah 34,489 PSU.



Gambar 5. Profil Vertikal Salinitas.
Figure 5. Vertical Salinity Profile.

Kecepatan suara pada stasiun 2 ditunjukkan pada (gambar 6). Profil dari kecepatan suara memiliki grafik yang hampir sama dengan temperatur. Hal ini dikarenakan karena nilai kecepatan suara berbanding lurus dengan nilai kecepatan suara pada kedalaman tersebut. Pada kedalaman *mix layer* (permukaan air) Nilai kecepatan suara adalah 1543 m/s. Grafik kemudian perlahan penurunan nilai. Pada awal lapisan termoklin (55 m) nilai

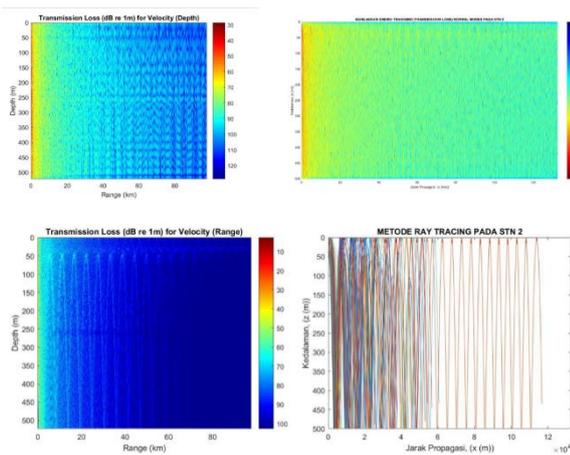


Gambar 6. Profil Vertikal Kecepatan Suara.
Figure 6. Vertical Profile of Sound Speed.

kecepatan suaranya adalah 1542 m/s. Pada bagian bawah lapisan ini nilai kecepatan suara adalah 1500 m/s. Pada lapisan *deep layer* kecepatan suara juga mengalami penurunan. Pada akhir data stasiun 2 (490 m) nilai kecepatan suara adalah 1488 m/s.

Uji model antara metode MMPE dengan metode mode normal dan *ray tracing* dilakukan untuk mendeteksi apakah ada ketidaksesuaian karakteristik pola propagasi akustik di daerah penelitian dengan ketiga metode yang ada. Uji model dilakukan dengan membandingkan hasil *tracing* gelombang akustik pada model MMPE dengan metode *ray tracing* dengan sumber suara yang menggunakan frekuensi tinggi (3500 Hz). Untuk frekuensi rendah (100 Hz) model MMPE dibandingkan dengan metode mode normal untuk melihat *tracing* akustik dan TL di antara kedua metode tersebut. Pada pengujian tersebut, model MMPE diasumsikan berada pada lautan yang memiliki dasar permukaan laut yang rata sehingga metode yang dibandingkan memiliki persamaan terkait lingkungan pemodelan dan dilaksanakan pada stasiun CTD 2.

Pada uji model MMPE frekuensi rendah yang dilakukan dengan metode mode normal (Gambar 7) tidak terlihat perbedaan yang signifikan. Pada 2 Km pertama nilai transmission loss mencapai 20 dB dan pada jarak 40 Km dari sumber suara pada kedalaman 200 m pengurangan intensitas suara mencapai 80 dB. Pada uji model antara model MMPE dan *ray tracing* juga terjadi kesesuaian. Pada model MMPE terdapat berkas gelombang akustik membentuk siklus



Gambar 7. Uji Model MMPE Dengan Ray Tracing dan Mode Normal.
Figure 7. MMPE Model Test with Ray Tracing and Normal Mode.

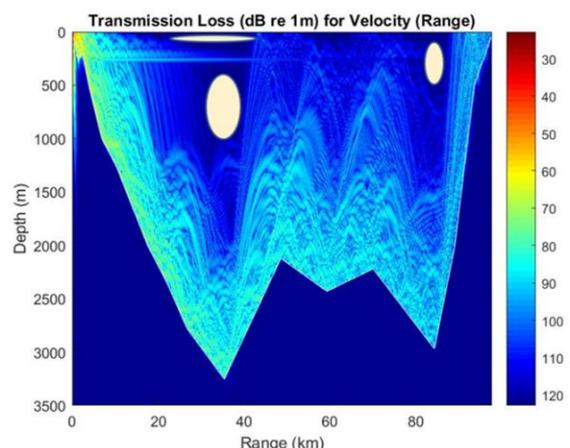
sinusoidal dari atas ke bawah sampai dengan kedalaman 563 m. Sementara TL yang dapat dilihat dari grafik MMPE menunjukkan bahwa pada jarak 60 Km dari sumber suara intensitas akustik mulai melemah ditunjukkan oleh berkas akustik berwarna biru yang menunjukkan bahwa pada jarak tersebut intensitas telah berkurang sebesar 70 dB – 80 dB.

Setelah diketahui kesesuaian antara pemodelan dengan metode MMPE dengan ray tracing maupun metode mode normal maka dilaksanakan pemodelan metode MMPE dengan kondisi yang mewakili lingkungan yang sebenarnya. Pemodelan dilaksanakan dengan menggunakan kedalaman laut yang didapatkan dari peta laut Indonesia (PLI), dan kecepatan suara dari data stasiun CTD dengan mensimulasikan propagasi akustik dilepaskan dari kedua sisi baik dari sisi Pulau Kalimantan maupun dari sisi Pulau Sulawesi.

Pada simulasi kedua dilaksanakan pemrosesan model MMPE dengan menggunakan frekuensi rendah (100 Hz).

Simulasi ini memisalkan model propagasi akustik dengan menggunakan sumber akustik pada kedalaman 40 m, jumlah frekuensi satu buah. Hasil pemrosesan memperoleh visualisasi propagasi akustik dan *transmission loss* sesuai (Gambar 8).

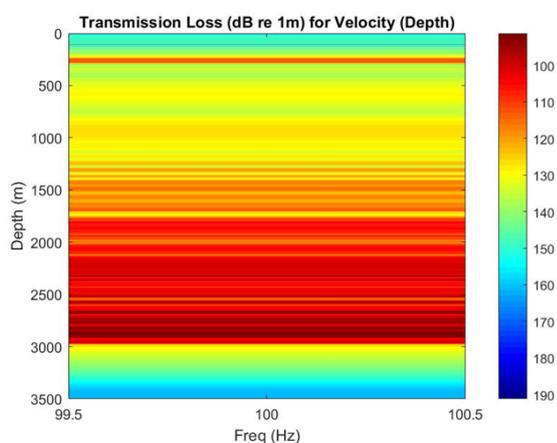
Sesuai dengan gambar di atas, gelombang akustik yang dipancarkan merambat dari sumber bunyi dibelokkan ke bawah karena kecepatan suara memiliki gradien yang bernilai negatif (berkurang seiring bertambahnya kedalaman). Pada saat berada pada jarak 2 Km sampai dengan 5 Km dari sumber suara setelah mengenai dasar laut, gelombang tersebut akan dipantulkan kembali ke arah atas. Namun akibat pengaruh gradien kecepatan suara pantulan berkas akustik ke atas kembali dibelokkan ke arah bawah. Hal tersebut terjadi berulang sampai dengan gelombang mencapai sisi Pulau Toguan. Dari hasil tersebut juga dapat diketahui adanya daerah-daerah yang tidak dilalui oleh propagasi akustik (*shadow zone*). Menurut (Suharyo *et al*, 2018) Daerah tersebut ditandai dengan daerah yang memiliki kehilangan intensitas akustik sebesar 90 dB atau sebesar 40% dari intensitas awal yang bidang gambar yang



Gambar 8. Model MMPE Arah Barat – Timur.
Figure 8. West – East MMPE Model.

berwarna biru tua. Daerah tersebut berada pada jarak 25 Km sampai dengan 40 Km dari sumber suara dan membentuk beberapa lapisan dengan kedalaman berkisar 0 m - 100 m, kedalaman 750 m, dan kedalaman 1600 m (ditunjukkan dengan warna kuning muda).

Pada simulasi pertama ini, intensitas akustik perambatan suara mengalami pengurangan. Pada jarak 1 Km dari sumber akustik. Intensitas propagasi mengalami penurunan sebesar 50 dB. Pengurangan intensitas suara terus membesar seiring dengan bertambahnya jarak. Pada saat gelombang suara mencapai P. Toguan pengurangan intensitas energi akustik mencapai 85 dB. Pengurangan intensitas akustik juga semakin membesar berbanding lurus dengan bertambahnya kedalaman. Pada beberapa titik dengan nilai kedalaman lebih dari 3000 m dari permukaan laut dengan nilai pengurangan intensitas akustik mencapai nilai maksimal. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengolahan dimana untuk frekuensi 100 Hz pengurangan nilai

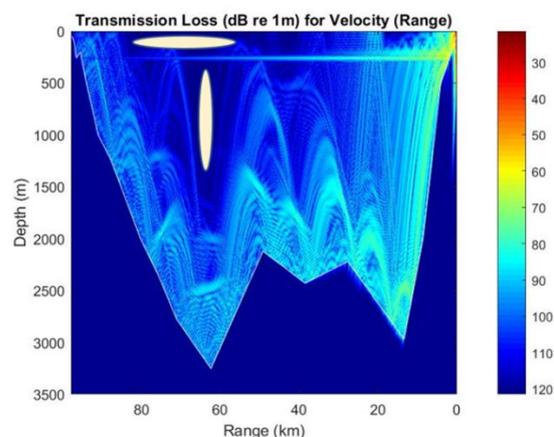


Gambar 9. Besar *Transmission Loss* Berdasarkan Kedalaman.
Figure 9. Amount of *Transmission Loss* Based on *Depth*.

intensitas akustik mencapai kondisi maksimum setelah mencapai kedalaman tersebut dengan nilai pengurangan akustik sebesar 140 dB sampai dengan 160 dB (Gambar 9).

Pada simulasi kedua juga dilaksanakan pemrosesan model MMPE dengan menggunakan frekuensi rendah (100 Hz) yang dilaksanakan dengan arah yang berlawanan (sisi Pulau Sulawesi ke arah sisi Pulau Kalimantan). Simulasi ini menggunakan sumber akustik pada kedalaman 40 m dengan jumlah frekuensi satu buah. Hasil pemrosesan memperoleh visualisasi propagasi akustik dan transmission loss sesuai (Gambar 10).

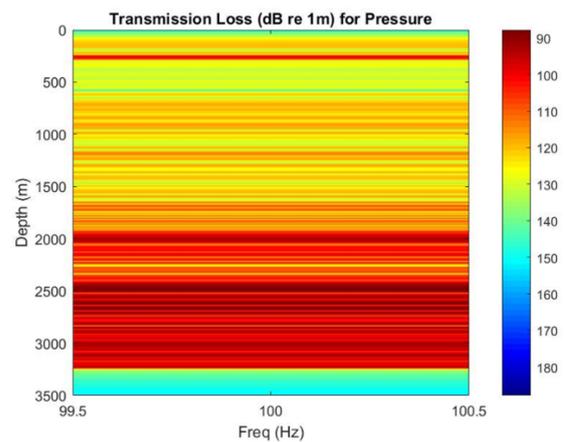
Sesuai dengan gambar di bawah, gelombang akustik yang dipancarkan merambat dari sumber bunyi dibelokkan ke bawah karena kecepatan suara memiliki gradien yang bernilai negatif (berkurang seiring bertambahnya kedalaman) sehingga pembelokan jalur perambatan suara akan menuju ke arah bawah. Berbeda dengan pada simulasi pertama yang menggunakan frekuensi rendah,



Gambar 10. Model MMPE Arah Timur – Barat.
Figure 10. MMPE Model East – West Direction.

karena besarnya nilai frekuensi berbanding terbalik dengan jarak pancarannya sehingga pengurangan nilai akustik mencapai nilai yang lebih besar dibanding dengan simulasi pertama. Seperti halnya simulasi dengan frekuensi rendah, pancaran energi akustik banyak menyusuri daerah dasar laut. Hal tersebut dimulai ketika gelombang akustik mulai dipancarkan sampai dengan saat gelombang akustik mencapai sisi P. Toguan. Dari hasil tersebut juga dapat dianalisis mengenai keberadaan *shadow zone*. Pada simulasi kedua ini daerah bayangan propagasi akustik banyak ditemukan. Daerah bayangan tampak pada hampir seluruh perairan kecuali beberapa daerah pada sekitar dasar lautan dan pada beberapa kedalaman antara lain pada kedalaman 100 m dan 250 m (Gambar 11).

Pada simulasi pertama ini, intensitas akustik perambatan suara juga mengalami pengurangan. Pada jarak 1 Km dari sumber akustik, Intensitas propagasi sudah mengalami penurunan sebesar 30 dB. Pengurangan intensitas suara terus membesar seiring dengan bertambahnya jarak. Pada saat gelombang suara mencapai P. Toguan (97 Km dari sumber suara), pengurangan intensitas energi akustik hampir mencapai 80 dB. Seperti pada simulasi pertama pengurangan intensitas akustik juga semakin membesar berbanding lurus dengan bertambahnya kedalaman. Pada beberapa titik dengan nilai kedalaman lebih dari 3250 m dari permukaan laut. Nilai pengurangan intensitas akustik mencapai nilai maksimal. Hal tersebut sesuai dengan hasil pengolahan pada posisi 60 Km dari sumber suara dimana untuk frekuensi 100 Hz



Gambar 11. Besar *Transmission Loss* Berdasarkan Kedalaman
Figure 11. Amount of *Transmission Loss* Based on Depth.

pengurangan nilai intensitas akustik mencapai kondisi maksimum setelah mencapai kedalaman tersebut dengan nilai pengurangan akustik sebesar 130 dB sampai dengan 150 dB (Gambar 11).

KESIMPULAN

1. Hasil uji model sintetik antara MMPE dengan Metode *Ray Tracing* (frekuensi tinggi) dan *Normal Mode* (frekuensi rendah), secara umum menunjukkan kesesuaian, baik dalam pola propagasi akustiknya maupun nilai Kehilangan Energi Transmisinya (*Transmission Loss / TL*).
2. Berdasarkan hasil analisis karakteristik propagasi akustik pada stasiun 2, masih terdapat daerah bayangan (*shadow zone*) baik pada saat simulasi dari arah barat – timur maupun timur – barat.
3. Peletakan transduser pada dua titik tersebut (stasiun 2) merupakan tempat paling optimal untuk pemasangan alat monitoring kapal selam karena merupakan jarak terdekat antara P. Kalimantan atau P. Sulawesi untuk

menghindari transmission Loss (TL) yang besar.

ancaman-serius-di-ibu-kota-baru-ri-jokowi-sudah-tahu

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah mendukung dalam penelitian ini termasuk seluruh redaksi jurnal hidropillar sehingga artikel ini dapat diterbitkan.

Smith, K. B. (2001). Retrieved from https://oalib-acoustics.org/website_resources/PE/MMPE/.

Sugiyono. (2008). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

DAFTAR PUSTAKA

Asmara, R. (2020). Sumber Daya Strategi Pertahanan Maritim Indonesia Dalam Pengendalian Laut Di Selat-Selat Strategis Guna Mendukung Sistem Pertahanan Semesta. *Jurnal Maritim Indonesia*.

Suharyo, O. S., Andrianto, D., & Hidayah, Z. (2018). Pengaruh Pergerakan Massa Air dan Distribusi Parameter Temperatur, Salinitas dan Kecepatan Suara Pada Komunikasi Kapal Selam. *Jurnal Kelautan*, 106.

Ha, Y. (2000). *Java-Based Implementation Of Monterey-Miami Parabolic Equation (Mmpe) Model With Enhanced Visualization And Improved Method Of Environmental Definition*. Thesis. Monterey: Naval Postgraduate School.

Sulistijono, & Kukuh, R. (2017). Kemandirian PT. PAL Indonesia (Persero) sebagai Industri Strategis Pertahanan Nasional dalam Pembuatan Kapal Selam Diesel Elektrik Klas 209. *Jurnal Prodi Strategi Perang Semesta*.

Lurton, X. (2002). *An Introduction to Underwater Acoustic. Principles and Application*. Chinchester: Praxis Publishing Ltd.

Medwin, H., & Clay, S. C. (1998). *Fundamentals of Acoustical Oceanography*. San Diego: Academic Press.

Pranowo, W. (2015). Modul Kuliah ODV. Jakarta: STTAL.

Putri, C. A. (2022, March 12). Ada Ancaman Serius di Ibu Kota Baru RI, Jokowi Sudah Tahu? <https://www.cnbcindonesia.com/news/20220312121421-4-322205/ada->