ISBN: 978-979-792-691-5

MODEL PENJALARAN GELOMBANG AKUSTIK DI DAERAH *SURFACE LAYER* DENGAN MENGGUNAKAN METODE RUNGE-KUTTA

Defrianto*, Hazmi Wirianto

Jurusan Fisika FMIPA, Universitas Riau

*E-mail korespondensi: defrianto@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

Simulation of acoustic wave propagation in the surface layer area is carried out by taking a positive value acoustic velocity gradient, so that in this simulation there will be a wave phenomenon trapped in the surface layer area. In this study, acoustic beam emission was conducted by varying the angle of incidence and length of the beam used, and the determination of the acoustic velocity gradient was carried out using the Runge-Kutta order of order 2. The results showed that at depths of 0 to 40 meters with acoustic velocity of 1405 m / s, for a length of 1 meter and a gradient pattern of +2.5 obtained a minimum angle of incidence of 0.09 radians with a wave propagation of 250 m. Comparison between analytical and computational results on wave propagation in the surface layer area is 4.51% error.

Keywords: Acoustic modelling, Surface layer, Gradient, Transmission loss, Runge-Kutta method

ABSTRAK

Simulasi penjalaran gelombang akustik di daerah Surface Layer dilakukan dengan mengambil gradien kecepatan akustik bernilai positip, sehingga pada simulasi ini akan terjadi fenomena gelombang yang terperangkap dalam daerah surface layer. Pada penelitian ini dilakukan pemancaran sinar akustik dengan memvariasikan sudut datang dan panjang sinar yang digunakan, serta penentuan gradien kecepatan akustik dilakukan dengan menggunakan persamaan Runge-Kutta orde 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kedalaman 0 sampai 40 meter dengan kecepatan akustik 1405 m/s, untuk panjang sinar 1 meter dan pola gradien +2,5 didapatkan sudut datang minimum sebesar 0,09 radian dengan penjalaran gelombang sejauh 250 m. Perbandingan antara hasil secara analitik dan secara komputasi pada penjalaran gelomabng di daerah surface layer terdapat error sebesar 4.51%.

Kata kunci: Pemodelan akustik, *Surface layer*, Gradien, *Transmission loss*, Metode Runge-Kutta

PENDAHULUAN

Gelombang merupakan rambatan energi getaran yang merambat melalui medium atau tanpa melalui medium[1]. Akustik merupakan ilmu yang berkaitan dengan semua gelombang mekanik dalam gas, cairan, dan padatan. Akustik bawah air merupakan satu bidang kelautan yang mendeteksi target di daerah perairan dan dasar perairan dengan menggunakan bunyi sebagai mediannya[2].

Perkembangan akustik bawah air sangat membantu manusia sebagai alat bantu bagi nelayan dan angkatan laut. Gelombang akustik bawah air bermanfaat untuk mengetahui adanya kehidupan di laut. Gelombang ini digunakan untuk mendengarkan ledakan bawah air (*seismic*), gempa bumi, letusan gunung berapi, bunyi yang dihasilkan oleh ikan dan hewan lainnya, aktivitas kapal-kapal ataupun sebagai peralatan untuk mendeteksi kondisi di bawah air. Gelombang ini juga digunakan untuk mengukur jarak dari objek yang dideteksi dan ukurannya seperti mendeteksi kapal selam, spesies ikan, ukuran ikan, jumlah ikan, plankton dan makhluk hidup laut lainnya serta mengukur waktu tempuh gelombang.

Daerah pemukaan laut terdapat makhluk hidup air yang beraktifitas, sehingga dengan

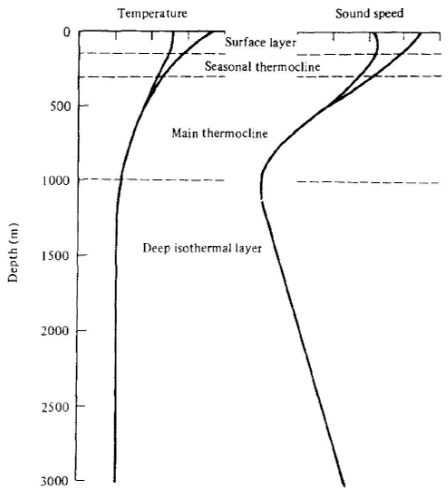
adanya sinar akustik bawah air dapat diketahui keberadaanya. Dengan metode Runge-Kutta sinar akustik yang menjalar pada daerah permukaan ini akan dipantulkan dan dibiaskan jika melewati medium yang berbeda. Pemaparan diatas dapat mengangkat penelitian yang berkaitan dengan program matlab untuk mensimulasikan penjalaran sinar akustik pada daerah *surface layer*.

TINJAUAN PUSTAKA

Gelombang bunyi merupakan gelombang longitudinal yang terjadi karena perapatan dan perenggangan dalam medium gas, cair atau padat. Kasus seperti gelombang pada tali hanya gangguan yang dijalarkan, sementara molekul-molekul itu sendiri hanya bergetar ke belakang dan ke depan di sekitar posisi kesetimbangan. Gelombang bunyi dibagi menjadi tiga kategori yaitu gelombang infrasonik dengan frekuensi < 20 Hz, gelombang audiosonik dengan frekuensi 20-20.000 Hz dan gelombang ultrasonik dengan frekuensi > 20.000 Hz[3].

Teori dasar akustik menggunakan beberapa asumsi untuk memudahkan penurunan persamaan dasar akustik. Asumsi yang digunakan berupa Fluida inviscid atau tidak ada gaya gesek di antara partikel, Perhitungan dilakukan dalam skala yang kecil atau perubahan yang terjadi sangat kecil apabila dibandingkan dengan harga ambiennya dan Kecepatan fluida diasumsikan sama dengan nol (*U0* = 0). Cara termudah untuk memahami fisika dan dinamika perangkat bunyi gelombang akustik adalah melalui model respon impuls[4].

Persamaan pengatur yang digunakan dalam penurunan persamaan dasar akustik berupa hukum kekekalan massa, hukum kekekalan momentum dan persamaan state. Pertambahan kecepatan bunyi di bawah laut berbanding lurus dengan pertambahan temperatur, salinitas dan kedalaman. Salinitas tidak begitu berpengaruh terhadap kecepatan bunyi pada perairan dalam [5]. Profil kecepatan bunyi ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Profil kecepatan bunyi[6].

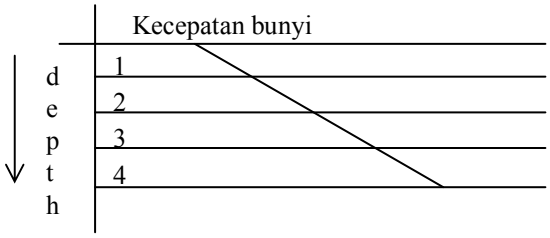
Propagasi akustik merupakan transmisi dari suatu energi akustik melalui media perantara air. Perambatan gelombang bunyi mengalami refraksi, refleksi dan transmisi. Trigonometri digunakan untuk melihat bahwa rasio kosinus dari sudut terhadap kecepatan bunyi tetap konstan melintasi batas. Pengamatan ini disebut Hukum Snell, sehingga menghasilkan Persamaan

$$\cos(\theta_1) = \frac{BD}{AD} = \frac{c_1 \Delta t}{AD} \quad (1)$$

$$\cos(\theta_2) = \frac{AE}{AD} = \frac{c_2 \Delta t}{AD} \quad (2)$$

$$\frac{\cos(\theta_1)}{c_1 \Delta t} = \frac{\cos(\theta_2)}{c_2 \Delta t} = \frac{1}{AD} \quad (3)$$

$$\frac{\cos(\theta_1)}{c_1} = \frac{\cos(\theta_2)}{c_2} \quad (4)$$



Gambar 2. Kecepatan bunyi dalam medium berlapis [7].

Kecepatan bunyi sebagai fungsi kedalaman dapat digambarkan oleh persamaan linier sederhana. Hasil ini dapat digunakan untuk menemukan fungsi untuk jari-jari sinar bunyi serta kuantitas lainnya.

Gradien kecepatan bunyi g, ditampilkan sebagai garis putus-putus, besar kecepatan

bunyi pada lapisan ke i+1 ditunjukkan oleh persamaan iterasi berikut:

$$c_{i+1} = c_i + g_i \Delta z_i \quad (5)$$

Dimana g adalah gradien, $g = \frac{\Delta c}{\Delta z}$, dari hukum Snellius dan memasukkan persamaan untuk c, maka didapat :

$$\frac{\cos\theta_1}{c_1} = \frac{\cos\theta}{c} \quad (6)$$

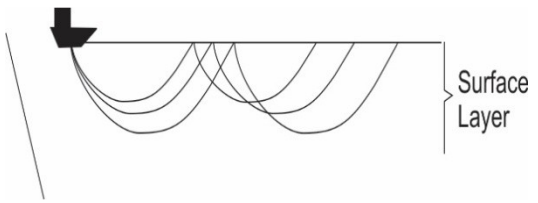
$$\frac{\cos\theta_1}{c_1} = \frac{\cos\theta}{c_1 + gz} \quad (7)$$

$$gz\cos\theta_1 = c_1(\cos\theta - \cos\theta_1) \quad (8)$$

$$z = R(\cos\theta - \cos\theta_1) \quad (9)$$

dimana $= \frac{c_1}{g\cos\theta_1}$, R adalah jari-jari kelengkungan sinar bunyi[8].

Untuk kasus ini, Lapisan permukaan apabila memiliki gradien positif dan lapisan itu cukup dalam, bunyi dapat ditekuk kembali ke permukaan kemudian dipantulkan kembali ke dalam lapisan. Setelah itu dipantulkan kembali ke bawah, itu ditekuk kembali ke permukaan lagi hanya untuk dipantulkan di permukaan lagi, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Penjalaran gelombang gradient positif [5].

Surface layer terdapat lapisan mixed layer yang terjadi pada siang hari. Pada lapisan ini suhu potensial, kelembaban, dan kecepatan angin cenderung konstan terhadap naiknya ketinggian[9]

Pada keadaan gradien g bernilai positif namun tidak konstan maka nilai c pada lapisan ke i+1 didekati dengan dengan metode Runge-Kutta orde 2, sehingga persamaan (5) menjadi:

$$c_{i+1} = c_i + 1/2(k_1 + k_2) \quad (10)$$

$$k_1 = g_i \Delta z_i$$

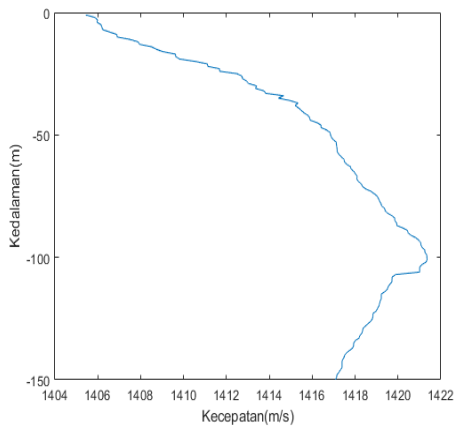
$$k_2 = g_{i+1} \Delta z_i$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pemodelan dan komputasi. Penelitian ini hanya mensimulasikan penjalaran gelombang akustik di daerah surface layer. Alat yang digunakan dalam penelitian ini laptop dan software matlab. Bentuk dalam model penjalaran ini adalah 2 dimensi terhadap sumbu x dan y. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu menentukan objek dari sumber akustik untuk dimodelkan, membuat persamaan itersai hukum Snellius dan metode Runge-Kutta, menentukan data skunder yang akan diolah, membuat program metode Runge-Kutta untuk menentukan penjalarannya, pengujian program dan melakukan perbandingan analitik dengan komputasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

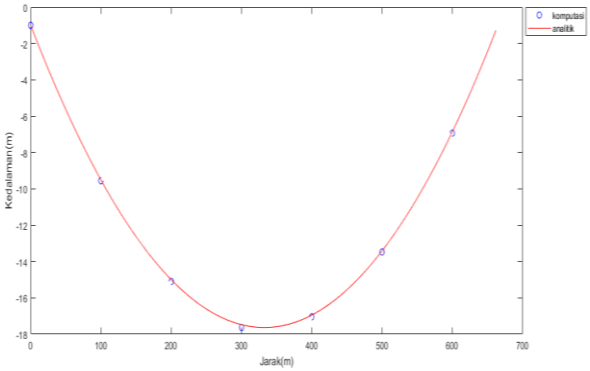
Hasil dari penelitian untuk mensimulasikan penjalaran gelombang bunyi di daerah surface layer. Simulasi penjalaran gelombang ini menggunkan metode Runge-Kutta dengan persamaan iterasi dari Hukum Snellius secara komputasi 2 dimensi pada sumbu x dan y positif. Metode Runge-Kutta berfungsi untuk penurunan iterasi dari hukum Snellius. Simulasi dari penjalaran gelombang ini menggunakan parameter gradient(g), jari-jari sinar(r), kecepatan bunyi(c), dan kedalaman. Solusi analitik dan komputasi dibandingkan untuk mencari nilai error. Jika nilai error dapat diterima pembahasan dilanjutkan dengan data kecepatan bunyi terhadap kedalaman. Data profil kecepatan bunyi terhadap kedalaman ditampilak pada gambar 5.



Gambar 4. Profil kecepatan bunyi[12].

Profil kecepatan bunyi ini dibuat berdasarkan data kecepatan bunyi terhadap kedalaman yang didapatkan dari Naval

Research Laboratory, Washington DC. Kecepatan bunyi bertambah terhadap kedalaman memiliki kecepatan awal 1405,44 ms^{-1} pada kedalaman 1 m sampai kedalaman 101 m dengan kecepatan 1421,36 ms^{-1}. Pertambahan kecepatan bunyi ini terjadi pada lapisan homogen yang memiliki suhu konstan dan pengaruh pertambahan tekanan, sehingga pada daerah surface layer ini memiliki gradient positif. Keadaan bunyi dibawah air memiliki banyak perubahan, namun ada beberapa komponen bersifat konstan. Refraksi terjadi tidak hanya ketika cahaya bergerak dari air ke udara, tetapi kapan pun kecepatan cahaya berubah. Demikian pula gelombang bunyi yang melintasi lautan setiap kali mengalami perubahan dalam kecepatan bunyi. Karena kecepatan bunyi berubah dengan perubahan suhu, salinitas, dan tekanan, gelombang bunyi akan membias saat bergerak melalui medium lautan.



Gambar 5. Perbandingan analitik dan komputasi.

Metode Runge-Kutta dan persamaan itersai hukum Snellius digunakan sebagai program awal penjalaran gelombang, setelah simulasi awal ditampilkan dilanjutkan menentukan syarat awal program. Kecepatan bunyi bertambah terhadap kedalaman terjadi di daerah surface layer sehingga daerah tersebut memiliki gradien positif. Gambar tersebut adalah solusi dari penjalaran gelombang pada sumbu x dan y. Sumbu x untuk jarak dan sumbu y untuk kedalaman.

Solusi persamaan lingkaran untuk penjalaran gelombang surface layer di masukkan kedalam program untuk membandingkan perhitungan secara analitik dan komputasi. Tampilan perbandingan analitik dan komputasi dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7 di peroleh dengan langkah awal menentukan nilai dari gradien kecepatan bunyi per kedalaman laut. Titik pusat dari gelombang dapat ditentukan dengan menganggap perambatan gelombang berbentuk lingkaran, maka dengan solusi umum persamaan lingkaran adalah :

$$(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2 = R^2 \quad (11)$$

Dari persamaan lingkaran diatas akan didapatkan

$$(y - y_p)^2 = R^2 - (x - x_p)^2 \quad (12)$$

$$y - y_p = \pm\sqrt{R^2 - (x - x_p)^2} \quad (13)$$

$$y = y_p \pm \sqrt{R^2 - (x - x_p)^2} \quad (14)$$

Dari Gambar 7 didapatkan perbandingan analitik dengan komputasi, menggunakan satu data analitik yaitu gradient 0,42., jari-jari sinar (r)=2, kecepatan awal (c0) 1405,44 ms^{-1} dan sudut pancar 0.1 rad. Persamaan lingkarang digunakan untuk menentukan nilai y selanjutnya dari data analitik tersebut. Besar nilai iterasi yang di peroleh dari perhitungan analitik digunakan sebanyak 664 data. Sehingga diperoleh persentase kesalahan data analitik dan komputasi yaitu 0,5718 %. Kasus perambatan gelombang bunyi dengan gradien berdasar data atau gradien yang berubah-ubah ini tidak dapat diselesaikan secara analitik, karenanya diselesaikan dengan pemodelan secara komputasi.

Penjalaran gelombang di daerah surface layer dengan variasi panjang sinar dan sudut pancar sampai terjadi transmission loss dengan menggunakan data kecepatan bunyi ditampilkan pada Gambar 4-6.

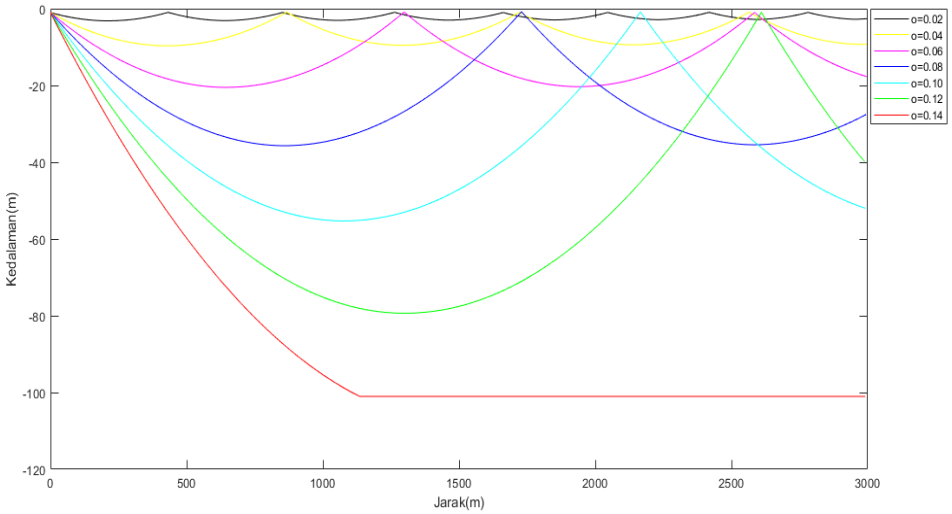
Tampilan model penjalaran gelombang bervariasi menggukanan data profil kecepatan bunyi. Pemodelan tersebut menggambarkan penjalaran di daerah surface layer. Perbedaan dengan penjalaran menggunakan data profil kecepatan bunyi untuk gradien dan kecepatan tetap berbeda pada jarak sinar yang ditempuh

pada masing-masing panjang sinar, jari-jari sinar dan sudut pancar yang diberikan. Selain itu penjalaran gelombang menggunakan data kecepatan sangat di pengaruhi oleh gradient pada setiap kedalaman.

Gelombang pada daerah surface layer akan dipantulkan terus-menerus pada sudut 0,02 rad, 0,04 rad, 0,06 rad, 0,08 rad, 0,10 rad, 0,12 sedangkan pada sudut 0,14 rad gelombang tidak lagi dipantulkan melainkan akan diteruskan kearah deep sound channel axis, penjalaran tersebut menggambarkan terjadinya Transmission Loss. Besar gelombang selanjutnya akan akan tetap sama untuk panjang sinar yang berbeda.

Banyak hal lain yang dapat terjadi pada gelombang akustik saat merambat. Misalnya energi dapat menghamburkan partikel. Energi akan hilang saat refleksi dari permukaan dan bawah. Sejauh ini faktor terbesar dari semuanya adalah perubahan propagasi karena variasi kecepatan, suhu, kedalaman dan salinitas. Perubahan kecepatan akan cenderung berbentuk bola atau silinder yang sempurna dari gelombang. Banyak kondisi yang cenderung memusatkan energi akustik yang mengakibatkan hilangnya transmisi. Semua faktor ini disebut anomali kehilangan transmisi. Ketika sinar mencapai permukaan, sinar akan dipantulkan kembali ke bawah dan proses yang sama dimulai lagi. Secara alami, sebagian energi hilang dan terpantul, tetapi efek keseluruhannya adalah menjebak bunyi dalam lapisan yang relatif kecil di bawah permukaan. Bunyi tidak mencapai wilayah yang lebih dalam, sehingga transmisi berkurang dari yang diharapkan untuk penyebaran silinder, efek ini disebut surface duct.

Sudut pancar dan jari-jari sinar berpengaruh besar dalam perambatan gelombang. Perbedaan dari setiap jari-jari sinar yang diberikan dilihat dari jarak tempuh sinar tersebut. Jarak penjalaran gelombang akan bertambah dengan bertambahnya jari-jari sinar. Semakin bersar jari-jari sinar yang dipancarkan maka semakin jauh jarak yang ditempuh sinar tersebut. Sebaliknya, semakin pendek jari-jari sinar yang di pancarkan maka akan semakin pendek jarak tempuh sinar tersebut. Semua sinar akan dibelokkan ke atas.



Gambar 6. Penjalaran gelombang dengan panjang sinar (r) = 1 dan θ bervariasi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan melalui pemodelan penjalaran gelombang di daerah *surface layer* maka dapat Pemodelan penjalaran gelombang di daerah di surface layer cukup baik di modelkan dengan program aplikasi matlab. Pemodelan dilakukan dengan persamaan matematis dari hukum snellius yang diturunkan dengan metode Runge-Kutta. Transmission Loss dari data

profil keceptan bunyi dibawah permukaan laut didapatkan pada kedalaman lebih dari 101 m pada sudut pancar maksimum 0,245 dan jari-jari sinar 1 m sampai 4 m. Nilai selisih analitik dan komputasi untuk penjalaran gelombang akustik di daerah surface layer memiliki jari-jari sinar sinar 2 m, sudut pancar 0,1 dan kecepatan awal 1405,44 ms^{-1} dengan penyelesaian analitik menggunakan persamaan lingkaran dinyatakan dalam persen di peroleh sebesar 0,5718% .

REFERENSI

1. Halliday dan Resnick. (2010). *Fisika Dasar Edisi ketujuh Jilid 1 (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
2. Surendro, Bambang. (2014). Transmisi Dan Refleksi Gelombang Pada Pemecah Gelombang Ambang Rendah Ganda Tumpukan Batu. *Jurnal Ilmu dan Terapan Teknik Sipil. Universitas Tidar. Vol.20(2):179–187*
3. Paul A, Tipler. (1998). *Fisika Untuk Sains dan Teknik Edisi Ketiga Jilid 1 (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
4. Hartmann, C.S., Jr. Bell, D. T. Rosenfeld, R.C. (1973). Impulse Model Design of Acoustic Surface-Wave Filters. *IEEE T Microw Theory. Vol.*21(4):162– 175.
5. Urick, Robert J. (1983). *Principles of Underwater Sound 3rd Edition*. Mc Grawhill: New York.
6. Wen, Tze. (2008). *Aplikasi Metode Normal Mode pada Propagasi Akustik Bawah Air di Samudra Hindia*. Skripsi. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
7. Korman, M.S. (1995). *Principles of Underwater Sound And Sonar the Preliminary Edition*. Dubuque, IA:Kendall/Hunt Publishing Company.
8. Tucholski, CDR E.J. (2006). *Underwater Acoustics and Sonar SP411 Handsout and Notes Fall*. United states Naval Academy: Annapolis.
9. Kaimal JC, Wyngaard JC, Haugen DA, Cote OR, dan Izumi Y. (1978). Turbulence Structure in the Convective Boundary Layer. *Atmospheric Sciences*. Vol.33(4):2152-2168.
10. Yang, W.Y. (2005). *Applied Numerical Methods using MATLAB*. John Wiley & Sons, Inc.
11. Leis, J. W. (2002). *Digital Signal Processing: A MATLAB - Based Tutorial Approach*. Baldock, UK: Research Studies Press.
12. Gel Grosso V. A. (1952). *The Velocity Of Sound In Sea Water At Zero Depth*. Naval Research Laboratory. Washington DC.

Artikel ini menggunakan lisensi Creative Commons Attribution 4.0 International License