

Pemodelan Kanal Komunikasi Akustik pada Perairan Dangkal dengan Kondisi LOS

By: dferyando.wordpress.com

1. Pendahuluan

Teknik komunikasi di bawah air merupakan teknik bertukar informasi yang dilakukan di dalam perairan, baik secara *wired* maupun *wireless*. Dewasa ini, komunikasi di bawah air telah mampu menyita perhatian para peneliti untuk mengembangkannya. Mengapa perlu dikembangkan? Beberapa alasannya adalah telah kita ketahui bahwa 70% dari permukaan bumi berupa perairan, sehingga diharapkan informasi tentang ekosistem karbon bumi yang berdampak pada perubahan iklim bisa didapatkan. Selain itu, komunikasi bawah air yang handal diharapkan mampu memberikan lebih banyak manfaat pada aspek kehidupan, misalnya bagi organisasi pertahanan suatu negara, bagi para peneliti oseanografi, peneliti gempa bawah laut, industri minyak lepas pantai, dan lain sebagainya.

Pada komunikasi di bawah air, proses komunikasi dilakukan dengan memanfaatkan gelombang akustik atau gelombang bunyi. Gelombang akustik digunakan sebagai media transmisi pada komunikasi bawah air disebabkan karena besarnya redaman air yang membuat gelombang elektromagnetik tidak memungkinkan untuk digunakan. Selain itu, gelombang akustik juga memiliki kemampuan perambatan hingga jarak yang jauh. Sehingga gelombang akustik merupakan satu-satunya solusi untuk mengimplementasikan teknik komunikasi di bawah air.

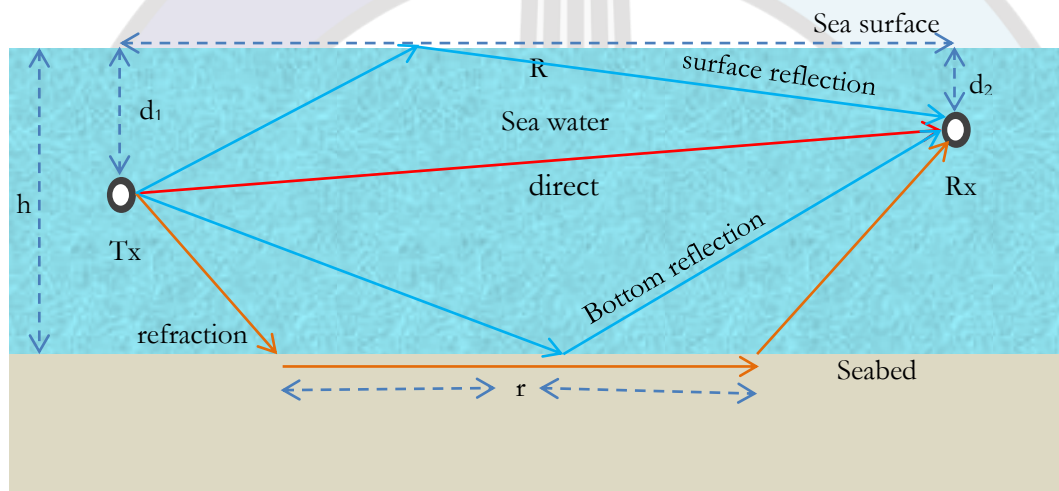
Karakteristik dari komunikasi di bawah air sangat berbeda dengan komunikasi terestrial. Pada komunikasi di bawah air, kecepatan suara relatif kecil jika dibandingkan dengan komunikasi di udara, yaitu berkisar antara 1450 s.d 1540 m/s. Perlu diketahui bahwa perubahan suara sekecil apapun pada komunikasi di bawah air, sangat mempengaruhi propagasi suara di perairan secara signifikan. Oleh karena itu, untuk melakukan pemodelan kanal komunikasi bawah air perlu diperhatikan beberapa parameter, seperti kedalaman, salinitas, dan temperatur air. Berdasarkan parameter kedalaman air, pemodelan kanal untuk komunikasi di bawah air dibedakan menjadi dua, yaitu pemodelan kanal untuk perairan dangkal (*shallow water*) dan untuk perairan dalam (*depth water*). Pemodelan kanal *shallow water* digunakan untuk perairan dengan kedalaman kurang dari 100 meter sedangkan pemodelan kanal *depth water* digunakan untuk perairan dengan kedalaman lebih dari 100 meter. Selain parameter di atas, perlu diperhatikan pula kondisi pemodelan kanal. Terdapat dua kondisi pemodelan kanal, yaitu kondisi *Line of Sight* (LOS) dan kondisi *Non Line of Sight* (NLOS).

Pada makalah ini, akan dibahas salah satu desain pemodelan kanal komunikasi bawah air, yaitu pemodelan kanal akustik untuk perairan dangkal (*shallow water*) pada kondisi LOS (*Line of Sight*). Selain membahas tentang desain pemodelan kanal, akan dibahas pula secara singkat tentang implementasi dari komunikasi akustik pada *SONAR* (SOunds Navigation And Ranging).

2. Pemodelan Kanal AUC (*Acoustic Underwater Communication*)

2.1 Model Ray

Propagasi akustik di laut diatur oleh persamaan gelombang. Karena solusi dari persamaan gelombang sulit dicari generalisasinya, maka dilakukan suatu pendekatan untuk memodelkan propagasi akustik di laut. Pendekatan dilakukan berdasarkan pada Teori Ray (teori cahaya) yang sering digunakan untuk memodelkan propagasi frekuensi tinggi. Mengingat bahwa rentang frekuensi pada sinyal komunikasi adalah frekuensi tinggi, maka Teori Ray ini dianggap sebagai pendekatan yang cocok untuk propagasi kanal akustik.



Gambar 2.1 Konsep pemodelan kanal AUC berdasarkan Teori Ray

Di dalam model ray, energi suara dikonseptualisasi sebagai propagasi sepanjang ray, jalur propagasinya lurus disebabkan oleh kecepatan medium fluida. Pemodelan kanal AUC di makalah ini menggunakan sebuah pemodelan *Pakeris Waveguide* yang terdiri dari sebuah lapisan *isovelocity* di atas *isovelocity* setengah-ruang. Lapisan *isovelocity* memodelkan air laut sedangkan *isovelocity* setengah-ruang memodelkan dasar laut [1].

Pada pemodelan propagasi akustik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1 di atas, sinyal suara diasumsikan mengalami tiga kondisi, yaitu kondisi sinyal terpropagasi secara lurus dengan jarak tempuh S_1 , kondisi sinyal mengalami pantulan dengan jarak tempuh S_2 (*surface reflection*) atau S_2' (*bottom reflection*), dan kondisi sinyal mengalami penghamburan dengan jarak tempuh S_3 .

Pada gambar 2.1, diasumsikan d_1 adalah kedalaman dari Tx dan d_2 adalah kedalaman dari Rx. Jika R adalah jarak transmisi antara Tx dan Rx, maka jarak propagasi sinyal secara lurus yang dinotasikan dengan S_1 dapat dituliskan sebagai berikut [1]:

$$S_1 = \sqrt{R^2 + (d_1 - d_2)^2} \quad (1)$$

Untuk propagasi yang mengalami pemantulan, diasumsikan sebagai S_2 adalah jarak tempuh sinyal yang terpantul yang berasal dari atas dengan jumlah pantulan permukaan s dan jumlah pantulan dasar b, dimana $0 \leq s - b \leq 1$. Sehingga [1]:

$$S_2 = \sqrt{R^2 + [2bh + d_1 - (-1)^{s-b}d_2]^2} \quad (2)$$

Untuk sinyal yang mengalami pemantulan dari bawah, diasumsikan sebagai S'_2 adalah jarak tempuh sinyal yang berasal dari bawah dengan pantulan permukaan s dan pantulan dasar b, dimana $0 \leq b - s \leq 1$. Sehingga [1]:

$$S'_2 = \sqrt{R^2 + [2bh - d_1 + (-1)^{b-s}d_2]^2} \quad (3)$$

2.2 Parameter Kanal AUC

2.2.1 Kecepatan Rambat Sinyal Suara

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa kecepatan rambat sinyal pada medium air berbeda dengan sinyal yang berada pada medium udara. Kecepatan rambat suatu sinyal di bawah air dapat diukur dengan sebuah alat yang disebut *velocimeter*. Secara manual, kecepatan juga dapat dihitung dengan menggunakan rumus apabila nilai temperatur air T, salinitas air S, dan kedalaman air z (atau tekanan hidrostatis P) telah diketahui. Namun, karena pada perairan dangkal nilai kecepatan tidak berubah signifikan terhadap perubahan kedalaman, maka hanya digunakan dua parameter pada perhitungannya, yaitu temperatur dan salinitas. Sehingga persamaan kecepatan dapat dituliskan sebagai berikut [1]:

$$c = 1449,36 + 4,6T - 0,055T^2 + 0,000029T^3 + (1,34 - 0,01T)(S - 35) \quad (4)$$

2.2.2 Volume Absorpsi

Pada saat terjadi propagasi suara di lautan, sebagian dari energi akustik berubah menjadi panas. Hal ini terjadi karena adanya gesekan internal molekul-molekul di dalam fluida. Proses ini disebut dengan proses absorpsi. Proses absorpsi secara umum bergantung pada viskositas volume yang merupakan hasil dari proses relaksasi ion garam dalam perairan laut. Adanya proses absorpsi ini

mengakibatkan terjadinya *transmission loss*. Untuk menghitung faktor loss, perlu diketahui terlebih dahulu nilai koefisien atenuasi β (in dB/km) pada frekuensi f (dalam kHz, diantara 3 kHz dan 500 kHz), salinitas S (dalam ‰), dan tekanan hidrostatik P (dalam kg/cm²). Jika β , S , dan P diketahui maka bisa didapatkan pendekatan empiris sebagai berikut [1]:

$$\beta = 8680 \left(\frac{SAf_T f^2}{f_T^2 + f^2} + \frac{Bf^2}{f_T} \right) (1 - 6,54 \times 10^{-4} P) \quad (5)$$

Dimana A adalah $2,34 \times 10^{-6}$, B adalah $3,38 \times 10^{-6}$, f_T adalah $21,9 \times 10^6 \frac{1520}{T+273}$ dan P adalah 2×10^5 Pa.

Didasarkan pada koefisien atenuasi, faktor loss dari amplitudo tekanannya pada jarak D sepanjang jalur tempuhnya dapat dirumuskan [1]:

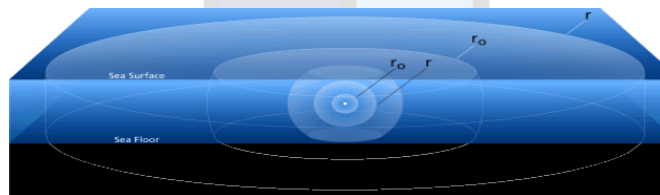
$$\begin{aligned} L_A(D) &= 10^{-\frac{\left(\frac{D}{1000}\beta\right)}{20}} = \exp\left[-\frac{D}{2000}\beta \log_e 10\right] \\ &= \exp\left[-\frac{\log_e 10}{2000} D \cdot 8669 \left(\frac{SAf_T f^2}{f_T^2 + f^2} + \frac{Bf^2}{f_T}\right)\right] = \exp\left[-0,998D \left(\frac{SAf_T f^2}{f_T^2 + f^2} + \frac{Bf^2}{f_T}\right)\right] \quad (6) \end{aligned}$$

Koefisien atenuasi tidak berubah secara signifikan dengan perubahan nilai kedalaman yang kecil dan pada paper ini, pemodelan kanal dilakukan pada perairan dangkal. Sehingga pemodelan loss dengan rumus di atas bisa digunakan tanpa khawatir pada akurasi loss karena akurasi loss tidak signifikan.

2.2.3 Spherical Spreading

Apabila sumber diasumsikan bersifat *omnidirectional*, maka sumber akan memproduksi *spherical wavefront*. Intensitas energi pada setiap titik di sepanjang muka gelombang akan mengurangi kuadrat dari jarak yang ditempuh oleh gelombang (Teorema Gauss). Oleh karena itu, faktor loss pada tekanan amplitudo di *spherical spreading* sepanjang jalur D dapat dirumuskan sebagai berikut [1]:

$$L_{ss} = \sqrt{\frac{1}{D^2}} = \frac{1}{D} \quad (7)$$



Gambar 2. 2 Spherical Spreading

2.2.4 Pantulan Permukaan Laut

Impedansi yang tidak *match* antara air laut dan udara menyebabkan permukaan laut menjadi reflektor yang sangat baik. Jika permukaan laut tenang, pantulannya akan mendekati sempurna, namun terjadi pergeseran fase sebanyak π radian, sehingga diasumsikan bahwa koefisien refleksi adalah -1 . Sebaliknya, jika permukaan laut beriak, akan terjadi sedikit *loss* L_{SR} akibat permukaan.

2.2.5 Pantulan Dasar Laut

Impedansi yang tidak *match* antara air laut dan dasar laut menyebabkan dasar laut dapat menjadi reflektor. Diasumsikan p dan c adalah kerapatan dan kecepatan suara di air laut. Sedangkan p_1 dan c_1 adalah kerapatan dan kecepatan suara di dasar laut. Maka untuk dasar laut yang *soft* akan didapatkan koefisien refleksi Rayleigh sebagai berikut:

$$L_B(\theta) = \left| \frac{m \cos \theta - \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}}{m \cos \theta + \sqrt{n^2 - \sin^2 \theta}} \right| \quad (8)$$

Dimana,

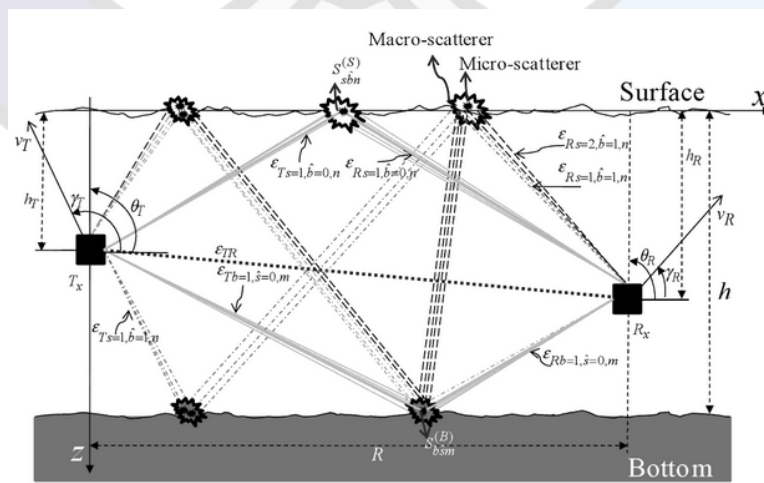
$$m = \frac{\rho_1}{\rho}, \quad n = \frac{c}{c_1}$$

Sudut kedatangan θ dapat dikomputasikan berdasarkan geometri dari gelombang Pekeris. Anggap sudut θ_{sb} berhubungan dengan jalur D_{sb} dan sudut θ'_{sb} berhubungan dengan jalur D'_{sb} dan didapatkan:

$$\theta_{sb} = \tan^{-1} \left(\frac{R}{2bh + d_1 - (-1)^{s-b} d_2} \right) \quad (9)$$

$$\theta'_{sb} = \tan^{-1} \left(\frac{R}{2bh - d_1 + (-1)^{b-s} d_2} \right) \quad (10)$$

Untuk dasar laut yang kasar dan mengabsorpsi, terdapat tambahan *loss* pantulan. Pemodelan loss ini dilakukan dengan membiarkan beberapa tambahan faktor loss konstan dari L_{BR} per interaksi dasar laut.



Gambar 2. 3 Pantulan oleh permukaan dan dasar laut

2.3 Variasi Waktu

Dari persamaan jarak propagasi yang telah didapatkan, bisa dicari persamaan waktu untuk masing-masing tipe propagasi (lurus atau yang terpantul). Diketahui bahwa waktu adalah perbandingan antara jarak dan kecepatan. Sehingga didapatkan waktu propagasi gelombang akustik untuk jalur yang lurus adalah sebagai berikut:

$$t_{00} = \frac{D_{00}}{c} \quad (11)$$

Sedangkan waktu propagasi gelombang akustik yang terpantul dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$t_{SB} = \frac{D_{SB}}{c} \quad (12)$$

Apabila ingin menghitung keterlambatan waktu propagasi, maka waktu kedatangan sinyal yang bervariasi direlasikan dengan waktu kedatangan sinyal yang memiliki kondisi lurus. Dengan demikian, jika τ_{SB} adalah keterlambatan waktu kedatangan dari jalur D_{sb} dan τ'_{SB} adalah keterlambatan waktu kedatangan dari jalur D'_{sb} , maka didapatkan:

$$t_{SB} = \frac{D_{SB}-D_{00}}{c} \quad (13)$$

$$t'_{SB} = \frac{D'_{SB}-D_{00}}{c} \quad (14)$$

2.4 Pemodelan Kanal

Dari parameter-parameter yang telah diuraikan di atas, dapat dimodelkan suatu kanal untuk komunikasi akustik di bawah air. Jika $x(t)$ adalah sinyal yang ditransmisikan melewati kanal dan $y(t)$ adalah sinyal diterima, maka dapat dituliskan $y(t)$ dan $x(t)$ sebagai [1]:

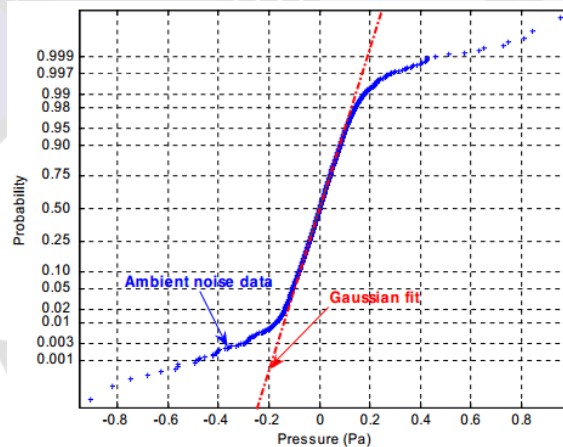
$$\begin{aligned} y(t) = & A_{00}(t)L_S(D_{00})L_A(D_{00})x(t) + \\ & \sum_{s=1}^{\infty} \sum_{b=s-1}^s A_{SB}(t)L_{SS}(D_{SB})L_A(D_{SB})(-L_{SR})^s L_{BR}^B L_B(\theta'_{SB})^B x(t - \tau_{SB} + j_{SB}(t)) + \\ & \sum_{s=1}^{\infty} \sum_{b=s-1}^s A'_{SB}(t)L_{SS}(D'_{SB})L_A(D'_{SB})(-L_{SR})^s L_{BR}^B L_B(\theta'_{SB})^B x(t - \tau'_{SB} + j'_{SB}(t)) + n(t) \end{aligned} \quad (15)$$

Dimana A_{SB} dan A'_{SB} dimodelkan sebagai proses Rayleigh independent dengan rata-rata satuan dan autokorelasi eksponensial yang ditentukan oleh penyebaran Doppler W_D atau waktu koheren kanal τ_c . Proses ini merepresentasikan fading dari jalur eigen individu. Sedangkan variabel j_{SB} dan j'_{SB} adalah random variable yang menotasikan jitter, dimodelkan dengan proses Gaussian dengan rata-rata nol, autokorelasi eksponensial yang ditentukan oleh posisi transduser waktu koherensi τ_d , dan variansi sebagai berikut:

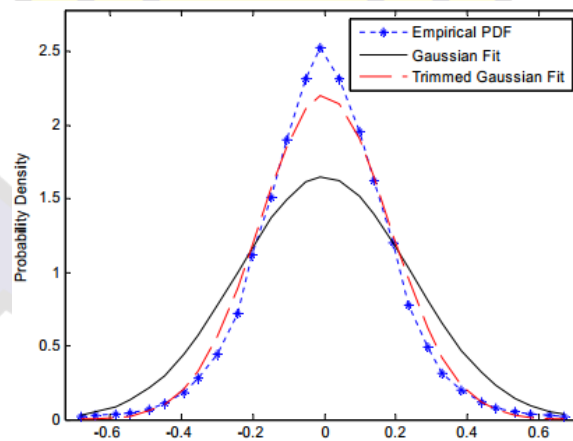
$$\sigma_{SB}^2 = \sigma^2(\tau_{SB}) = \frac{4\sigma_d^2}{R^2 c^2} [2b^2 h^2 + (b-s)(d_1^2 + d_2^2 - 2bhd_1 - 2bhd_2)] \quad (16)$$

3. Ambient Noise

Salah satu kunci yang membedakan kanal akustik di bawah air dengan kanal lainnya adalah adanya *ambient noise*. *Ambient noise* adalah suara lain selain suara yang dipantau. Contoh dari objek yang menghasilkan *ambient noise* adalah gelombang, lalu lintas suara, alarm, orang-orang berbicara, suara bioakustika dari hewan atau burung dan kebisingan mekanik dari perangkat seperti lemari es atau pendingin udara, pasokan listrik atau motor. Pada penelitian [1], probabilitas normal dari *ambient noise* ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut ini:



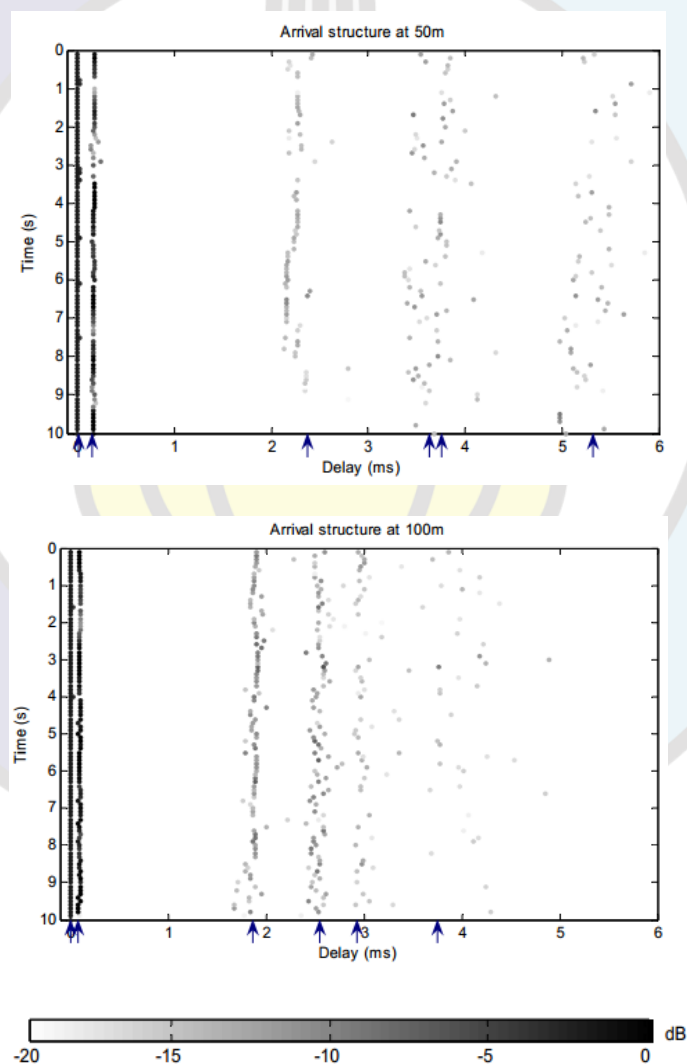
Gambar 3. 1 Probabilitas normal dari tekanan akustik *ambient noise*



Gambar 3. 2 Gaussian yang cocok untuk probabilitas kepadatan *ambient noise*

4. Analisis Hasil Penghitungan Kanal

Pada bab ini akan diuraikan analisis terhadap pengaruh parameter satu dengan lainnya pada kanal AUC yang pengaturannya mengacu pada penelitian [1]. Gambar 3.1 menunjukkan variabilitas waktu dari struktur multipath pada jarak transmisi 100 dan kedalaman 50 m dan 100 m. Waktu transmisi ditampilkan pada koordinat y, delay ditunjukkan dengan koordinat x, dan warna gelap merepresentasikan kuat sinyal yang datang. Dengan menggunakan model ray, sinyal yang datang dengan kondisi *direct* maupun sinyal yang datang akibat pantulan, dapat dibedakan dengan jelas.



Gambar 3. 3 Struktur multipath *arrival* untuk jarak transmisi 100 m pada kedalaman 50 m dan 100 m

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa pada jarak transmisi 50m kedatangan dari sinyal *direct* dan sinyal yang dipantulkan terlihat jelas. Kedatangan sinyal yang dipantulkan oleh permukaan menunjukkan variabilitas waktu yang kecil. Kedatangan langsung dan sinyal yang dipantulkan permukaan diikuti oleh pantulan sekunder dengan amplitudo yang lebih rendah dan banyak fading. Sedangkan kedatangan pantulan oleh permukaan bawah laut sekitar 2.2 ms setelah sinyal *direct*. Hal ini menunjukkan bahwa pada kedatangan pantulan bawah laut memiliki variasi waktu yang perlu dipertimbangkan.

Di bawah ini ditunjukkan plot tiga dimensi yang menggambarkan hubungan frekuensi, kedalaman, dan koefisien absorpsi. Berdasarkan hasil plot tersebut, dapat diketahui bahwa semakin tinggi frekuensi yang digunakan atau semakin besar nilai kedalaman air maka nilai koefisien absorpsinya semakin tinggi.

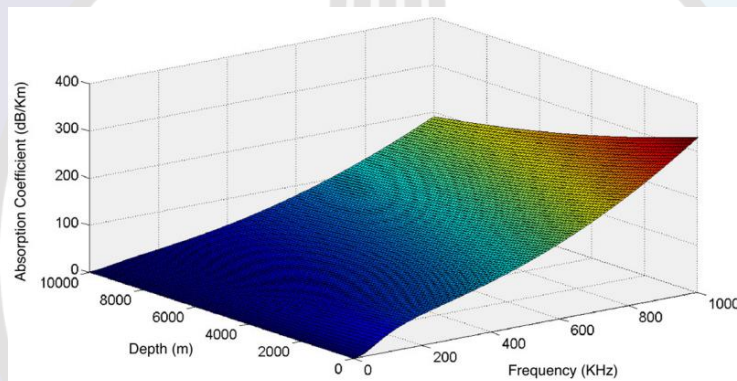
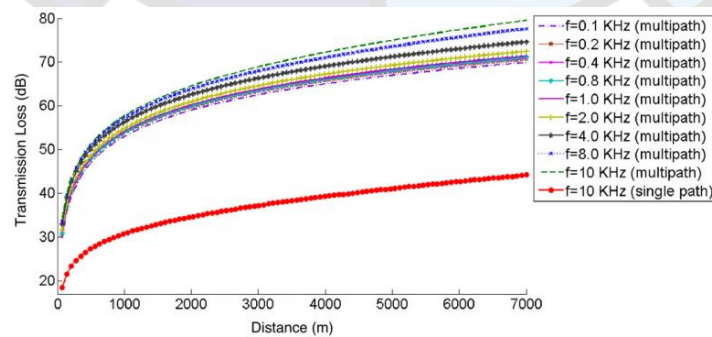


Fig. 1. Absorption coefficient as a function of operating frequency and depth.

Gambar 3. 4 Koefisien absorpsi sebagai fungsi dari frekuensi dan kedalaman [4]

Untuk total transmisi, didapatkan hasil seperti pada Gambar 3.2. Pada gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa total loss transmisi berbanding lurus dengan jarak transmisi. Semakin besar jarak transmisi maka semakin besar pula loss transmisi yang terjadi.

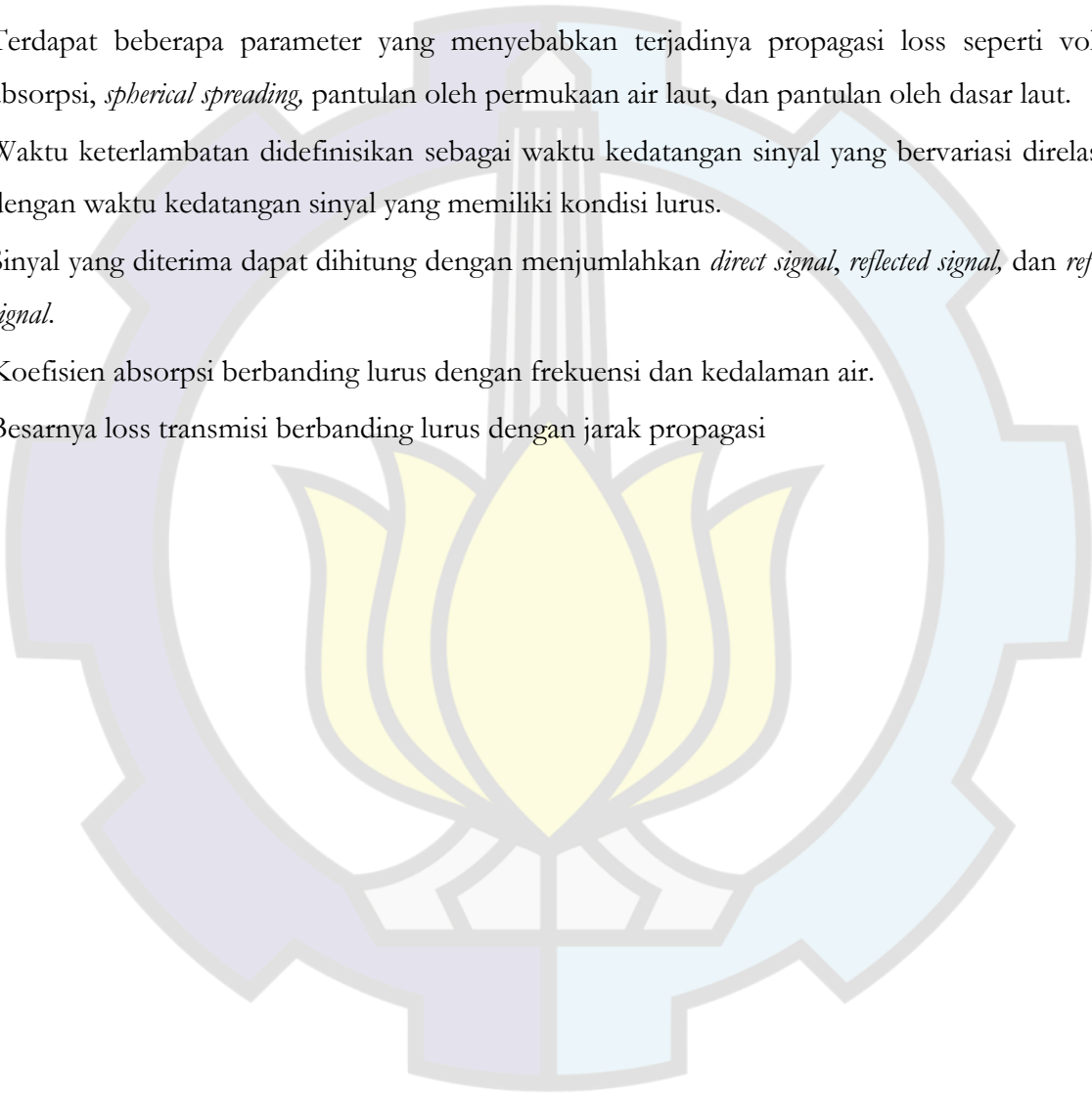


Gambar 3. 5 Loss transmisi pada *shallow water* sebagai fungsi dari jarak

5. Ringkasan

Dari beberapa teori yang telah dijabarkan dapat diambil ringkasan sebagai berikut:

- Pemodelan kanal AUC dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa faktor, yaitu kecepatan rambat sinyal di air, temperatur, kedalaman, kondisi propagasi (LOS atau NLOS) dan salinitas air.
- Terdapat beberapa parameter yang menyebabkan terjadinya propagasi loss seperti volume absorpsi, *spherical spreading*, pantulan oleh permukaan air laut, dan pantulan oleh dasar laut.
- Waktu keterlambatan didefinisikan sebagai waktu kedatangan sinyal yang bervariasi direlasikan dengan waktu kedatangan sinyal yang memiliki kondisi lurus.
- Sinyal yang diterima dapat dihitung dengan menjumlahkan *direct signal*, *reflected signal*, dan *refracted signal*.
- Koefisien absorpsi berbanding lurus dengan frekuensi dan kedalaman air.
- Besarnya loss transmisi berbanding lurus dengan jarak propagasi



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chitre, Mandar., (2006) *Underwater Acoustic Communications in Warm Shallow Water Channels*, PhD Thesis, Electrical & Computer Engineering National University Of Singapore, Singapore.
- [2] Domingo, Carmen Meri. (2008) *Overview of Channel Models for Underwater Wireless Communication Networks*. School of Electrical and Computer Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, United States.
- [3] Nofriansyah, Taufani Rizal, (2013) *Pemodelan Kanal Komunikasi Akustik pada Perairan Dangkal*, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- [4] Diamant, Roece *et al.* 2014. "LOS and NLOS Classification for Underwater Acoustic Localization", IEEE Transaction on Mobile Computing, vol.13, no.2.
- [5] Yuan, Zhuqing *et al*, (2016) *An Experiment-Based Time-Varying Underwater Acoustic Communication Channel Model Regarding Bottom Scattering*, Key Laboratory of Information Technology for Autonomous Underwater Vehicles, University of Chinese Academy of Sciences, China

