

Analisis Perkiraan TDOA menggunakan Algoritma LMS Adaptif pada Pelacakan Paus Lodan

Andriyan Permana^{*1}, Agfianto Eko Putra², Catur Atmaji³

¹Prodi Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM

^{2,3}Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM

e-mail: ^{*1}andriyanpermana@gmail.com, ²agfi68@gmail.com, ³catur_atmaji@yahoo.com

Abstrak

Penelitian mengenai perkiraan TDOA dalam pelacakan paus lodan telah dilakukan [1] yang menggunakan Teager-Kaiser operator dalam peningkatan akurasi perkiraan nilai TDOA untuk pelacakan paus lodan menggunakan algoritma LMS adaptif. Namun demikian, belum dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai faktor konvergensi (μ) yang tepat (cepat dan akurat) pada perkiraan TDOA menggunakan algoritma LMS adaptif untuk pelacakan paus lodan. Akan dilakukan analisis perkiraan nilai TDOA menggunakan algoritma LMS adaptif pada pelacakan posisi paus lodan dengan variasi nilai μ . Pada penelitian ini, sebagai acuan untuk menentukan nilai μ yang tepat, digunakan hasil pelacakan paus pada penelitian [2].

Perkiraan TDOA menggunakan algoritma LMS Adaptif pertama kali dipublikasikan oleh Benesty [3]. Pendekatan yang dilakukan berdasarkan pada perkiraan tanggap impulsional dari sumber ke penerima. Pada algoritma LMS adaptif dilakukan pembaruan nilai koefisien dengan μ sebagai langkah adaptasi. Nilai TDOA diperoleh dari selisih jarak dua tanggap impulsional.

Dari hasil penelitian diperoleh hasil bahwa perubahan nilai μ mempengaruhi kecepatan perkiraan TDOA menggunakan algoritma LMS adaptif. Akan tetapi, nilai μ yang tidak tepat mengakibatkan hasil pelacakan paus tidak akurat. Dari penelitian ini diperoleh nilai μ terbaik untuk perkiraan TDOA menggunakan algoritma LMS adaptif pada pelacakan posisi paus lodan adalah 0.01.

Kata kunci— perkiraan TDOA, LMS adaptif, faktor konvergensi, pelacakan paus lodan

Abstract

Research on TDOA estimation in sperm whale tracking has been done [1] that uses the Teager - Kaiser operator in improving accuracy the TDOA estimation using adaptive LMS algorithm on sperm whale tracking. However, further researches on the right convergence factor (μ) (fast and accurate) in TDOA estimation using adaptive LMS algorithms for sperm whale tracking have not been performed. Will be analyzed the TDOA estimation using adaptive LMS algorithm in sperm whale tracking with the variation of μ . As a reference to determine the right value of μ , the results of sperm whale tracking [2] is used.

TDOA estimation using Adaptive LMS algorithm was first published by Benesty [3]. The approach taken is based on estimation of the impulse responses from source to receivers. In the adaptive LMS algorithm function updates the coefficient with μ as adaptation step. TDOA values obtained from the difference between the two impulse responses.

From the results, values changing of μ affect the speed of TDOA estimation using the LMS adaptive algorithm. However, the wrong value of μ is lead to inaccurate sperm whale tracking results. The best value of μ for TDOA estimation using the LMS adaptive algorithm for sperm whale tracking is 0.01.

Keywords— TDOA estimation, adaptive LMS, convergence factor, sperm whale tracking

1. PENDAHULUAN

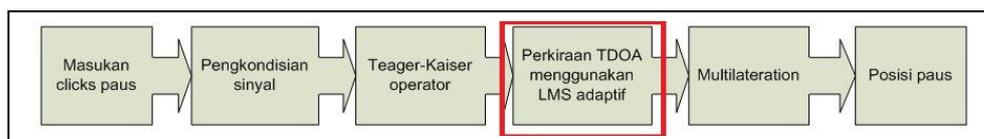
Penelitian mengenai perkiraan TDOA dalam pelacakan paus lodan telah dilakukan [1], yang menggunakan *Teager-Kaiser operator* dalam peningkatan akurasi perkiraan nilai TDOA untuk pelacakan paus lodan baik menggunakan algoritma *generalized cross-correlation* maupun LMS adaptif. Namun demikian, belum dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai faktor konvergensi (μ) yang tepat (cepat dan akurat) pada perkiraan TDOA menggunakan algoritma LMS adaptif untuk pelacakan paus lodan. μ merupakan faktor konvergensi dalam algoritma LMS, semakin tinggi nilai μ , semakin cepat algoritma LMS mendapatkan solusi optimal.

Pada penelitian ini, sebagai acuan untuk menentukan nilai μ yang tepat, digunakan hasil pelacakan paus [2]. Semakin mirip hasil pelacakan dan semakin cepat nilai TDOA diperoleh pada suatu nilai μ maka nilai μ tersebut merupakan nilai μ yang tepat.

Oleh karena itu, akan dilakukan analisis perkiraan nilai TDOA menggunakan algoritma LMS adaptif pada pelacakan posisi paus lodan dengan variasi nilai μ . Fokus penelitian ini bukan terletak pada perbaikan hasil pelacakan, namun terletak pada analisis proses penentuan nilai μ pada perkiraan TDOA menggunakan algoritma LMS adaptif. Fokus penelitian ini bukan terletak pada perbaikan hasil pelacakan, namun terletak pada analisis proses penentuan nilai μ pada perkiraan TDOA menggunakan algoritma LMS adaptif.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Analisa dan Arsitektur



Gambar 1 Diagram blok pelacakan paus Lodan

Sistem pelacakan paus lodan yang dikembangkan [2], yang ditunjukkan Gambar 1 diawali dengan melakukan pengkondisian sinyal sebelum diolah menggunakan *Teager-Kaiser operator*. *Teager-Kaiser operator* berfungsi meningkatkan SNR dari sinyal, dan dari penelitian sebelumnya *Teager-Kaiser operator* mampu mendeteksi *clicks* dari paus lodan serta meningkatkan akurasi perkiraan TDOA. Sinyal hasil olahan *Teager-Kaiser operator* kemudian dijadikan acuan dalam melakukan perkiraan TDOA menggunakan algoritma LMS adaptif. Algoritma *multilateration* menggunakan nilai TDOA hasil perkiraan dan posisi *hydrophone* yang sudah diketahui sebelumnya untuk menggambarkan posisi paus lodan dalam peta 2D.

Tujuan dilakukan analisis perkiraan TDOA menggunakan LMS adaptif adalah untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai μ pada waktu perkiraan dan hasil pelacakan paus lodan sehingga didapat nilai μ yang tepat (cepat dan akurat). Pada penelitian ini juga diimplementasikan algoritma NLMS (*Normalized Least Mean Square*) untuk melakukan perkiraan TDOA. Nilai maksimal TDOA juga akan dianalisis pengaruhnya terhadap waktu perkiraan TDOA.

Untuk analisis hasil, dilakukan perbandingan waktu perkiraan untuk masing-masing nilai μ dan hasil pelacakan paus untuk masing-masing nilai μ dengan hasil pelacakan paus [2].

2.2 Metode

2.2.1 Teager-Kaiser Operator

Teager-Kaiser operator dalam domain kontinu ditunjukkan pada persamaan (1).

$$TK [x(t)] = \dot{x}(t)^2 - x(t) \ddot{x}(t) \quad (1)$$

Dari penelitian Kaiser [4] diperoleh persamaan *Teager-Kaiser operator* pada domain diskrit yang ditunjukkan pada persamaan (2).

$$TK [x(n)] = x^2(n) - x(n+1)x(n-1) \quad (2)$$

Pada sinyal-sinyal impulsif yang tercampur dengan *noise*, *Teager-Kaiser operator* memiliki karakteristik yang menarik yakni mampu mengabaikan frekuensi interferensi rendah dan meningkatkan *Signal To Noise Ratio* (SNR)[5].

2.2.2 Perkiraan TDOA menggunakan LMS Adaptif

Benesty [3] menggunakan algoritma *Least Mean Square* (LMS) untuk melakukan perkiraan nilai TDOA. Pendekatan yang dilakukan berdasarkan pada perkiraan tanggap impulsional dari sumber ke penerima.

Pemodelan sistem penerimaan bunyi *clicks* pada *hydrophone* ditunjukkan dengan persamaan (3).

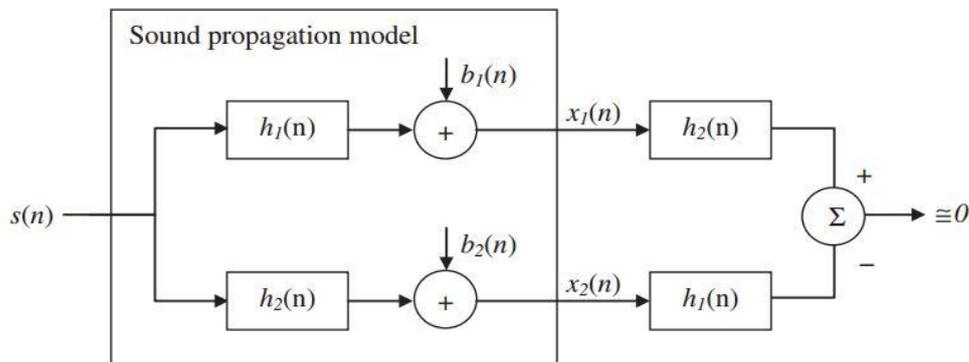
$$x_i(n) = h_i * s(n) + b_i(n) \quad (3)$$

Dimana * menunjukkan konvolusi, dan h_i merupakan tanggap impulsional antara sumber bunyi (paus) $s(n)$ dengan *hydrophone* ke- i dan $b_i(n)$ adalah *noise* yang diterima oleh *hydrophone*.

Jika *noise* pada persamaan 3 diabaikan maka diperoleh persamaan (4) :

$$x_1(n) * h_2(n) = x_2(n) * h_1(n) \quad (4)$$

Gambar 2 menunjukkan pemodelan sistem yang digunakan untuk melakukan perkiraan TDOA menggunakan algoritma LMS adaptif.



Gambar 2 Pemodelan sistem [2]

Gambar 2 dapat dijelaskan sebagai berikut. *Clicks* dari paus ($s(n)$) merambat ke *hydrophone* 1 melalui medium air dengan fungsi $h_1(n)$ dan ke *hydrophone* 2 dengan fungsi $h_2(n)$. Hasil konvolusi $s(n)$ dengan $h(n)$ ditambah dengan *noise* $b(n)$ menghasilkan sinyal yang ditangkap oleh *hydrophone* $x_1(n)$ dan $x_2(n)$. Fungsi $h_1(n)$ dan $h_2(n)$ akan coba ditiru untuk kemudian memperkirakan TDOA dengan cara dibalik pengaplikasiannya, $h_1(n)$ diaplikasikan pada $x_2(n)$, sedangkan $h_2(n)$ diaplikasikan pada $x_1(n)$. Harapannya nilai $s(n) * h_1(n) * h_2(n)$ sama dengan $s(n) * h_2(n) * h_1(n)$.

Matriks kovarian dari $x(n)$ ditunjukkan melalui persamaan (5).

$$R_{xx} = \begin{bmatrix} Rx1x1 & Rx1x2 \\ Rx2x1 & Rx2x2 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

sehingga diperoleh persamaan (6) :

$$Ru = 0 \text{ dimana } u = \begin{bmatrix} h_2 \\ -h_1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Pada kenyataannya memperkirakan h_1 dan h_2 tidak semudah yang dibayangkan, dikarenakan adanya *noise* dari air. Oleh karena itu [3], mengajukan ide untuk perkiraan h_1 dan h_2 (u) adaptif berdasarkan prinsip LMS, tujuannya adalah mencari fungsi $e(n)$, sehingga nilai MSE (*mean square error*) minimal dan gradien MSE nya memiliki hubungan dengan u . Fungsi $e(n)$ yang memenuhi adalah $e(n) = u^T x$.

Persamaan untuk menentukan nilai u (koefisien) berikutnya ditunjukkan melalui persamaan (7).

$$u(n+1) = \frac{u(n) - \mu x(n)e(n)}{\|u(n) - \mu x(n)e(n)\|} \quad (7)$$

μ adalah langkah adaptasi untuk mendapat nilai u berikutnya. Setelah nilai u diperoleh dapat diperkirakan TDOA. Untuk memperkirakan nilai TDOA, dilakukan inisialisasi terhadap nilai h_2 menggunakan pulsa *Dirac* tunggal, perkiraan dari h_1 akan diperoleh. TDOA dapat dihitung sebagai selisih waktu antar puncak (h_1 dan h_2) untuk tanggap impulsional masing-masing.

2.2.3 Multilateration

Jika diketahui posisi *hydrophone* dan nilai TDOA, kemungkinan posisi paus bisa diperoleh. Waktu yang diperlukan sebuah *click* untuk mencapai *hydrophone* ditunjukkan melalui persamaan (8).

$$\tau_i = \frac{1}{v} (\sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2}) \quad (8)$$

Multilateration dapat digunakan untuk menentukan posisi paus berdasarkan posisi 2 *hydrophone* dan nilai TDOA. Hiperbola dibentuk dengan kedua *hydrophone* sebagai fokus dan $v * TDOA/2$ sebagai sumbu semi mayor.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pengaruh Perubahan Nilai μ terhadap waktu perkiraan dan hasil pelacakan

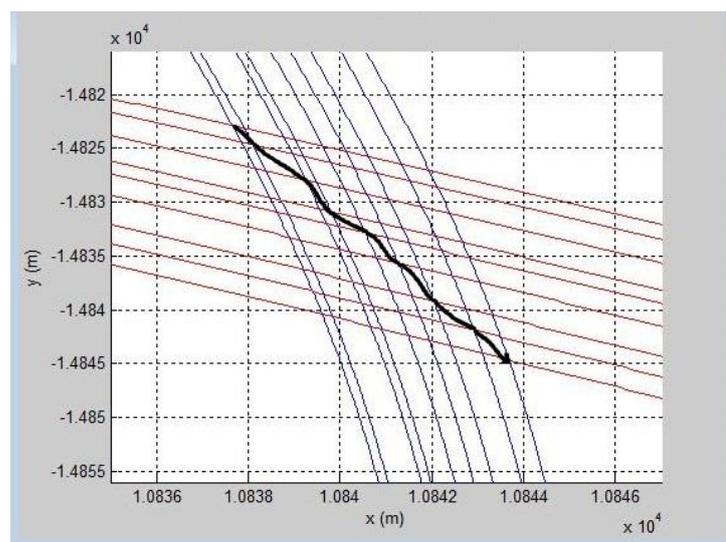
Untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai μ terhadap waktu perkiraan TDOA dilakukan variasi nilai μ untuk kemudian dibandingkan waktu yang diperlukan algoritma LMS adaptif untuk memperoleh hasil perkiraan TDOA dari masing-masing nilai μ . Dari hasil penelitian, ditemukan waktu perkiraan TDOA tidak berubah secara signifikan ketika nilai μ divariasikan baik saat nilai μ 0.001, 0.01, 0.1, maupun 0.9. Pada komputer yang digunakan dengan MATLAB, waktu yang diperlukan algoritma LMS adaptif untuk melakukan perkiraan seluruh TDOA 1-2 dan 2-3 sekitar 17.5 detik seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa dengan nilai μ semakin besar, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perkiraan TDOA juga semakin cepat.

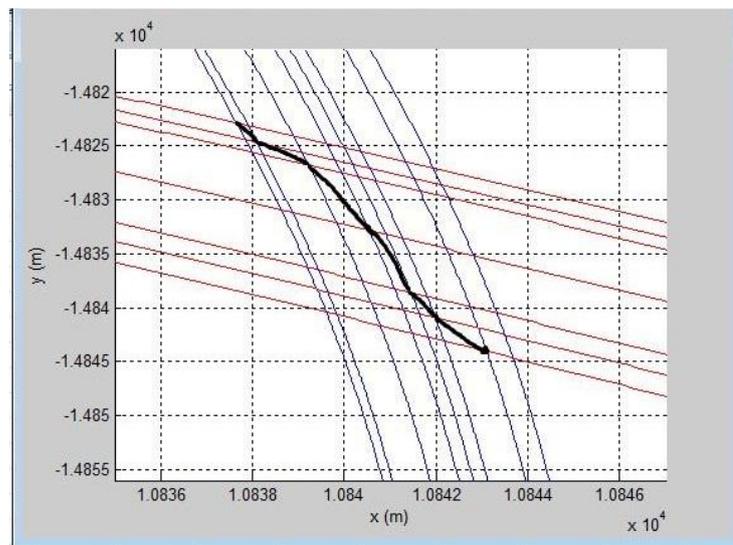
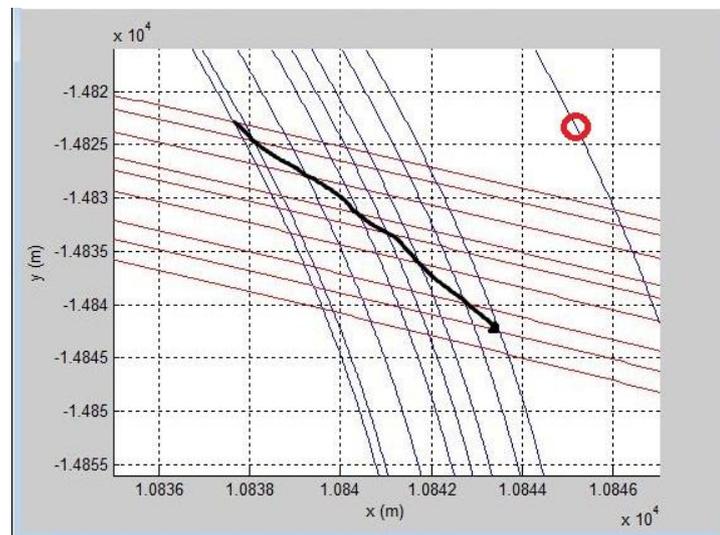
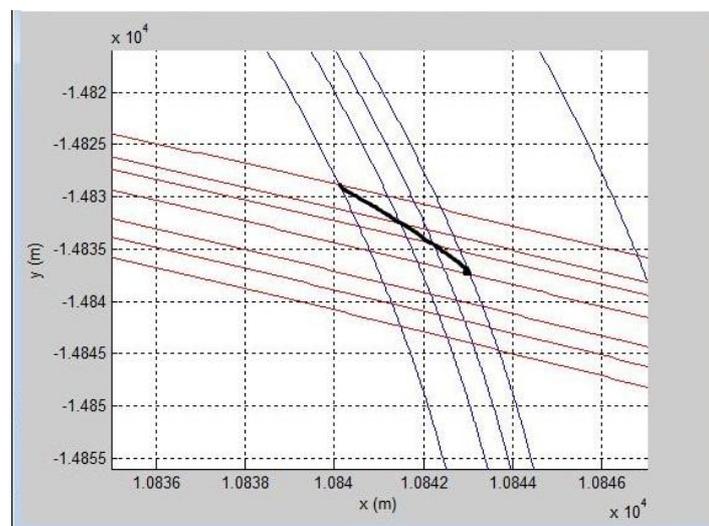
Dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 1 dapat disimpulkan bahwa perubahan nilai μ mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk perkiraan TDOA. Nilai μ semakin tinggi, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan perkiraan TDOA juga semakin cepat, meskipun tidak signifikan (sekitar 0.07 detik). Hal ini sesuai dengan teori, bahwa ketika nilai μ naik maka perkiraan TDOA semakin cepat, sedangkan ketika nilai μ turun, perkiraan TDOA semakin lambat. Perbedaan yang tidak signifikan ini terjadi karena dari perkiraan TDOA yang dilakukan adalah perkiraan u , dimana jumlah u dalam setiap perkiraan sama yakni 2 kali \max_tdoa , jika \max_tdoa dipilih 600 maka jumlah u yang diperkirakan 1200, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk memperkirakan TDOA 1-2 dan 2-3 dari masing-masing nilai μ hampir sama.

Tabel 1 Rata-rata waktu perkiraan TDOA dan nilai TDOA

	μ			
	0.01	0.001	0.1	0.9
Waktu (detik)	17.52	17.51	17.46	17.45
TDOA 1-2 (detik)	2.3293	2.3295	2.3293	2.3135
	2.3284	2.3293	2.3284	2.2864
	2.3281	2.3283	2.3209	2.3264
	2.3275	2.3275	2.3275	2.3509
	2.3270	2.3271	2.3270	2.3205
	2.3265	2.3268	2.3265	2.3275
	2.3258	2.3258	2.3258	2.3258
	2.3251	2.3251	2.3251	2.3251
2.3249	2.3251	2.3249	2.3275	
RMSE (detik)	acuan	0.0003	0.0024	0.0170
TDOA 2-3 (detik)	-2.1831	-2.1831	-2.1831	-2.1455
	-2.1851	-2.1841	-2.1851	-2.1852
	-2.1874	-2.1841	-2.1874	-2.1874
	-2.1885	-2.1885	-2.1885	-2.1885
	-2.1904	-2.1885	-2.1904	-2.1904
	-2.1929	-2.1929	-2.1929	-2.1929
	-2.1945	-2.1945	-2.1945	-2.1945
	-2.1963	-2.1963	-2.1963	-2.1963
-2.1981	-2.1980	-2.1981	-2.1981	
RMSE (detik)	acuan	0.0013	0.0000	0.0125

Untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai μ terhadap hasil pelacakan paus dilakukan variasi nilai μ untuk kemudian dibandingkan hasil pelacakan yang diperoleh dari masing-masing nilai μ dengan hasil penelitian [2]. Dari hasil penelitian, ditemukan hasil yang berbeda-beda ketika nilai μ divariasi baik saat nilai μ 0.001, 0.01, 0.1, maupun 0.9. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 3 hingga 6.

Gambar 3 Hasil pelacakan dengan nilai μ 0.01

Gambar 4 Hasil pelacakan dengan nilai μ 0.001Gambar 5 Hasil pelacakan dengan nilai μ 0.1Gambar 6 Hasil pelacakan dengan nilai μ 0.9

Dari hasil pelacakan dengan masing-masing nilai μ di atas dapat dilihat bahwa diperoleh hasil yang berbeda-beda untuk masing-masing nilai μ . Untuk nilai μ 0,01 (sama dengan penelitian [2]) diperoleh hasil yang sama dengan penelitian. Untuk nilai μ 0.001, 0.1, 0.9 diperoleh hasil yang bervariasi.

Hal ini terjadi karena perbedaan nilai TDOA hasil perkiraan untuk masing-masing nilai μ . Perbedaan ini dapat dilihat pada Tabel 1. Satu hasil pelacakan terdiri dari kumpulan hiperbola warna biru yang berpotongan dengan kumpulan hiperbola warna merah. Kumpulan hiperbola warna biru merupakan hasil dari algoritma *multilateration* pada TDOA 1-2, dimana 1 nilai TDOA 1-2 pada Tabel 1 mewakili satu hiperbola pada Gambar 3. Kumpulan hiperbola warna merah merupakan hasil dari algoritma *multilateration* pada TDOA 2-3, dimana 1 nilai TDOA 2-3 pada Tabel 1 mewakili satu hiperbola pada Gambar 3.

Dari Tabel 1 dapat dilihat nilai TDOA 1-2 dan 2-3 hasil penelitian sebelumnya ($\mu = 0.01$) memiliki pola menurun teratur, sedangkan nilai TDOA hasil variasi nilai μ terdapat beberapa nilai TDOA tertentu yang menurun namun keluar dari pola (tidak konvergen). Pada nilai μ 0.001 terdapat beberapa nilai yang sama dengan hasil penelitian [2] namun terduplikasi, sehingga jumlah hiperbola yang terlihat pada Gambar 4 hanya 8 hiperbola untuk TDOA 1-2 dan 7 hiperbola untuk TDOA 2-3.

Pada nilai μ 0.1 untuk TDOA 2-3 diperoleh hasil yang sama dengan hasil penelitian sebelumnya ($\mu = 0.01$), sedangkan pada TDOA 1-2 terdapat 1 nilai yang berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya, sehingga pada Gambar 5 terdapat satu hiperbola biru yang keluar dari pola (diberi lingkaran merah). Pada nilai μ 0.9 nilai TDOA 1-2 hasil variasi sebagian besar berbeda dari penelitian sebelumnya, sedangkan nilai TDOA 2-3 hasil terdapat 2 nilai yang berbeda dari penelitian sebelumnya.

Dengan menjadikan nilai TDOA hasil μ 0.01 sebagai acuan dapat ditunjukkan nilai RMSE (root mean square error) dari nilai TDOA hasil variasi nilai μ , yang ditunjukkan pada Tabel 1. Pada Tabel 1 dapat ditunjukkan bahwa untuk nilai μ 0.9 hasil perkiraan TDOA nya berbeda jauh dengan acuan, hal ini ditunjukkan dengan nilai RMSE 0.0170 detik untuk TDOA 1-2 dan 0.0125 detik untuk TDOA 2-3. Nilai RMSE sebesar itu berpengaruh signifikan terhadap hasil. Dari hasil ini, tidak diperoleh nilai μ yang cepat dan akurat. Untuk waktu yang cepat digunakan nilai μ yang besar (0.1 hingga 0.9), sedangkan untuk hasil yang akurat digunakan nilai μ 0.01.

3.2 Implementasi algoritma NLMS untuk perkiraan TDOA

Pada penelitian mengenai pengaruh implementasi algoritma NLMS adaptif pada perkiraan TDOA diperoleh hasil yang berbeda dengan hasil penelitian [2]. Implementasi algoritma NLMS dilakukan pada perkiraan TDOA. Untuk analisis hasil, dilakukan variasi nilai μ pada implementasi NLMS untuk kemudian dianalisis nilai TDOA hasil variasi μ . Dari hasil penelitian, ditemukan hasil yang berbeda-beda ketika nilai μ divariasikan baik saat nilai μ 0.001, 0.01, 0.1, maupun 0.9. Jika dibandingkan dengan acuan (hasil penelitian [2]), pada implementasi algoritma NLMS dengan nilai μ 0.001 memiliki hasil yang mendekati hasil acuan dengan RMSE 0.0001 detik untuk TDOA 1-2 dan 0.0000 detik untuk TDOA 2-3. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Nilai TDOA NLMS

	μ NLMS				acuan
	0.01	0.001	0.1	0.9	
TDOA 1-2 (detik)	2.3429	2.3293	2.3295	2.3295	2.3293
	2.3286	2.3286	2.3495	2.3495	2.3284
	2.2883	2.3283	2.2883	2.288	2.3281
	2.3285	2.3275	2.3109	2.3166	2.3275
	2.3205	2.3271	2.3198	2.3484	2.3270
	2.3265	2.3265	2.3265	2.3265	2.3265
	2.3258	2.3258	2.3258	2.3561	2.3258
	2.3251	2.3251	2.3251	2.2854	2.3251
RMSE (detik)	2.3249	2.3249	2.3249	2.286	2.3249
TDOA 2-3 (detik)	-2.1831	-2.1831	-2.1871	-2.2075	-2.1831
	-2.1851	-2.1851	-2.1851	-2.1741	-2.1851
	-2.1874	-2.1874	-2.1874	-2.1874	-2.1874
	-2.1885	-2.1885	-2.1765	-2.162	-2.1885
	-2.1904	-2.1904	-2.1541	-2.1756	-2.1904
	-2.1929	-2.1929	-2.1929	-2.1929	-2.1929
	-2.1945	-2.1945	-2.1945	-2.1956	-2.1945
	-2.1963	-2.1963	-2.1963	-2.1981	-2.1963
RMSE (detik)	-2.1981	-2.198	-2.199	-2.1991	-2.1981
RMSE (detik)	0.0142	0.0001	0.0162	0.0272	
RMSE (detik)	0.0000	0.0000	0.0128	0.0135	

Dari Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa untuk implementasi algoritma NLMS nilai μ terbaiknya menjadi 0.001. Hal ini terjadi karena pada algoritma NLMS dilakukan pembagian untuk menormalisasi *power input* sehingga diperlukan nilai μ yang lebih kecil untuk dapat memperkirakan TDOA dengan baik dibandingkan dengan menggunakan algoritma LMS. Dari hasil ini dapat disimpulkan, implementasi algoritma NLMS pada perkiraan TDOA tidak memperbaiki hasil perkiraan TDOA, tetapi malah memperburuk hasil perkiraan TDOA dengan meningkatnya nilai RMSE untuk nilai μ 0.01, 0.1, maupun 0.9.

3.3 Pengaruh Perubahan Nilai *max_tdoa* terhadap waktu perkiraan TDOA

Untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai *max_tdoa* terhadap waktu perkiraan TDOA menggunakan LMS adaptif dilakukan variasi nilai *max_tdoa* untuk kemudian dibandingkan waktu yang diperlukan algoritma LMS adaptif untuk memperoleh hasil perkiraan dari masing-masing nilai *max_tdoa*. Pada pengujian ini nilai *max_tdoa* divariasikan dari 100 hingga 1000 dengan kenaikan 100, nilai μ yang digunakan 0.01 dan dilakukan pencuplikan ulang 6 kali (sama dengan penelitian sebelumnya). Dari hasil penelitian, ditemukan waktu perkiraan TDOA berbanding lurus dengan nilai *max_tdoa*. Semakin tinggi nilai *max_tdoa*, semakin lama waktu perkiraan TDOA seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Rata-rata waktu perkiraan TDOA max_tdoa

max_tdoa	rata-rata waktu (detik)
100	9
200	10
300	12
400	14
500	16
600	18
700	20
800	22
900	24
1000	26

Dengan hasil yang ditunjukkan pada Tabel 3 dapat dijelaskan bahwa perubahan nilai max_tdoa mempengaruhi waktu untuk perkiraan TDOA.

4. KESIMPULAN

- Perubahan nilai μ mempengaruhi kecepatan perkiraan TDOA menggunakan algoritma LMS adaptif.
- Nilai μ semakin tinggi, perkiraan TDOA semakin cepat, namun hasil pelacakan semakin tidak akurat.
- Nilai μ terbaik untuk melakukan perkiraan TDOA menggunakan algoritma LMS adaptif adalah 0.01.
- Nilai μ terbaik untuk melakukan perkiraan TDOA menggunakan algoritma NLMS adaptif adalah 0.001.

5. SARAN

Metode yang digunakan lebih variatif sehingga bisa diketahui metode terbaik untuk melakukan perkiraan TDOA untuk pelacakan paus lodan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kandia, V., Dutoit, T., Stylianou, Y., 2008, Improve the accuracy of TDOA measurement using the Teager-Kaiser Energy operator, *New Trends for Environmental Monitoring Using Passive Systems*, 1-6.
- [2] Kandia, V., Dutoit, T., Stylianou, Y., 2009, *How can marine biologists track sperm whales in the oceans?*, Dutoit, T., Marques, F., *Applied Signal Processing A MATLAB - Based Proof of Concept*, Springer Science+Business Media, New York.

- [3] Benesty, J., 2000, Adaptive eigenvalue decomposition algorithm for passive acoustic source localization, *Journal of the Acoustical Society of America*, 107(1), 384–391.
- [4] Kaiser, J.F., 1990, On a simple algorithm to calculate the “Energy” of a signal, *Proceedings of the IEEE ICASSP*, Albuquerque.
- [5] Kandia, V. dan Stylianou, Y., 2005, Detection of creak clicks of sperm whales in low SNR conditions, *CD Proceedings of the IEEE Oceans*, Brest.