

PENGHAPUSAN DERAU PADA SINYAL WICARA MENGGUNAKAN SISTEM DUA MIKROFON DENGAN ALGORITMA TRANSFORMASI KOSINUS DISKRIT *LEAST MEAN SQUARE*

NOISE CANCELLATION OF SPEECH SIGNAL USING DUAL MICROPHONE SYSTEM WITH DISCRETE COSINE TRANSFORM LEAST MEAN SQUARE ALGORITHM

Hasbiya Ghifari Alfarizi¹, Dr. Ir.Jangkung Raharjo, M.T.², Ir.Jaspar Hasudungan Manurung, M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹hasbighifarial@gmail.com, ²jkr@btp.or.id, ³jhmanurung@gmail.com

Abstrak

Proses penapisan pada derau sinyal merupakan hal yang penting dalam sistem komunikasi. Kualitas sinyal akan menurun ketika sinyal terganggu oleh derau. Ketika seseorang berkomunikasi menggunakan perangkat komunikasi dan pada saat bersamaan terdapat derau yang mengganggu maka kualitas sinyal wicara yang diterima tidak jelas. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem yang dapat mengurangi derau pada sinyal wicara yaitu menggunakan *dual microphone system* (DMS). DMS menggunakan skema filter adaptif yaitu sebuah filter yang karakteristiknya dapat mengadaptasi secara otomatis menurut algoritma tertentu. Penelitian pada Tugas Akhir ini menggunakan algoritma adaptif Discrete Cosine Transform Least Mean Square (DCTLMS). Algoritma DCTLMS merupakan salah satu pengembangan dari algoritma Least Mean Square (LMS) untuk meningkatkan konvergensi dan *signal to noise ratio* (SNR) dari algoritma LMS. Sistem penghapusan derau pada Tugas Akhir ini menghasilkan stepsize optimal di 0.2 . Selain itu, diperoleh MSE minimum sebesar 0.001383 serta SNR optimal sebesar 16.1906 dB.

Kata kunci : *DCTLMS, DMS, Adaptive Filter*

Abstract

The filtering process of noise signal is important in communication system. Speech signal quality will decrease when speech signal is corrupted by noise signal. When someone communicates using communication device and the same time there is noise that disturb then received speech signal is not clear. Therefore, a required system that can eliminate noise from speech signal is noise cancellation using dual microphone system (DMS). DMS using adaptive filter scheme whose characteristics can adapt or adjust automatically according to definite algorithm. The research on this final assignment using Discrete Cosine Transform Least Mean Square (DCTLMS) adaptive algorithm. DCTLMS algorithm is one of development of Least Mean Square Algorithm (LMS) to improve convergence time and signal to noise ratio (SNR) from LMS algorithm. This noise cancellation system obtains optimum stepsize value in 0.02. In addition, minimum MSE is 0.001383 and optimal SNR is 16.1906 dB.

Keywords: *DCTLMS, DMS, Adaptive Filter*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Pada sistem komunikasi, pencapaian akurasi kualitas sinyal wicara yang diterima merupakan hal yang penting dimana sinyal wicara yang diterima pada saat berkomunikasi terganggu oleh derau. Untuk mengatasi permasalahan derau pada sinyal wicara dibutuhkan sebuah sistem penghapusan derau pada sinyal wicara. Salah satu sistem yang dapat digunakan adalah DMS. DMS merupakan implementasi dari filter adaptif dimana karakteristiknya dapat mengadaptasi secara otomatis menurut algoritma tertentu.

Pada prakteknya, sinyal wicara yang disampaikan melalui perangkat komunikasi rentan terkena derau, terutama derau yang disebabkan oleh lingkungan sekitar seperti derau hujan, derau lalu lintas, derau perlintasan kereta api, dan derau lainnya yang mengganggu. Jika kondisi ini dibiarkan, maka kualitas sinyal wicara yang diterima akan menurun dan dapat menyebabkan salah persepsi pada penerima karena tidak jelasnya sinyal wicara yang diterima.

Pada penelitian [1][2] telah dilakukan implementasi *adaptif noise canceller* menggunakan algoritma LMS, penelitian [3] telah dilakukan *adaptif noise canceller* menggunakan algoritma SFTRLS dan penelitian [4]

telah dilakukan implementasi *adaptive echo canceller* pada ruangan tertutup. Pada Tugas Akhir ini dilakukan perancangan sistem penghapusan derau pada sinyal wicara menggunakan algoritma adaptif yang berbeda dari penelitian sebelumnya. Algoritma adaptif yang digunakan pada penelitian ini adalah Transformasi Kosinus Diskrit *Least Mean Square* (TKDLMS). Algoritma DCTLMS merupakan pengembangan dari algoritma LMS untuk meningkatkan waktu konvergensi dan SNR dari algoritma LMS. Algoritma TKDLMS memiliki waktu konvergensi dan SNR yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma LMS [5].

1.2 Tujuan Penelitian

1. Mendesain sebuah sistem penghapusan derau pada sinyal wicara akibat derau lingkungan sekitar.
2. Menganalisa performa algoritma adaptif TKDLMS pada simulasi sistem penghapusan derau.

1.3 Identifikasi Masalah

1. Bagaimana desain sistem penghapusan derau pada sinyal wicara yang dapat digunakan untuk menghilangkan derau akibat lingkungan sekitar?
2. Bagaimana performa algoritma adaptif TKDLMS pada simulasi sistem penghapusan derau?

1.4 Metode Penelitian

1. Metode Studi Kepustakaan

Penulis mencari dan menelaah jurnal dan literatur mengenai penghapusan derau, algoritma LMS dan TKDLMS, dan pengolahan sinyal digital.

2. Metode Perancangan Simulasi

Setelah mempelajari literatur yang dibutuhkan, penulis mencoba membuat function algoritma TKDLMS dan LMS pada MATLAB lalu disimulasikan menggunakan GUI.

3. Metode Pengujian Sistem

Penulis menguji sistem penghapusan derau pada GUI dengan menggunakan parameter algoritma adaptif dan mencoba menyelesaikan permasalahan yang muncul ketika proses simulasi.

4. Metode Pengukuran Analisis

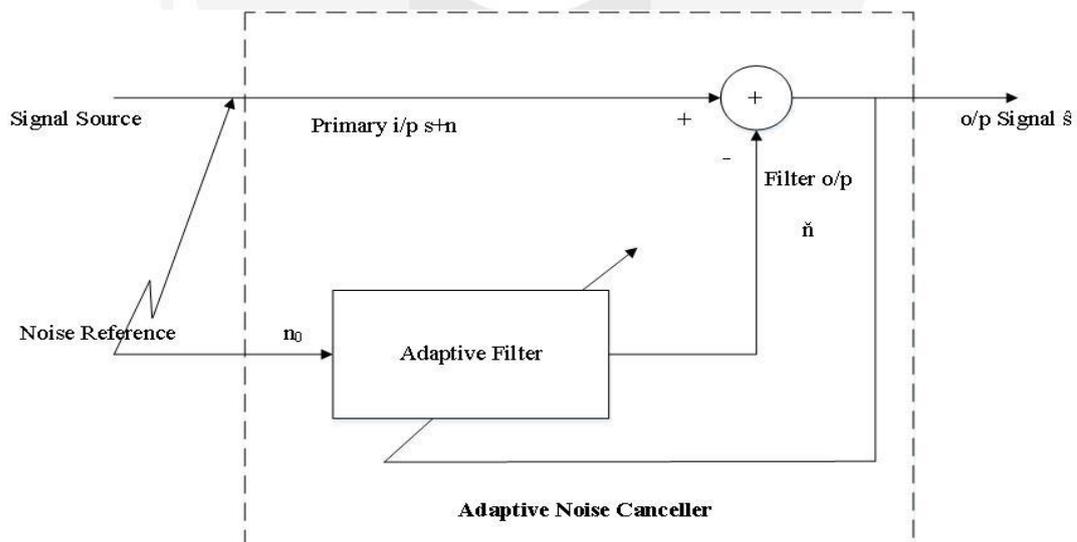
Setelah dilakukan pengujian dan dapat diyakinkan bahwa penghapusan bekerja, maka tahap selanjutnya adalah melakukan pengukuran data hasil uji dan melakukan analisa terhadap hasil tersebut dengan mempertimbangkan dparameter Objektif yaitu SNR, MSE minimum dan waktu konvergensi.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Penghapusan Derau^[6]

Penghapusan derau atau bisa disebut juga *adaptive noise canceller* merupakan sistem yang dikembangkan untuk kebutuhan peredaman noise. Pada tahun 1959, Widrow dari Stanford University mengembangkan sebuah algoritma adaptif Least Mean Square untuk keperluan noise cancellation

ANC menggunakan metode dual microphone system (DMS) yaitu satu mikrofon sebagai masukan sinyal wicara yang bercampur dengan derau dan satu mikrofon lainnya sebagai masukan derau referensi yang berkorelasi dengan derau pada mikrofon pertama.



Gambar 2.1 Adaptive Noise Canceller

2.2 Filter Dijital

Filter digital adalah blok dasar dari setiap pengolahan sinyal digital yaitu memisahkan bagian-bagian yang tidak diinginkan dari suatu sinyal dengan cara meredam atau melewati frekuensi tertentu [3]. filter digital

memiliki beberapa keunggulan dibandingkan filter analog, yaitu [3] [7] :

1. Performansi filter digital relatif tidak berubah dengan perubahan lingkungan seperti variasi temperatur.
2. Respon frekuensi dapat otomatis disesuaikan jika diimplementasikan menggunakan prosesor terprogram.
3. Fleksibel ketika ingin mengganti jenis filter.
4. Mudah dikembangkan ke filter adaptif.

2.2.1 Filter Respon Impuls Tak terbatas

Filter respon impuls tak terbatas atau IIR memiliki feedback pada keluaran sebelumnya dan termasuk dalam pemodelan pole-zero [7]. Komponen feedback pada keluaran sebelumnya menyebabkan filter IIR membutuhkan orde yang kecil dibandingkan dengan filter FIR untuk spesifikasi yang sama [7]. Persamaan perbedaan filter IIR dinyatakan dengan persamaan :

$$y(n) = -\sum_{k=0}^M b_k y(n-k) + \sum_{k=0}^N a_k x(n-k) \quad (2.3)$$

Dalam realisasinya, filter IIR dapat direalisasikan strukturnya secara cascade dan paralel. Persamaan alih atau fungsi transfer dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^M a_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^N b_k z^{-k}} \quad (2.4)$$

Dari fungsi transfer tersebut dapat dikatakan bahwa filter IIR merupakan pemodelan *pole-zero* atau *Auto Regressive Moving Average* (ARMA).

2.2.2 Filter Respon Impuls Terbatas

Filter respon impuls terbatas atau FIR diperoleh dari masukan pada feedforward sebelumnya dan termasuk dalam pemodelan all zero [7]. Komponen feedforward pada masukan sebelumnya menyebabkan filter FIR membutuhkan orde yang lebih banyak dibandingkan dengan filter IIR untuk spesifikasi yang sama [7]. Persamaan perbedaan filter FIR dinyatakan dengan persamaan:

$$y(n) = \sum_{k=0}^M a_k x(n-k) \quad (2.1)$$

Dalam realisasinya, filter FIR dapat direalisasikan strukturnya secara transversal atau Tapped delay line filter. Persamaan alih atau fungsi transfer dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \sum_{k=0}^M b_k z^{-k} \quad (2.2)$$

Dari fungsi transfer tersebut dapat dikatakan bahwa filter FIR merupakan pemodelan *all-zero* atau *Moving Average* (MA).

2.3 Filter Adaptif

Filter adaptif merupakan filter yang karakteristiknya dapat mengadaptasi secara otomatis menurut suatu algoritma tertentu [3][4]. Keluaran filter adaptif ini diumpanbalikkan dan diproses sesuai dengan algoritma yang telah ditentukan untuk mendapatkan koefisien filter berikutnya sehingga kualitas keluaran sesuai (sangat mendekati) yang diharapkan [3][4].

Filter adaptif dapat diimplementasikan dengan struktur FIR atau IIR. FIR filter biasanya direalisasikan secara non-recursive sedangkan IIR secara recursive. Perbedaan dari struktur FIR dan IIR adalah sebagai berikut [8]:

1. Filter adaptif dengan struktur FIR biasanya menggunakan struktur transversal filter atau biasa disebut tapped delay line. Struktur ini mempunyai fungsi transfer all zeros sehingga filter adaptif dengan struktur FIR selalu stabil.
2. Filter adaptif dengan struktur IIR biasanya menggunakan canonic direct form karena kemudahan realisasi dan analisisnya. Namun, filter adaptif dengan struktur IIR cenderung tidak stabil karena letak pole yang kemungkinan bisa diluar lingkaran satuan.

2.4 Algoritma LMS

Algoritma LMS merupakan penyederhaan dari metode steepest-descent atau perhitungan vektor gradien yang dibuat dengan memodifikasi fungsi objektif dengan tepat [8]. LMS banyak digunakan dalam berbagai aplikasi filter adaptif karena kesederhanaan komputasinya dan mudah dalam implementasinya [8]. Karakteristik konvergensi algoritma LMS diuji untuk mendapatkan faktor konvergensi yang menjamin kestabilannya [8].

Solusi optimal parameter filter adaptif diterapkan melalui penggabungan linear yang sesuai dengan sinyal masukan. Solusi ini mengarah pada mean square error minimum dalam mengestimasi sinyal referensi. Solusi optimal dinyatakan dengan persamaan

$$\mathbf{w}_0 = \mathbf{R}^{-1}\mathbf{p} \quad (2.5)$$

Dengan metode *steepest-descent* rumus koefisien filter dapat diturunkan dengan persamaan

$$\begin{aligned} \mathbf{w}(n+1) &= \mathbf{w}(n) - \mu \hat{\mathbf{g}}_w(n) \\ &= \mathbf{w}(n) + 2\mu(\hat{\mathbf{p}}(n) - \hat{\mathbf{R}}(n)\mathbf{w}(n)) \end{aligned} \quad (2.6)$$

$$\hat{\mathbf{R}}(n) = \mathbf{x}(n)\mathbf{x}^T(n) \quad (2.7)$$

$$\hat{\mathbf{p}}(n) = d(n)\mathbf{x}(n) \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{g}}_w(n) &= -2d(n)\mathbf{x}(n) + 2\mathbf{x}(n)\mathbf{x}^T(n)\mathbf{w}(n) \\ &= 2\mathbf{x}(n)(-d(n) + \mathbf{x}^T(n)\mathbf{w}(n)) \\ &= -2e(n)\mathbf{x}(n) \end{aligned} \quad (2.9)$$

Hasil akhir dari metode *steepest-descent* menghasilkan persamaan *updating* koefisien yaitu

$$\mathbf{w}(n+1) = \mathbf{w}(n) + 2\mu e(n)\mathbf{x}(n) \quad (2.10)$$

$$e(n) = d(n) - \mathbf{x}^T(n)\mathbf{w}(n) \quad (2.11)$$

Parameter μ merupakan faktor konvergen yang menentukan kondisi kestabilannya dan tingkat konvergensinya [2]. Pemilihan rentang μ dinyatakan dengan persamaan

$$0 < \mu < \frac{1}{L.E\{x^2(n)\}} \quad (2.12)$$

Pemilihan μ harus tepat karena berdampak pada tingkat konvergensinya. Jika μ terlalu kecil tingkat konvergensinya akan melambat sedangkan jika μ terlalu besar tingkat konvergensi akan cepat tetapi ada kemungkinan tidak stabil [1].

2.5 Algoritma DCTLMS

Salah satu cara untuk meningkatkan kecepatan konvergensi algoritma LMS adalah menggunakan transform-domain [8]. Pada transform-domain, sinyal masukan mengalami transformasi ortogonal untuk mendapatkan spektrum daya dari sinyal masukan [5]. Namun pada saat proses transformasi, penyebaran nilai eigen tidak berubah sehingga tidak berpengaruh terhadap peningkatan kecepatan konvergensi [8]. Oleh karena itu, digunakan proses power normalization untuk memperkecil penyebaran nilai eigen sehingga kecepatan konvergensi bisa ditingkatkan [5][8].

Salah satu *transform domain* yang sering digunakan adalah *Discrete Cosine Transform* (DCT). Sinyal masukan ditransformasi ke dalam bentuk koefisien DCT yang dinyatakan dengan persamaan

$$X_k(n) = \sum_{l=0}^{N-1} c(k,l)x(n-l) \quad (2.13)$$

$$c(k,l) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & \text{untuk } k = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} \cos \frac{\pi(2l+1)k}{2N}, & \text{untuk } k = 1, 2, \dots, N-1 \\ & \text{dan } l = 0, 1, 2, \dots, N-1 \end{cases} \quad (2.14)$$

$X_k(n)$ dapat dinyatakan dalam bentuk vektor dengan menggunakan persamaan

$$\mathbf{X}(n) = \mathbf{T}_{DCT}\mathbf{x}(n) \quad (2.15)$$

$$\mathbf{x}(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-N+1)]^T \quad (2.16)$$

$$\mathbf{X}(n) = [X_0(n) \ X_1(n) \ \dots \ X_{N-1}(n)]^T \quad (2.17)$$

Untuk mendapatkan invers dari vektor $\mathbf{X}(k)$ dapat menggunakan persamaan

$$\mathbf{x}(n) = \mathbf{T}_{DCT}^T \mathbf{X}(n) \quad (2.18)$$

Elemen matriks transformasi DCT diperoleh dari nilai $c(k,l)$ dimana k merupakan baris dan l merupakan kolom [9].

Dengan menggunakan metode *steepest descent* dan *transform domain*, *updating* koefisien dinyatakan dengan persamaan

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) + \frac{2\mu}{\gamma + \sigma_T^2(n)} e(n)\mathbf{X}(n) \quad (2.19)$$

$$\mathbf{W}(n) = [W_0(n) \ W_1(n) \ \dots \ W_{N-1}(n)]^T \quad (2.20)$$

$$\mathbf{X}(n) = [X_0(n) \ X_1(n) \ \dots \ X_{N-1}(n)]^T \quad (2.21)$$

$$y(n) = \mathbf{W}^T \mathbf{X}(n) \quad (2.22)$$

$$e(n) = d(n) - y(n) \quad (2.23)$$

$$\sigma_T^2(n+1) = \alpha \mathbf{X}_T^2(n) + (1-\alpha)\sigma_T^2(n) \quad (2.24)$$

$$\sigma_T^2(n) = [\sigma_{T,0}^2(n) \ \sigma_{T,1}^2(n) \ \dots \ \sigma_{T,N-1}^2(n)]^T \quad (2.25)$$

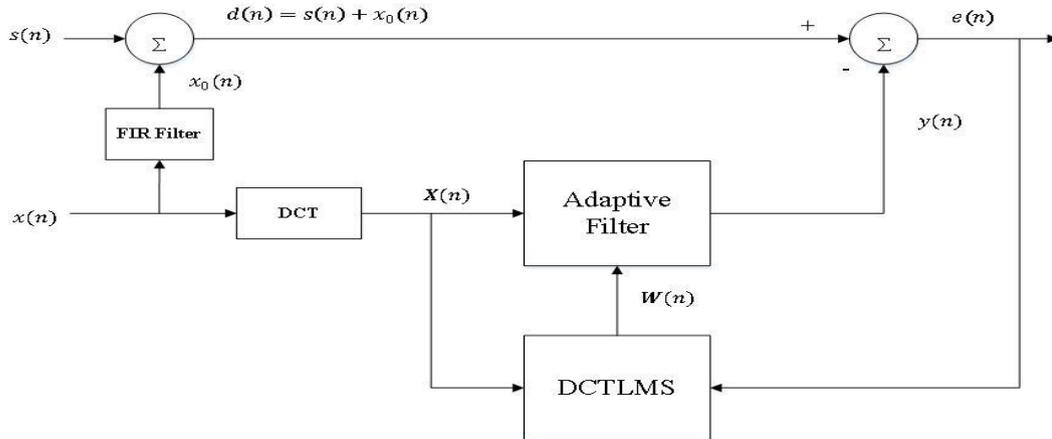
power normalization digunakan untuk mengurangi penyebaran nilai eigen dan membuat stepsizanya berubah-ubah sesuai dengan iterasi sehingga menghasilkan nilai stepsize yang baru yang dinyatakan dengan persamaan

$$\boldsymbol{\mu}(n) = \frac{2\mu}{\gamma + \sigma_T^2(n)} \quad (2.26)$$

Setiap perubahan nilai σ_T^2 maka nilai $\boldsymbol{\mu}$ akan berubah [5]. Hal ini akan menyebabkan kecepatan konvergensi dapat ditingkatkan. Small constant digunakan untuk mencegah nilai koefisien filter terlalu besar ketika σ_i^2 kecil [8].

2.6 Perancangan Sistem Penghapusan Derau

Sistem penghapusan derau yang dirancang pada jurnal ini memiliki dua masukan. Masukan pertama adalah sinyal wicara yang telah tercampur derau, sedangkan masukan kedua adalah sinyal derau referensi yang memiliki korelasi dengan sinyal derau yang bercampur dengan sinyal suara.

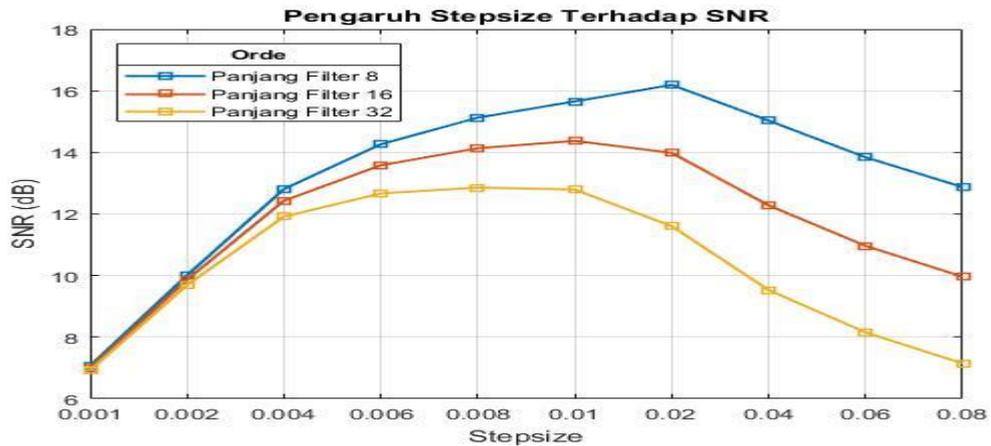


Gambar 3.1 Diagram Blok Penghapusan Derau

3. Analisis Simulasi Penghapusan Derau

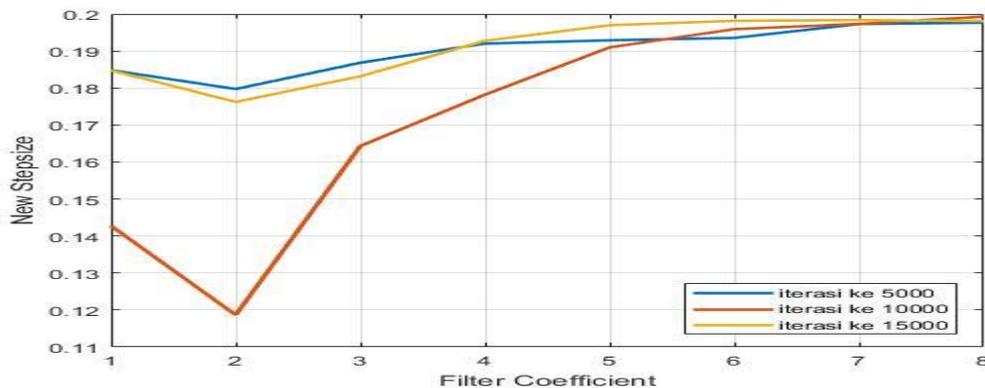
3.1 Analisis Pengaruh Stepsize

Stepsize merupakan parameter yang mempengaruhi kestabilan sistem dan nilai SNR. Pemilihan nilai stepsize harus sesuai untuk menjamin kestabilan sistem dan peningkatan nilai SNR. Data hasil pengujian pengaruh stepsize terhadap SNR ditunjukkan pada gambar berikut ini



Gambar 4.1 Pengaruh Stepsize Terhadap SNR

Dari gambar 4.6, Kondisi optimum dicapai saat stepsize bernilai 0.004 - 0.02 pada panjang filter 8-32. Nilai stepsize pada gambar 4.6 pada proses adaptasi akan menghasilkan nilai stepsize yang berbeda untuk setiap koefisien filternya. stepsize tersebut ditunjukkan pada gambar berikut ini

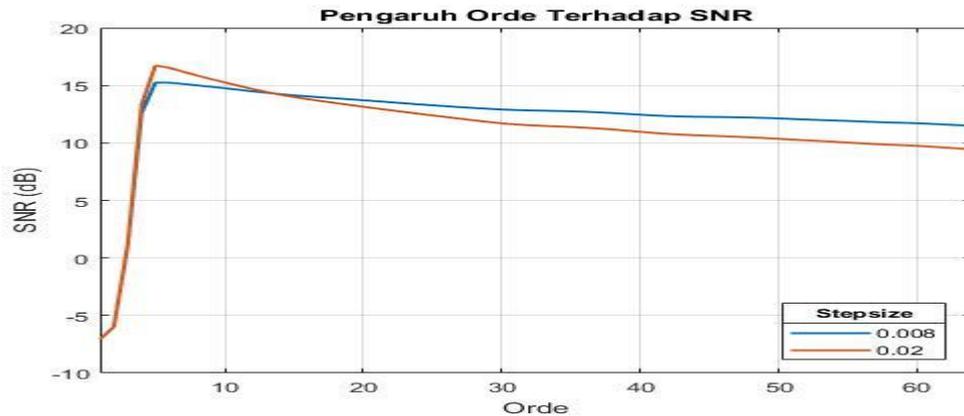


Gambar 4.2 new stepsize

Dari gambar 4.7 , setiap iterasi memberikan stepsize yang berbeda untuk setiap koefisien filternya dan menyesuaikan terhadap proses normalisasi daya. Pengaruh dari stepsize tersebut akan meningkatkan waktu konvergensi untuk mencapai *error* minimal.

3.2 Analisis Pengaruh Orde

Orde filter memberikan pengaruh pada ukuran matriks vektor koefisien filter adaptif. Pengaruh orde filter diuji dengan menggunakan empat nilai stepsize yang telah diuji sebelumnya. Data hasil pengujian pengaruh orde filter dinyatakan pada gambar



Gambar 4.4 Pengaruh Orde Terhadap SNR

Dari gambar 4.8, orde optimal untuk stepsize 0.02 diperoleh pada orde filter ke-7 . Nilai orde menentukan besar ukuran matriks masukan filter adaptif, maka semakin besar ukuran matriks masukan filter adaptif maka semakin banyak sampel sinyal masukan yang ditampung sehingga estimasi sinyal keluaran akan semakin mendekati sinyal masukan sistem.

3.3 Signal To Noise Ratio

Signal to Noise Ratio (SNR) merupakan parameter performansi sinyal untuk menghitung perbandingan antara sinyal informasi dengan sinyal derau. Sinyal derau yang digunakan adalah *acoustic background noise*.. Pengujian SNR Nilai SNR dinyatakan dalam tabel berikut ini

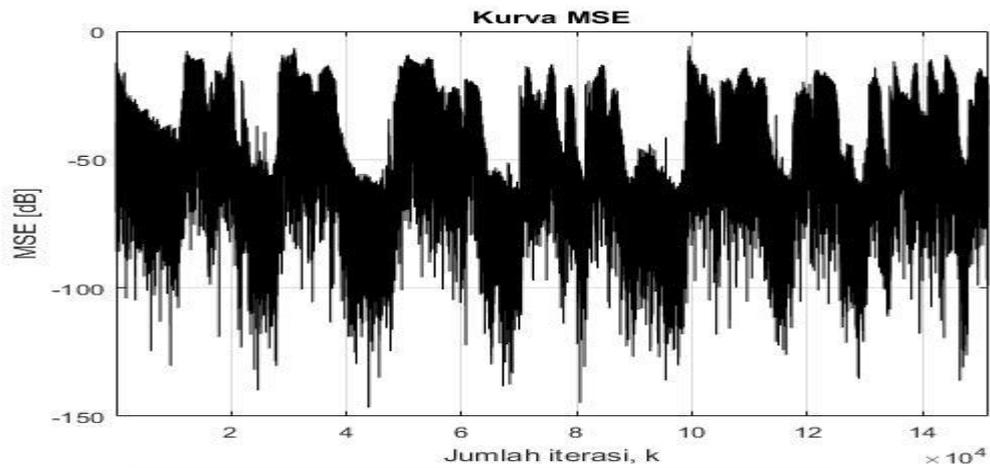
Tabel 4. 1 Tabel Nilai Keluaran SNR

Stepsize	Masukan SNR	Keluaran SNR					
		LMS			TKDLMS		
		N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
0.006	-7.38884	5.41649	5.41404	5.37776	14.2637	13.5817	12.6676
0.008	-7.38884	6.62460	6.60903	6.55396	15.1277	14.1339	12.8567
0.01	-7.38884	7.57116	7.54047	7.46319	15.6557	14.3729	12.7930
0.02	-7.38884	10.4958	10.3620	10.1219	16.1906	13.9840	11.6014

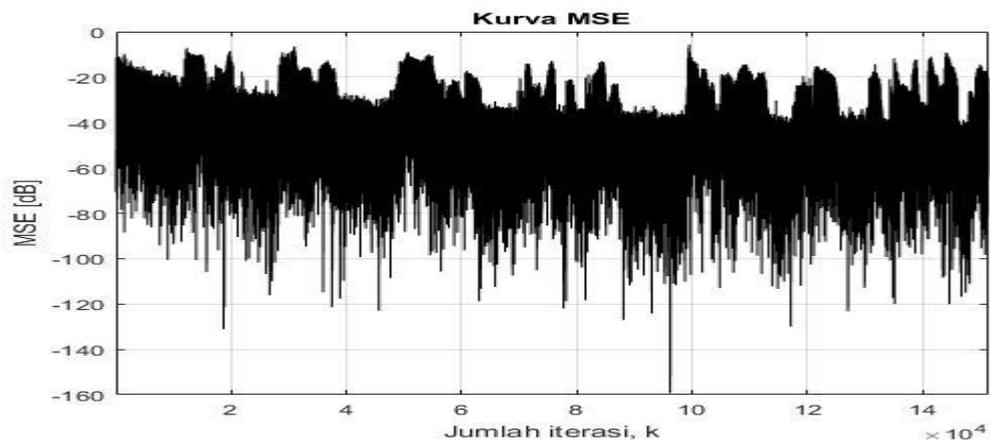
Dari data tabel 4.1 dapat dilihat nilai SNR mengalami perbaikan yang cukup baik dengan menggunakan algoritma TKDLMS dan Nilai SNR pada stepsize 0.02 dan panjang filter 8 adalah nilai optimum

3.4 Waktu Konvergensi

Waktu konvergensi merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui seberapa cepat sistem penghapusan derau mencapai MSE minimum atau MSE dalam kondisi mantap. Untuk melihat kondisi MSE dalam kondisi mantap dapat dilihat di kurva MSE. Kurva MSE dapat dilihat dalam gambar berikut ini



Gambar 4.5 kurva MSE algoritma TKDLMS



Gambar 4.6 Kurva MSE algoritma LMS

Dari gambar 4.5 dan 4.6 dapat dilihat kurva MSE algoritma TKDLMS bisa mencapai MSE dalam kondisi mantap lebih cepat dibandingkan dengan algoritma LMS.

3.5 Mean Square Error

MSE merupakan parameter untuk mengetahui MSE minimum yang dicapai oleh sistem penghapusan derau. Berikut nilai MSE minimum yang diperoleh dalam tabel berikut ini

Tabel 4. 2 Tabel Nilai MSE Minimum

Stepsize	MSE minimum					
	LMS			TKDLMS		
	N=8	N=16	N=32	N=8	N=16	N=32
0.006	0.001803	0.001803	0.001801	0.001445	0.001441	0.001434
0.008	0.001705	0.001704	0.001702	0.001433	0.001428	0.001419
0.01	0.001644	0.001643	0.001641	0.001426	0.001420	0.001409
0.02	0.001522	0.001520	0.001517	0.001409	0.001400	0.001383

Dapat dilihat nilai MSE minimum mengalami perbaikan cukup baik dengan menggunakan algoritma TKDLMS dan MSE minimum dicapai saat stepsize 0.02 dan orde 32.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisa simulasi dalam Tugas Akhir ini didapatkan nilai parameter optimum yaitu stepsize 0.02 dan panjang filter 8-32. Kinerja dari algoritma TKDLMS yang digunakan dalam penelitian ini menghasilkan nilai parameter yang cukup baik dibandingkan dengan algoritma LMS. Untuk parameter MSE minimum, algoritma TKDLMS memiliki MSE minimum sebesar 0.001383, untuk parameter waktu konvergensi algoritma TKDLMS dilihat dari kurva MSE memiliki waktu konvergensi lebih cepat dari algoritma LMS..

Sistem penghapusan derau menggunakan algoritma TKDLMS menghasilkan SNR optimum sebesar 16.1906 dB pada stepsize 0.02 dan panjang filter 8. Pada sistem penghapusan derau ini memberikan kondisi yang cukup baik untuk setiap parameter yang dianalisis dengan demikian kualitas sinyal keluaran dari sistem penghapusan derau ini dapat dinyatakan baik dan bisa dipahami oleh penerima.

5. Saran

Pada Tugas Akhir ini, simulasi yang dilakukan bersifat *offline mode* sehingga untuk kedepannya sistem penghapusan derau pada Tugas Akhir ini dapat diterapkan secara *real time* pada perangkat komunikasi yang dibutuhkan. Algoritma adaptif menggunakan *transform domain* yang lain seperti DST, *Wavelet Transform*, *Hadamard Transform* dan *transform domain* lainnya atau menggunakan algoritma adaptif lain seperti RLS dan *nonlinier adaptive filtering*.

Daftar Pustaka:

- [1] V. M. Karne, A. Singh Thakur, and V. Tiwari, "Least Mean Square (LMS) Adaptive Filter for Noise Cancellation," vol. 2013, no. Ratmig, pp. 1–9, 2013.
- [2] J.-H. Lee, L.-E. Ooi, Y.-H. Ko, and C.-Y. Teoh, "Simulation for noise cancellation using LMS adaptive filter," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 211, pp. 1–6, 2017.
- [3] H. Kurniansyah and J. Raharjo, "Perancangan Simulasi dan Implementasi Noise Canceller Menggunakan Algoritma SFTRLS pada OMAP-L138 untuk Radio Militer," *e-Proceeding Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 2300–2306, 2015.
- [4] J. Raharjo, *Inverse Filtering untuk Sistem Akustik Ruangan*. Bandung, 2001.
- [5] S. Zhao, D. L. Jones, Z. Man, and S. Khoo, "A variable step-size transform-domain LMS algorithm based on minimum mean-square deviation for autoregressive process," *Proc. 2013 IEEE 8th Conf. Ind. Electron. Appl. ICIEA 2013*, no. June, pp. 968–971, 2013.
- [6] P. Kunche and K. V. V. S. Reddy, "Metaheuristic Applications to Speech Enhancement," 2016, pp. 7–16.
- [7] F. J. Taylor, *Digital Filters Principles and Applications with MATLAB*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2015.
- [8] P. Diniz S.R., *Adaptive Filtering Algorithm and Practical Implementation*, Third. Rio De Janeiro: Springer, 2008.
- [9] B. Farhang-Boroujeny, *Adaptive Filters Theories and Applications*. 2013.