



**KUALITAS KOMUNIKASI PADA TELECONFERENCE MENGGUNAKAN TEKNIK FILTER  
FDAF ( FREKUENSI DOMAIN ADAPTIF FILTER)**

**Tri Nopiani Damayanti**  
**Akademi Telkom Jakarta**  
**damayanti@akademitelkom.ac.id**

**ABSTRAK**

Komunikasi teleconference pada sebuah ruangan akustik yang menggunakan sumber audio terkadang memiliki efek gema yang dapat mempengaruhi kualitas layanan teleconference tersebut. Efek gema ini terjadi ketika suatu sumber audio beroperasi dalam modus full duplex yang memiliki panjang respons impuls melebihi 100 ms, dimana sinyal yang diterima merupakan sinyal output yang melalui loudspeaker telepon (sumber audio) yang kemudian akan bergema melalui lingkungan fisik dan ditangkap oleh mikrofon sistem (sink audio). Efek dari gema akustik ini menyebabkan terjadinya delay waktu saat suara kembali ke user sehingga menyebabkan sinyal suara asli melemah selama komunikasi teleconference.

Pada penelitian ini, guna mengurangi gema akustik yang tidak diinginkan dari system komunikasi teleconference maka digunakan teknik Frekuensi Domain Adaptive Filter (FDAF). Penggunaan *Frekuensi Domain Adaptive Filter* (FDAF) memiliki keunggulan yaitu dapat diimplementasikan pada Digital Signal Processing berdaya rendah, mampu melakukan konvolusi filter dengan perkalian pada domain frekuensi, panjang dari filter adaptif dapat dikurangi melalui proses transformasi filter yang efeknya akan mengurangi kompleksitas komputansi sehingga menyebabkan kecepatan konvergensi semakin meningkat. Uji kinerja system menggunakan filter ini menunjukkan nilai ERLE yang didapatkan mendekati ideal yaitu sebesar 30 dB.

**Kata Kunci : *Acoustic Echo Cancellation, FDAF, ERLE, Filter***

**ABSTRACT**

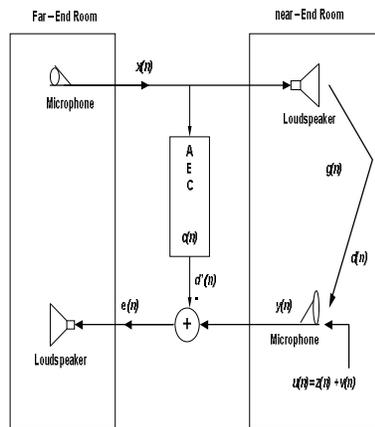
Communication teleconference on an acoustic room that uses the audio source sometimes has an echo effect that can affect the quality of teleconference services. This echo effect occurs when an audio source operates in full duplex mode that has a long impulse response exceeds 100 ms, where the received signal is an output signal via the built-in loudspeaker (audio source), which would then resonate through the physical environment and captured by the microphone system (audio sink). The effects of acoustic echo caused a delay time when the sound back to the user thus causing the original voice signal weakened during the teleconference communications.

In this research, in order to reduce unwanted acoustic echo from communication systems that use techniques teleconference Frequency Domain Adaptive Filter (FDAF). Use of Frequency Domain Adaptive Filter (FDAF) has the advantage that it can be implemented on low-power Digital Signal Processing, able to perform the convolution filter with multiplication in the frequency domain, the length of the adaptive filter can be reduced through a process of transformation of the filter effect will reduce the complexity komputansi causing the speed of convergence increasing. Test performance of the system using this filter shows ERLE values obtained close to the ideal that is equal to 30 dB.

**Keywords: *Acoustic Echo Cancellation, FDAF, ERLE, Filter***

**PENDAHULUAN**

Pada sebuah ruangan yang digunakan untuk komunikasi *teleconference* sering kali terjadi gangguan berupa gema akustik. Permasalahan gema akustik pada komunikasi *teleconference* muncul dimanapun pengeras suara dan microphone ditempatkan, dimana mikrofon akan mengambil sinyal yang dipancarkan oleh loudspeaker kemudian sinyal yang dipancarkan tersebut akan memantul sepanjang dinding pembatas ruang akustik tersebut. Kehadiran kopling dari pengeras suara ke mikrofon akan menghasilkan gema akustik yang tidak diinginkan dan secara signifikan menurunkan kualitas suara. Pada kasus komunikasi *teleconference*, *speaker* dari *far – end room* akan terganggu oleh *delay* suaranya sendiri akibat *round trip time* dari system. Untuk menghindari permasalahan tersebut, maka diterapkan aplikasi penghilang gema akustik ( Acoustic Echo Cancellation) menggunakan *Frekuensi Domain Adaptive Filter* (FDAF).



Gambar 1. Sistem *Teleconference* dengan *Acoustic Echo Cancellation*

Adaptif filter pada system *teleconference* ini digunakan karena filter ini merupakan filter dinamis yang iteratif yang dapat mengubah karakteristik system tersebut guna mencapai output system yang diinginkan yaitu menghilangkan gema. Mekanisme menghilangkan gema pada filter adaptif tersebut melalui pengurangan sinyal gema yang berasal dari sinyal mikrofon  $y(n)$ . Jika respon impuls  $c(n)$  dari adaptif filter sama persis dengan respon impuls  $g(n)$  dari ruangan, maka gema akan hilang secara sempurna.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengamati Unjuk kinerja penggunaan *Frekuensi Domain Adaptive Filter* (FDAF) pada *Acoustic Echo Cancellation* pada system komunikasi *teleconference* yang dinyatakan dalam ERLE sebagai parameter kualitas *echo cancellation*.

Penghilang Gema (*Echo cancellation*) digunakan pada sistem *teleconference* guna menghilangkan gema dari komunikasi suara untuk meningkatkan kualitas komunikasi *teleconference*. Untuk meningkatkan kualitas komunikasi ini maka gema harus dihilangkan. Gema merefleksikan *copy* suara yang didengar beberapa saat kemudian

dengan sebuah *delay* dari suara aslinya. Jika *delay* benar-benar besar (lebih dari beberapa ratus milidetik) maka dapat dipertimbangkan sebagai hal yang dapat mengganggu sistem komunikasi tersebut tetapi jika *delay* sangat kecil (kurang dari 10 ms), fenomena ini disebut dengan *sidetone*. Pada awal telekomunikasi, *echo suppression* digunakan untuk mengurangi gema. Ketika seorang berbicara dan yang lain mendengar, *echo suppression* berusaha untuk mengenali mana yang tujuan utama yang diijinkan *channel* untuk *diforward*.

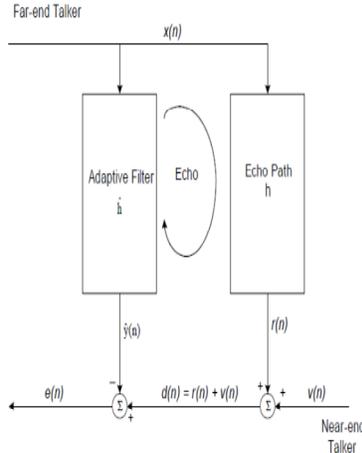
*Echo canceller* diperkenalkan untuk mengganti *echo suppressor* yang pertama kali dikembangkan pada tahun sekitar 1950 guna mengontrol gema yang disebabkan *delay* yang panjang pada *circuit* telekomunikasi satelit. Konsep dari *echo canceller* adalah untuk mengumpulkan perkiraan *echo* dari sinyal pembicara dan mengurangi ‘*subtract*’ kumpulan itu sebagai pengganti *switching attenuation* yang masuk/keluar dari jalur komunikasi. Teknik ini memerlukan adaptif *signal processing* untuk membangkitkan sinyal secara efektif guna menghilangkan gema, dimana gema dapat dipisah dari sinyal aslinya. *Acoustic echo* terjadi pada handset/telepon analog dan digital, dengan tingkat gema tergantung jenis dan kualitas peralatan yang digunakan. Bentuk gema dihasilkan karena ada suara diantara speaker dan mikrofon di handset dan perangkat hands-free. Pada penggunaan perangkat sistem *teleconference*, suara dari loud speakers akan ditangkap oleh mikrofon dan dipancarkan kembali ke si pemanggil. Selanjutnya degradasi suara terjadi akibat proses *compressing* suara pada perangkat *encoding/decoding* (vocoders). Kopling akustik disebabkan oleh refleksi dari gelombang suara loudspeaker dari dinding, pintu, langit-langit, jendela dan objek lain kembali ke mikrofon. Hasil dari refleksi adalah penciptaan suatu multipath gema dan beberapa harmonisa gema, yang dikirim kembali ke *far-end* dan didengar oleh pembicara sebagai gema kecuali dieliminasi. *Adaptif echo cancellation* telah menjadi bagian sangat penting dalam sistem komunikasi *teleconference* atau *videoconference*.

Pada *teleconference* masalah gema akustik muncul disebabkan oleh refleksi dari gelombang suara loudspeaker dari permukaan batas dan obyek lain kembali ke mikrofon. Pada system komunikasi *teleconference* ada beberapa hal yang menjadi alasan penggunaan *Acoustic Echo Cancellation* sebagai berikut:

1. Respon impuls dari gema akustik antara 100 sampai 500 msec.
2. Karakteristik dari gema akustik lebih non-stasioner karena pembukaan dan penutupan pintu atau pergerakan orang di dalam ruangan.
3. Gema akustik memiliki karakteristik campuran linier dan nonlinier, dimana refleksi sinyal akustik dalam ruangan hampir linier terdistorsi. Namun loudspeaker tidak memperkenankan

nonlinier. Penyebab utama nonlinieritas ini adalah nonlinier suspensi yang mempengaruhi distorsi pada frekuensi rendah dan inhomogenitas dari densitas fluks yang menghasilkan distorsi nonlinier di tingkat sinyal input besar.

Karena alasan tersebut di atas, akustik echo cancellers, (AEC), wajib memiliki kekuatan komputasi lebih banyak untuk mengkompensasi respon impuls lebih lama dan lebih cepat untuk menghasilkan algoritma konvergensi.



Gambar 2 Generic Acoustic Echo Cancellation

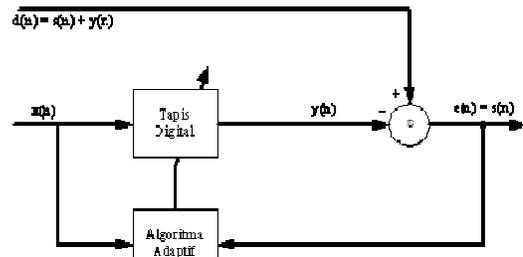
Perhitungan echo,  $\hat{y}(n)$ , yang dihasilkan dengan melewati sinyal input referensi,  $x(n)$ , melalui filter adaptif yang secara ideal akan cocok dengan fungsi transfer dari jalur echo jalur. Sinyal echo,  $r(n)$ , diproduksi ketika  $x(n)$  melewati jalur echo. Echo  $r(n)$ , ditambah pembicara dekat/near-end atau sinyal gangguan,  $v(n)$ , merupakan respon yang diinginkan,

Untuk adaptive canceller. 2 sinyal  $x(n)$  dan  $y(n)$  berkorelasi dengan  $x(n)$  melalui jalur echo. Error sinyal  $e(n)$  diberikan sebagai berikut :

Pada kasus yang ideal nilai  $\rho = 1$ , yang menunjukkan bahwa adaptive echo canceller sempurna.

Pada aplikasi seperti *Acoustic Echo Cancellation*, respon impuls dari sistem sering mencapai panjang lebih dari 100 ms. Hal ini akan membutuhkan filter adaptif FIR dengan lebih dari 1000 koefisien. Penggunaan FDAF sebagai filter adaptif pada penelitian ini memberikan beberapa keunggulan dibandingkan dengan lainnya. Selain mampu melakukan konvolusi filter oleh multiplikasi dalam domain frekuensi, juga panjang filter adaptif secara efektif dilakukan dengan transformasi. Dengan demikian, kompleksitas komputasi algoritma adaptif berkurang. Selain itu, untuk mengurangi kompleksitas komputasi, FDAF

juga dapat memberikan kecepatan konvergensi meningkat. Ini adalah hasil dari penurunan eigenvalue penyebaran matriks autokorelasi sinyal di update filter.



Gambar 3 Algoritma FFAF

Keterangan:

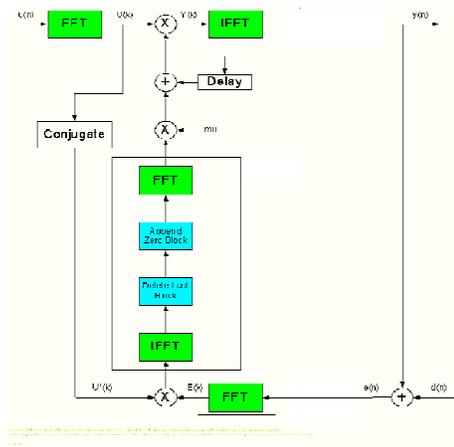
$X(n)$  = noise masukkan

$d(n)$  = sinyal  $s(n)$  + noise  $y(n)$

$\hat{y}(n)$  = nilai noise pendekatan

$s(n)$  = sinyal informasi tanpa derau

$e(n)$  = estimasi error



Gambar 4 Overlap Save FFAF dengan implementasi linear convolutions dan linear Correlation

$W(k)$  dan  $X(k)$  diambil dari time domain dimana

$$W(k) = F[w^T(k), 0 \dots 0]^T \text{ dan nilai :}$$

$$U(k) = \text{diag}\{F[u(kN - N), \dots, u(kN - 1), u(kN) \dots u(kN + N - 1)]^T\}$$

$$y(k) = [y(kN), \dots, y(kN + N - 1)]^T$$

$$y(k) = \text{Komponen terakhir } N \text{ dari } F^{-1}Y(k)$$

$Y(k)$  = frekuensi Domain Output Vektor

$$U(k) = FFT\{u(n)\}$$

$$Y(k) = U(k) \cdot W(k)$$

$$Y(n) = IFFT\{Y(k)\}$$

$$E(k) = FFT\{\text{zeros}, e(n)\}$$

$$g(n) = IFFT\{E(k) \cdot U'(k)\}$$

$$W_1(k) = \mu \cdot FFT\{g(n)\}$$

$$W(k + 1) = W(k) + W_1(k) \text{ sehingga untuk nilai}$$

dari estimasi error FDAF akan didapatkan sebagai berikut :

$$e(n) = d(n) - y(n)$$

Dalam rangka mengevaluasi kualitas algoritma acoustic echo cancellation maka dihitung dengan menggunakan Echo Return Loss Enhancement (ERLE). ERLE merupakan Rasio dari daya sesaat dari sinyal yang diinginkan dan daya sesaat dari sinyal error yang dihitung dalam satuan dB.

$$ERLE = 10 \log \frac{P_d(n)}{P_e(n)} = 10 \log \frac{E[d^2(n)]}{E[e^2(n)]}$$

Untuk Komponen Echo Canceller yang bagus, nilai ERLE nya berada dalam kisaran 30 dB - 40 dB.

## PEMBAHASAN

Model Sistem pada penelitian ini dilakukan melalui pendekatan simulasi matlab dengan beberapa persyaratan sebagai berikut :

1. Input sinyal, baik far-end dan near-end sinyal, disimulasikan dan digambarkan dengan Acoustic Echo Cancellation (AEC) dalam bentuk software yang dijalankan dalam program matlab.

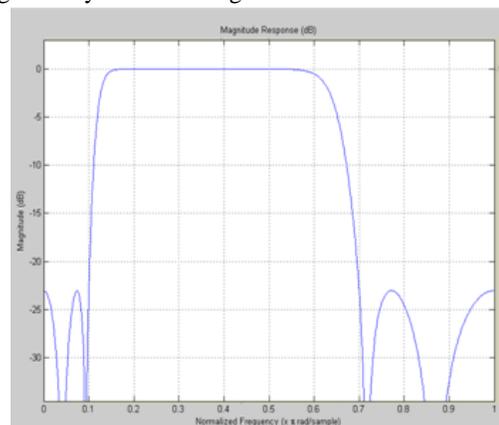
2. Input Sinyal speech memiliki durasi 33.5 menit
3. Sampling rate yang digunakan untuk semua sinyal yang disimulasikan yaitu 8000 kHz.
4. Grafik untuk sumbu x menggambarkan waktu dan sumbu y menggambarkan amplitudo atau magnitude sinyal.

Proses Acoustic Echo cancellation pada kasus teleconference digambarkan dengan linear filter yang dimodelkan melalui pemodelan ruangan ini menggunakan Filter Infinite Impulse Response (IIR) Chebychev II dengan menggunakan frekuensi sampling ( $F_s$ ) sebesar 8000 kHz sebagai berikut :

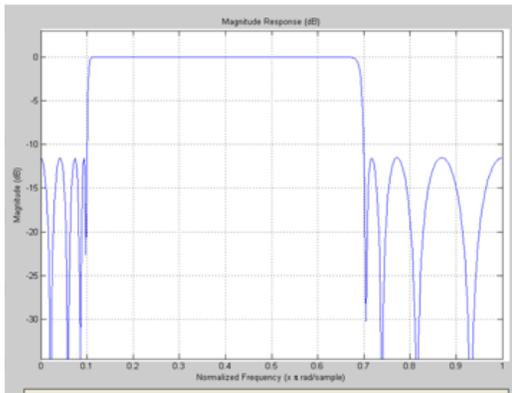


Gambar 5 Pemodelan ruangan Akustik

Pada simulasi AEC ini pemodelan ruangan digambarkan dengan grafik *acoustic Magnitude Response* dan *Room Impulse Response* yang memiliki komponen orde filter dengan *Ripple Filter* dan *Frekuensi Cut Off*. Komponen dari filter ini mempengaruhi proses dari *Acoustic Echo Cancellation* (AEC). Berikut gambar dari *magnitude response* dan *Room impulse response* dengan menggunakan filter IIR chebychev II dengan nilai orde filter 4 dan Ripple 20, dimana frekuensi cutoff yang diambil yaitu 0.1 kHz dan 0.7 kHz dan akan dibandingkan dengan model ruangan dimana jika nilai orde filter sebelumnya kita naikan menjadi 2x orde filter sebelumnya serta nilai riplenya menjadi 1/2 kali sebelumnya maka magnitude response impulsunya. Perbandingan gambarnya adalah sebagai berikut :

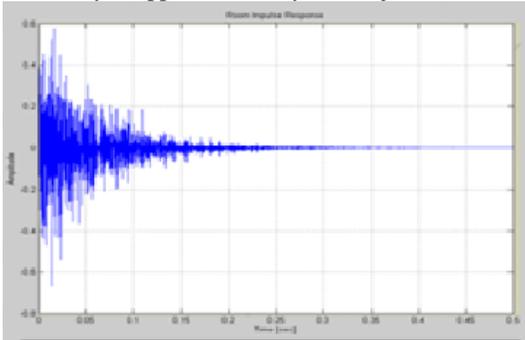


Gambar 6. Magnitudo Response (orde = 4, Ripple = 20, frekuensi cutoff = 0.1 kHz & 0.7 kHz)

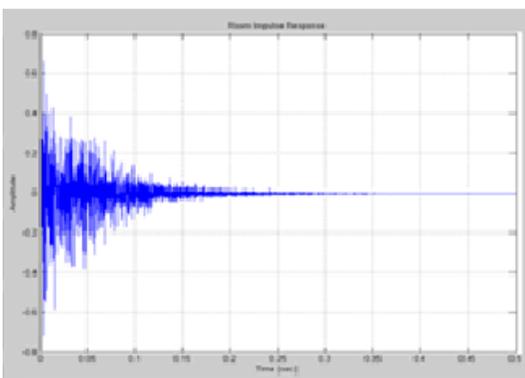


Gambar 1. Magnitudo Response (orde = 8 , Ripple = 10, frekuensi cutoff = 0.1 kHz & 0.7 kHz).

Pada gambar diatas terlihat bahwa nilai dari Magnitudo impulse yang menggunakan orde filter yang lebih besar dan nilai ripple yang kecil menyebabkan nilai magnitudo responsnya lebih besar (sekitar 12 dB dari sebelumnya sebesar 23 dB) dibandingkan menggunakan orde yang kecil serta jumlah ripplanya menjadi lebih banyak dari sebelumnya (ripple sebelumnya 4 menjadi 8).

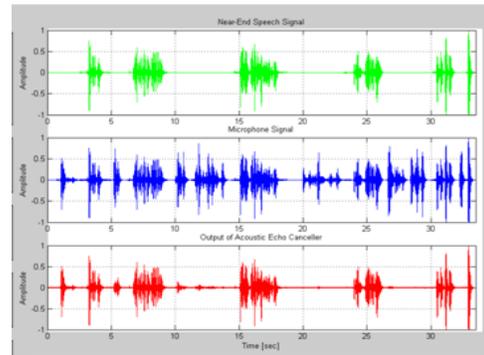


Gambar 8. Room Impulse Response (orde = 4 , Ripple = 20, frekuensi cutoff = 0.1 kHz & 0.7 kHz)

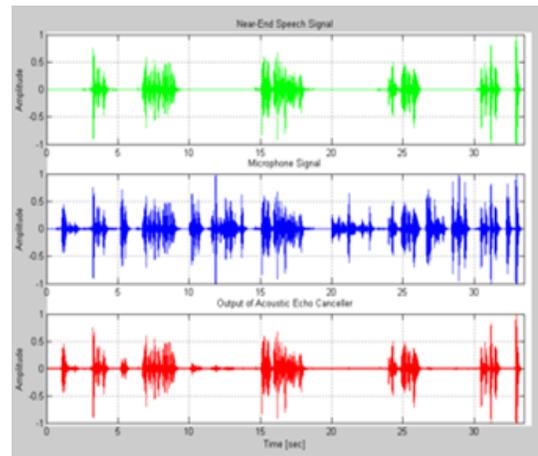


Gambar 2 Room Impulse Response (orde = 8, Ripple = 10, frekuensi cutoff = 0.1 kHz & 0.7 kHz)

Pada gambar diatas terlihat bahwa nilai dari Room impulse yang menggunakan orde filter yang lebih besar dan nilai ripple yang kecil menyebabkan nilai amplituda pada room impulse semakin kecil seiring dengan bertambah panjangnya waktu.



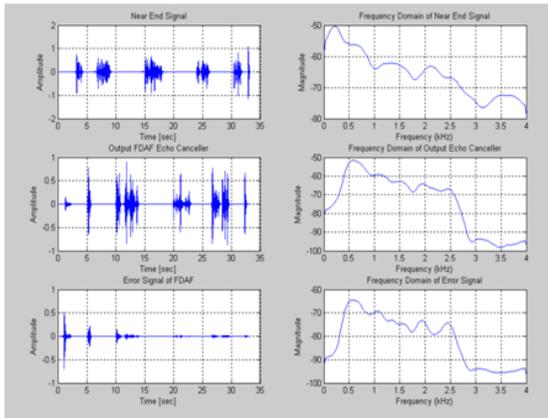
Gambar 10. Sinyal Output AEC dengan FDAF (orde = 4 , Ripple = 20, Fc = 0.1 kHz & 0.7 kHz)



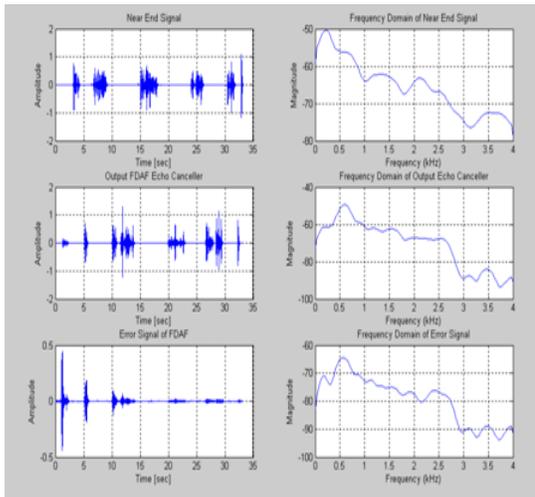
Gambar 11. Sinyal Output AEC dengan FDAF (orde = 8 , Ripple = 10, Fc = 0.1 kHz & 0.7 kHz)

Berdasarkan gambar diatas terlihat bahwa waktu pembicaraan setelah terfilter menggunakan filter jenis FDAF sebesar 33,5 detik. Karena FDAF menggunakan teknik Fast Konvolusi untuk menghitung output sinyal dan untuk update filternya. Pada Matlab perhitungan ini lebih cepat. Sehingga menyebabkan performansi output untuk step sizenya akan semakin bagus. Sinyal yang mengalami echo akan difilter oleh filter FDAF sehingga output yang dihasilkan setelah terfilter akan mendekati sinyal Near-End dengan masih mengalami sedikit error tetapi seiring dengan waktu pembicaraan error sinyal tersebut akan semakin kecil,hal ini disebabkan karena pada filter FDAF menggunakan domain frekuensi. Error sinyal terlihat pada grafik error FDAF. Dibawah ini. Pada filter FDAF,dengan semakin besarnya nilai orde

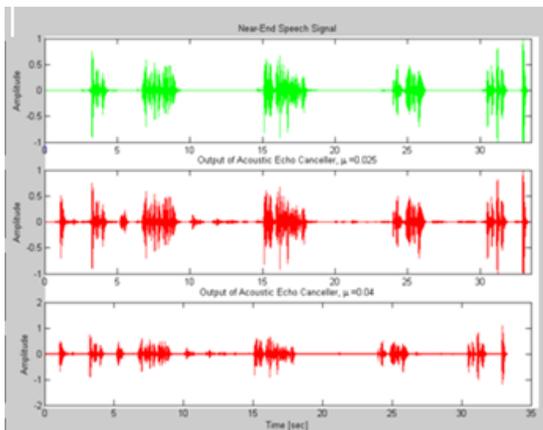
dan ripple yang lebih kecil menyebabkan ripple pada sinyal outputnya semakin banyak dan nilai amplitudonya semakin besar.



Gambar 12. Sinyal Error AEC dengan FDAF (orde = 4 , Ripple = 20, Fc = 0.1 kHz & 0.7 kHz)

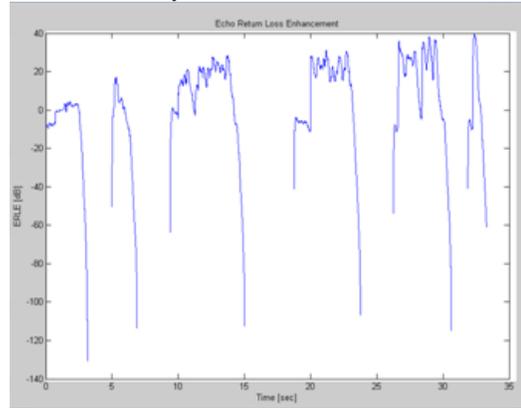


Gambar 13. Sinyal Error AEC dengan FDAF (orde = 8 , Ripple = 10, Fc = 0.1 kHz & 0.7 kHz)



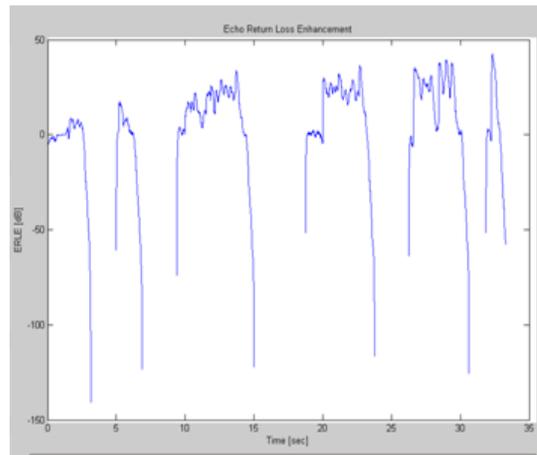
Gambar 14 Perbandingan Output AEC Efek Step size dengan  $\mu$  yang berbeda pada FDAF (orde = 4 , Ripple = 20, frekuensi cutoff = 0.1 kHz & 0.7 kHz, nilai  $\mu = 0.025$  dan  $\mu = 0.04$ )

Kualitas dari output setelah terfilter juga akan tergambar dengan grafik ERLE. Pada simulasi terlihat bahwa nilai ERLE yang didapatkan mendekati ideal yaitu sebesar 30 dB.



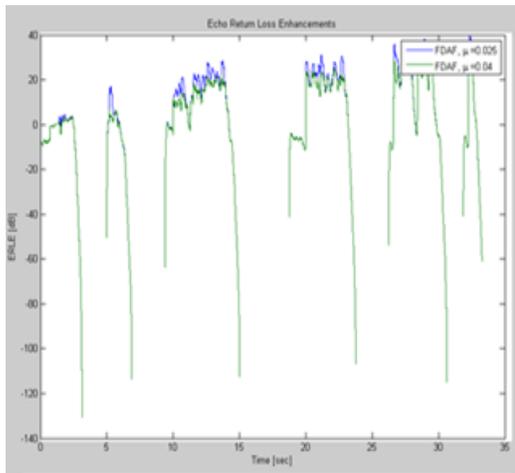
Gambar 15 Nilai ERLE dengan filter FDAF (orde = 4 , Ripple = 20, frekuensi cutoff = 0.1 kHz & 0.7 kHz, nilai  $\mu = 0.025$ )

Pada gambar diatas terlihat bahwa semakin besar nilai orde filternya serta riplenya semakin kecil maka nilai kualitas Echonya semakin bagus.



Gambar 16 Nilai ERLE dengan filter FDAF (orde = 8 , Ripple = 10, frekuensi cutoff = 0.1 kHz & 0.7 kHz, nilai  $\mu = 0.025$ )

Pada kasus diatas nilai ERLEnya sekitar 40 dB lebih besar dari sebelumnya sebesar 30 dB. Begitu juga saat nilai stepsizenya dibesarkan sebesar 60% dibandingkan sebelumnya menyebabkan nilai ERLEnya semakin tidak bagus. Seperti terlihat dari nilai perbandingan ERLE dibawah ini.



Gambar 3 Perbandingan ERLE dengan  $\mu$  yang berbeda pada FDAF

(orde = 4 , Ripple = 20, frekuensi cutoff = 0.1 kHz & 0.7 kHz,  
nilai  $\mu = 0.025$  dan  $\mu = 0.04$ )

### KESIMPULAN

1. Hasil Filteralisasi AEC dengan menggunakan Algoritma FDAF (frequency domain adaptive filter) berdasarkan fungsi domain frekuensi sehingga intensitas noise yang dihasilkan dalam output sistem lebih sedikit.
2. Hasil Filteralisasi dengan menggunakan Algoritma FDAF (frequency domain adaptive filter) lebih baik dilihat dari Output system.
3. Penggunaan algoritma dalam domain frekuensi dalam hal ini FDAF lebih efektif dalam proses komputasinya / impuls responnya lebih efisien
4. Semakin kecil nilai  $\mu$  atau step size maka hasil dari kualitas AEC FDAF semakin baik.

### DAFTAR PUSTAKA

1. A.V. Oppenheim and R.W. Schaffer, "Discrete Time Signal Processing", Prentice Hall, 1996
2. Gerald Enzner And Peter Vary," A Soft-Partitioned Frequency-Domain Adaptive Filter For Acoustic Echo Cancellation"
3. J.G. Proakis and D.G. Manolakis, "Digital Signal Processing - Principles, Algorithms and Applications", Prentice Hall, 1996
4. Srinivasaprasath Raghavendran," Implementation of An Acoustic Echo Canceller Using Matlab."

5. Shobhna Gupta, "Acoustic Echo Cancellation Using Conventional Adaptive Algorithms And Modified Variable Step Size Lms Algorithm"