

APLIKASI PEREDAMAN DERAU AKTIF METODE *PHI* PHASE SHIFT PADA KAWASAN FREKUENSI

Dwi Anasthasia Pasaribu^{*)}, Achmad Hidayatno, and Imam Santoso

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)} Email: dwipasaribu@hotmail.com

Abstrak

Derau merupakan gelombang suara yang mampu masuk ke sistem pendengaran manusia dan cenderung memberikan rasa tidak nyaman bahkan mengakibatkan sinyal informasi tidak dapat diterima dengan baik. Berkaitan dengan sinyal gangguan tersebut, metode phi phase shift (balik fase) merupakan salah satu metode untuk menghilangkan gelombang derau. Metode phi phase shift merupakan metode pemanfaatan sifat destruktif dari penggabungan dua buah gelombang yang salah satunya berfase kebalikan. Berdasarkan hal tersebut dirancang peredaman derau aktif metode phi phase shift pada kawasan frekuensi yang diterapkan secara non real time. Adapun untuk menguji kinerjanya akan diberikan 3 jenis gelombang gangguan yaitu gelombang gangguan variasi frekuensi, derau putih, dan lima gelombang gangguan dengan variasi durasi dan amplitudo. Sedangkan untuk tolak ukur kinerja akan digunakan nilai MSE (Mean Square Error) dan SNR (Signal to Noise Ratio) hasil peredaman. Dari hasil pengujian dengan berbagai variasi gangguan yang diujicobakan, sistem ini mampu melakukan eliminasi gelombang derau. Penambahan derau dengan variasi frekuensi menghasilkan nilai MSE terbesar yaitu $8,16 \times 10^{-32}$ dan SNR terkecil $3,37 \times 10^{27}$. Dengan penambahan derau putih diperoleh MSE terbesar yaitu $2,26 \times 10^{-17}$ dan SNR terkecil $1,22 \times 10^{13}$, Dan pada variasi 5 gelombang pengganggu diperoleh MSE terbesar $7,37 \times 10^{-33}$ dan SNR terkecil $1,91 \times 10^{28}$.

Kata Kunci : Pengolahan Sinyal Digital, phi phase shift

Abstract

Noise is an audible sound wave that can be listened in human's hearing system. It makes hearing uncomfortable and even can disturb the quality of signal information. Phi phase shift is created as a method to reduce noise by using a destructive result of combination between two waveforms which one of the signal's phase is opposite. In that consideration, it will be created an active noise cancellation with phi phase shift in frequency method designed in non real time system. The system will be given 3 variations of noise such as frequency varied noise, varied power level white noise, and 5 variation of durations and amplitudes noise waves. MSE (Mean Square Error) and SNR (Signal to Noise Ratio) will be used as parameters of success in this noise reduction system. It can be concluded in this research that the system worked well to eliminate all types of added noise. Maximum MSE in frequencies varied noise is $8,16 \times 10^{-32}$ and the minimum SNR is $3,37 \times 10^{27}$. Maximum MSE in power level varied noise is $2,26 \times 10^{-17}$ and the minimum SNR is $1,22 \times 10^{13}$. Maximum MSE in characteristics varied noise is $7,37 \times 10^{-33}$ and the minimum SNR is $1,91 \times 10^{28}$.

Keywords : Digital signal processing, phi phase shift

1. Pendahuluan

Derau merupakan gelombang suara yang mampu masuk ke sistem pendengaran manusia dan cenderung memberikan rasa tidak nyaman bahkan mengakibatkan sinyal informasi tidak dapat diterima dengan baik. Berkaitan dengan sinyal gangguan tersebut, metode phi phase shift (balik fase) merupakan salah satu metode untuk menghilangkan gelombang derau. Metode phi phase

shift merupakan metode pemanfaatan sifat destruktif dari penggabungan dua buah gelombang yang salah satunya berfase kebalikan.

Paul Leug, di tahun 1933, melakukan penelitian tentang peredaman derau aktif dengan metode pembalikan fase pada sistem analog. Penelitian tersebut kemudian dikembangkan oleh Sony EMC untuk perancangan piranti *headphone* peredam derau dengan metode yang sama^[10].

Berdasarkan penelitian tersebut, pada penelitian ini dirancang aplikasi peredam derau digital dengan metode balik fase. Variasi derau atau gelombang pengganggu pada penelitian ini adalah dalam rentang frekuensi 20 Hz sampai 20.000 Hz serta divariasikan dalam karakteristik yang berbeda berdasarkan amplitudo dan durasi. Ditambahkan juga derau putih (*White Noise*) yang dibangkitkan oleh aplikasi. Adapun pengujian keberhasilan sistemnya akan dilakukan dengan membandingkan nilai *Mean Square Error* (MSE) dan *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang diperoleh dari hasil simulasi.

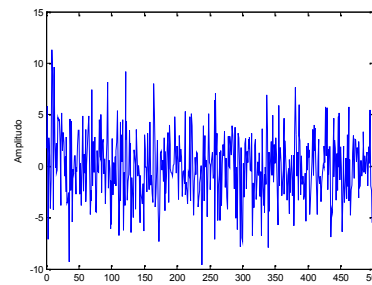
2. Metode

Metode peredaman derau menerapkan prinsip kerja menjumlahkan dua buah gelombang yang beramplitudo sama, namun fasa yang berkebalikan. Sesuai dengan diagram alir pada gambar 3, ditampilkan proses peredaman gelombang derau dengan dua buah jenis derau yang berbeda jenis berkas. Derau pertama merupakan derau masukan berkas *.wav dan yang kedua adalah gelombang derau putih hasil bangkitan MATLAB. Untuk gelombang derau berkas *.wav, sebelum diolah, gelombang suara derau tersebut harus melalui proses pencuplikan. Gelombang suara dapat direkam dan diamati saat melakukan pengolahan suara, bagian penting yang perlu ditetapkan dalam proses pengolahan suara digital adalah kualitas suara, kecepatan cuplik, dan *data rate*.

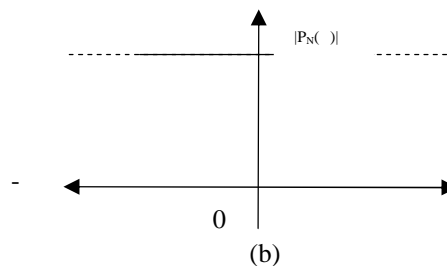
Penentuan nilai frekuensi pencuplikan untuk menghindari terjadinya *aliasing*, Sehingga memenuhi kriteria Nyquist mengenai sinyal cuplik (f_s) untuk menghindari dari *aliasing*, sesuai persamaan 1. Jenis gelombang pengganggu yang divariasikan pada penelitian ini menggunakan frekuensi cuplik sebesar 44100 Hz karena pada pengolahan suara penelitian ini, berkas *.wav yang diuji coba memiliki frekuensi maksimum 20000 Hz.

$$f_s \geq 2f_h \quad f_h = f_{in\ tertinggi} \quad (1)$$

Selain derau dalam bentuk berkas *.wav, akan ditambahkan juga jenis derau putih pada penelitian ini. Derau putih didefinisikan sebagai derau acak tidak berkorelasi dengan daya yang seragam pada seluruh rentang frekuensi sesuai dengan gambar 2.



(a)



(b)

Gambar 1 (a) Sinyal derau putih pada kawasan waktu, (b) Spektrum daya pada fungsi frekuensi

Secara teori, derau putih akan memiliki daya yang tak terhingga apabila terjadi pada rentang frekuensi tak hingga.

Penelitian ini memiliki frekuensi cuplik yang terbatas oleh karena itu digunakan derau putih dengan pita yang terbatas (*band-limited white noise*), yang didefinisikan sebagai derau dengan spektrum datar pada lebar pita yang terbatas. Spektrum dari derau putih pita terbatas dengan lebar pita B Hz ditulis dalam persamaan 2. Derau tersebut kemudian dapat divariasikan berdasarkan tingkatan dayanya untuk memperoleh hubungan antara tingkat daya gelombang derau putih terhadap hasil peredamannya.

$$P_N(f) = \begin{cases} \sigma^2, & |f| \leq B \\ 0, & \text{yang lain} \end{cases} \quad (2)$$

Untuk memperoleh sebuah gelombang yang berfasa kebalikan, gelombang derau tersebut harus diubah terlebih dahulu ke dalam kawasan frekuensi lalu ditambahkan 180° pada fasanya. Proses tersebut akan dilakukan dengan memanfaatkan transformasi *fourier*.

2.1 Balik Fasa dengan Transformasi *Fourier* Diskrit

Salah satu formula untuk proses pengolahan sinyal adalah *Discrete Fourier Transform* (DFT). Langkah dalam proses DFT adalah mengalih bentuk masukan diskrit (hasil proses pencuplikan) dalam kawasan waktu lalu diubah ke dalam kawasan frekuensi. Analisis sinyal akan lebih mudah dilakukan dalam kawasan frekuensi karena variabel yang diolah dalam penelitian ini adalah fase. Algoritma yang lebih cepat adalah *Fast Fourier Transform* (FFT). Prinsip kerja FFT adalah membagi sinyal hasil pencuplikan menjadi beberapa bagian yang

kemudian masing-masing bagian diselesaikan dengan algoritma yang sama dan hasilnya dikumpulkan kembali. Transformasi *Fourier* didefinisikan sebagai:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} X(j\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (3)$$

dan

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad (4)$$

Persamaan (2.3) dan persamaan (2.4) dirujuk sebagai pasangan transformasi *Fourier* dengan fungsi $X(j\omega)$ yang dirujuk sebagai transformasi *Fourier* atau integral *Fourier* dari $x(t)$ dan persamaan (3) sebagai persamaan transformasi *Fourier* inversi. Sinyal-sinyal nonperiodik eksponensial kompleks terjadi pada frekuensi dan sesuai persamaan sintesis (2.3) serta mempunyai "amplitudo" $X(j\omega) (d/2\pi)$.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad (5)$$

Persamaan (3) digunakan untuk mentransformasikan sinyal dari kawasan waktu ke dalam kawasan frekuensi.

Discrete Fourier Transform (DFT) didefinisikan sebagai:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j(\frac{2\pi}{N})nk} \quad (6)$$

Dengan $n =$ indeks dalam kawasan waktu $= 0, 1, \dots, N-1$

$k =$ indeks dalam kawasan

frekuensi $= 0, 1, \dots, N-1$

Dengan mendefinisikan, persamaan (5) menjadi

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{kn} \quad (7)$$

Persamaan ini menyatakan bahwa DFT merupakan metode yang berguna menentukan amplitudo dan komponen-komponen frekuensi harmonik ke- n dari suatu sinyal periodik atau merupakan koefisien-koefisien deret *Fourier*.

Berawal dari DFT- N data pada persamaan (7), maka $X(k)$ akan dipilah menjadi ganjil dan genap sehingga menjadi:

$$X(k)_{genap} = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n) W_N^{2nk} \quad (8)$$

$$X(k)_{ganjil} = \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2n+1) W_N^{(2n+1)k} \quad (9)$$

Variabel n pada persamaan (7) akan diwakilkan sesuai dengan sifat ganjil atau genapnya. Bilangan genap diwakilkan oleh $2n$ dan bilangan ganjil dapat diwakilkan dengan $2n+1$, sehingga persamaan (8) dan persamaan (9) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$X(k) = \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2r) W_N^{2rk} + \sum_{r=0}^{\frac{N}{2}-1} x(2r+1) W_N^{(2r+1)k} \quad (10)$$

Algoritma pada persamaan (10) ini yang disebut sebagai algoritma *Fast Fourier Transform* (FFT) dan memiliki waktu komputasi yang lebih singkat bila dibandingkan

dengan DFT sehingga proses perhitungan dengan proses FFT dapat dilakukan dengan lebih cepat.

IFFT digunakan untuk mengubah kembali sinyal ke dalam ranah waktu hasil dari proses FFT dalam ranah frekuensi.

$$x(n) = \left(\frac{1}{N}\right) \sum_{k=0}^{N-1} X(k) W_N^{-kn} \quad (11)$$

2.2 Metode Peredaman Derau pada Kawasan Waktu

Setelah gelombang derau mengalami pembalikan fasa dalam kawasan frekuensi, maka dengan proses IFFT diperoleh kembali gelombang derau dengan fasa yang telah berkebalikan. Penjumlahan gelombang dengan fasa kebalikan akan dilakukan pada kawasan waktu. Frame pada sinyal informasi digital dapat ditampilkan dalam persamaan vektor sebagai berikut^[3]:

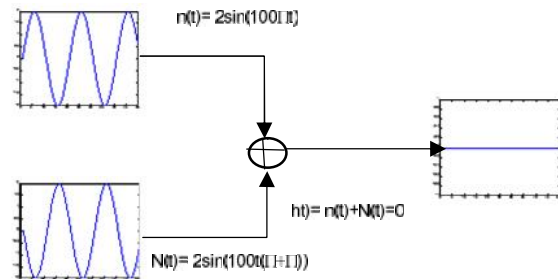
$$x(t) = \{x(t), x(t-1), x(t-2), \dots, x(t-T+1)\} \quad (12)$$

Variabel t pada persamaan 11 melambangkan jumlah sampel dalam suatu *frame* dalam satuan waktu (detik). Seperti yang telah disampaikan sebelumnya, sinyal derau akan ditambahkan kesinyal informasi. Sinyal informasi yang mengandung derau ditampilkan dalam persamaan 13 sebagai berikut:

$$y(t) = x(t) + n(t) \quad (13)$$

Pada persamaan 12, variabel n adalah indeks interval waktu (detik), $x(t)$ adalah vector dari informasi murni tanpa derau dan $n(t)$ adalah vector dari derau. Persamaan (12) dijabarkan dengan asumsi bahwa derau bersifat tetap (*stationary*). Dalam penelitian ini sinyal informasi dan derau merupakan dua buah sinyal yang berdiri sendiri. Gelombang $N(t)$ adalah hasil proses FFT dengan fase yang telah ditambahkan 180° , sesuai dengan Gambar 3.

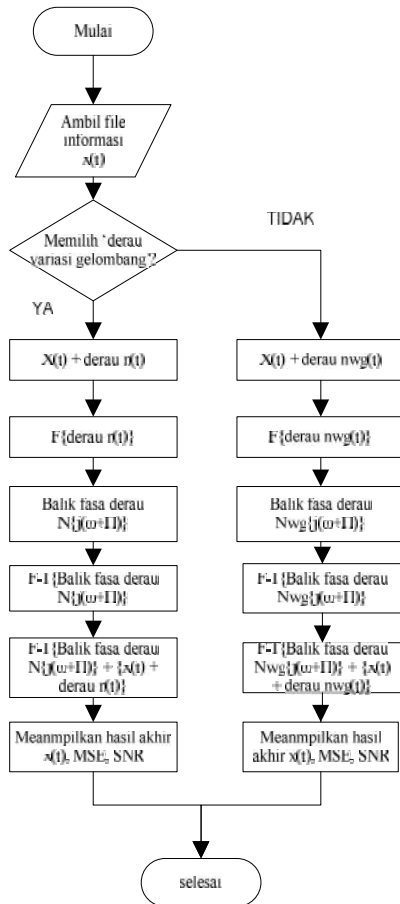
Setelah melalui proses penjumlahan dua buah gelombang beda fasa tersebut, maka diharapkan peredaman derau akan memperoleh nilai amplitudo pada setiap waktunya bernilai mendekati nol. Sesuai dengan gambar 2.



Gambar 2 Penjumlahan dua buah gelombang pada kawasan waktu

2.3 Diagram Alir Aplikasi

Secara umum program memiliki aliran kerja seperti pada Gambar 4.



Gambar 3 Diagram alir kinerja sistem

Gambar 3 menampilkan alur program peredaman derau. Jenis derau yang ditambahkan terdiri atas dua buah jenis berkas yaitu jenis gelombang derau dengan berkas *.wav dan yang kedua adalah derau putih bangkitan MATLAB. Untuk tolak ukur keberhasilan, akan digunakan perbandingan MSE dan SNR amplitudo. Sesuai dengan persamaan di bawah:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}} \quad (14)$$

Dengan n=panjang data, x= besar amplitudo

$$SNR = (A_s/A_n)^2 \quad (15)$$

Dengan A_s = amplitudo sinyal informasi, A_n = amplitudo sinyal derau

3. Hasil Dan Analisis

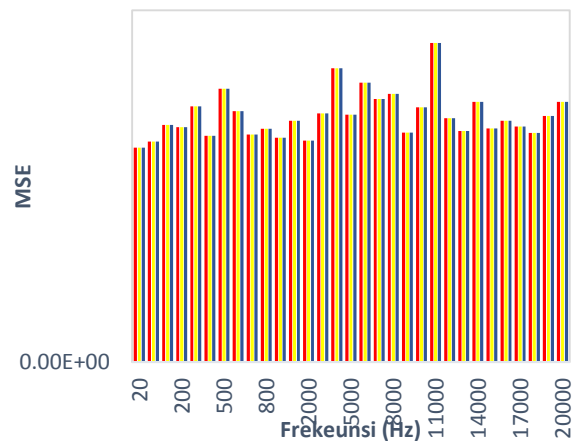
3.1 Karakteristik Sinyal Informasi Masukan

Terdapat tiga jenis berkas sinyal informasi *.wav yang dibandingkan berdasarkan kecepatan ucapannya. Berkas pertama 6 suku kata per 5 detik dengan RMS (*Root Mean Square*) amplitudo sebesar 0,034699. Yang kedua berkas dengan kecepatan 17 suku kata per 5 detik dengan RMS sebesar 0,016581. dan yang ketiga adalah berkas dengan kecepatan 42 suku kata per 5 detik dengan RMS sebesar 0,057318.

3.2 Analisis MSE dan SNR

Nilai hasil galat peredaman yang akan digunakan sebagai analisis adalah MSE (*Mean Square Error*) dan SNR (*Signal to Noise Ratio*). Analisis akan dibagi dalam 3 bagian jenis gelombang derau yaitu gelombang gangguan variasi frekuensi, variasi tingkat daya derau putih, dan 5 buah gelombang pengganggu dengan variasi amplitudo dan durasi. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui hubungan variabel yang divariasikan terhadap galat perdamannya.

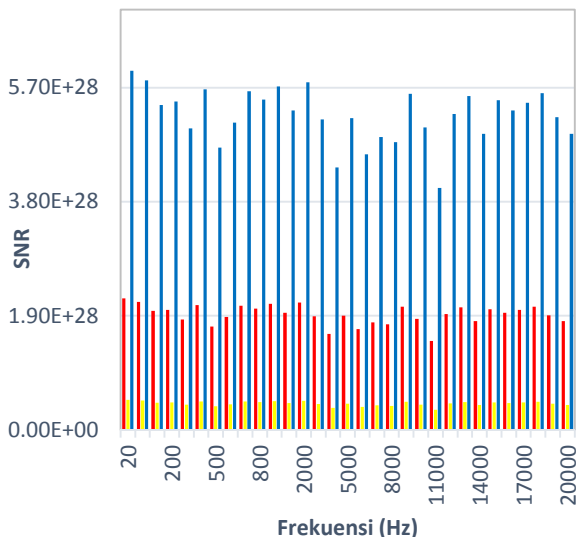
Analisis MSE dan SNR pada Peredaman dengan Gelombang Gangguan Variasi Frekuensi



Gambar 4 Grafik perbandingan MSE terhadap ketiga jenis informasi

Diagram batang berwarna merah mewakili sinyal informasi 6 suku kata per 5 detik, warna kuning mewakili sinyal informasi 17 suku kata per 5 detik, dan warna biru mewakili sinyal informasi 42 suku kata per 5 detik. Nilai MSE rata-rata padakeseluruhanvariasifrekuensiadalah $5,94 \times 10^{-32}$. Dan MSE pada 3 jenis gelombang informasi bernilai sama apa bila ditambahkan gelombang pengganggu yang sama. Dapat disimpulkan dari data percobaan gambar4 bahwa peredaman dengan metode ini berhasil dan proses peredaman derau tidak tergantung

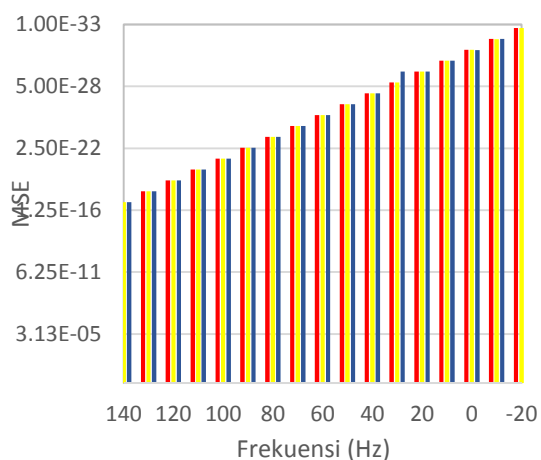
kepada frekuensi gelombang pengganggu yang ditambahkan ke gelombang informasi.



Gambar 5 Grafik perbandingan SNR terhadap ketiga jenis informasi untuk derau variasi frekuensi

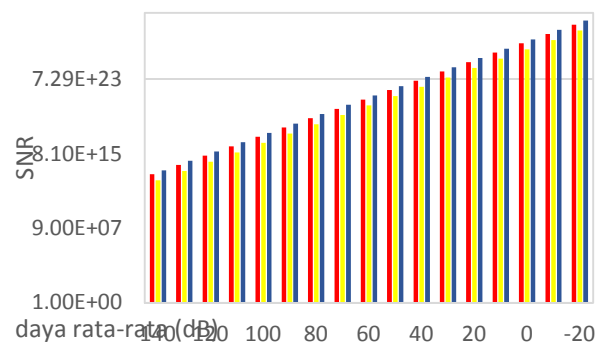
Diagram batang berwarna merah mewakili sinyal informasi 6 suku kata per 5 detik, warna kuning mewakili informasi 17 suku kata per 5 detik, dan warna biru mewakili sinyal informasi 42 suku kata per 5 detik. Pada Gambar 5, dari hasil peredaman akan terlihat bahwa SNR yang paling tinggi adalah pada gelombang informasi kecepatan 42 suku kata per 5 detik. Hal ini disebabkan oleh berkas suara 42 suku kata per 5 detik bernilai RMS amplitudo sebesar 0,057318 dan berkas dengan kecepatan 17 suku kata per 5 detik memiliki RMS amplitudo paling kecil yaitu sebesar 0,016581.

Analisis MSE dan SNR pada Peredaman dengan Derau White Noise



Gambar 6 Grafik perbandingan MSE terhadap ketiga jenis informasi untuk derau White Gaussian

Diagram batang berwarna merah mewakili sinyal informasi 6 suku kata per 5 detik, warna kuning mewakili informasi 17 suku kata per 5 detik, dan warna biru mewakili sinyal informasi 42 suku kata per 5 detik. Sesuai dengan grafik gambar 6, nilai MSE amplitude hasil peredaman yang terbesar adalah $2,26 \times 10^{-17}$ dan yang terkecil adalah $2,24 \times 10^{-33}$. MSE hasil peredaman yang dilakukan terhadap penambahan derau putih pada ketiga sinyal informasi akan berbanding lurus dengan tingkat daya derau yang ditambahkan kepada gelombang informasi tersebut. Semakin besar tingkatan daya derau, maka MSE hasil proses peredaman semakin besar.



Gambar 7 Grafik perbandingan SNR terhadap ketiga jenis informasi untuk derau White Gaussian

Sesuai dengan grafik gambar 7, diagram batang berwarna merah mewakili sinyal informasi 6 suku kata per 5 detik, warna kuning mewakili informasi 17 suku kata per 5 detik, dan warna biru mewakili sinyal informasi 42 suku kata per 5 detik. Hasil peredaman yang dilakukan terhadap derau white Gaussian pada ketiga sinyal informasi menghasilkan nilai SNR yang paling besar yaitu $1,46 \times 10^{30}$ dan yang paling kecil adalah $1,22 \times 10^{13}$. Hal ini disebabkan oleh berkas suara 42 suku kata per 5 detik bernilai RMS amplitudo sebesar 0,057318 dan berkas dengan kecepatan 17 suku kata per 5 detik memiliki RMS amplitudo paling kecil yaitu sebesar 0,016581.

Analisis MSE dan SNR pada Peredaman dengan Gelombang Gangguan Beda Karakteristik

Pada Tabel 6 ditampilkan jenis variasi gelombang derau dengan variasi amplitudo dan durasinya. Tabel tersebut menunjukkan nilai RMS dan panjang matriks penyusun berkas gelombang pengganggu.

Tabel 1 Tabel perbandingan lima gelombang gangguan

No.	Jenis Derau	RMS	n	RMS x n
1	Rain44100.wav	0,12236	204800 x1	25059,328
2	bang44100.wav	0,16218	205039 x1	33253,225
3	applause44100.wav	0,12113	271360 x1	32869,8368
4	helikopter44100.wav	0,10933	431470 x1	47172,6151
5	bel44100.wav	0,03948	216411 x1	8543,90628

Untuk perhitungan nilai RMS, dapat digunakan persamaan melalui persamaan 14. Menentukan nilai RMS terhadap 5 variasi gelombang gangguan.

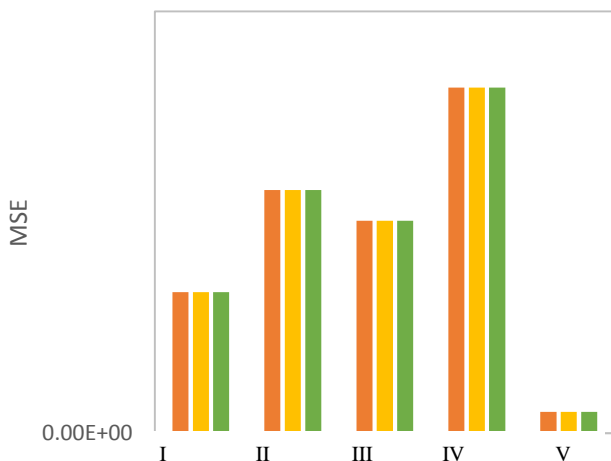
Berkas rain 44100.wav memiliki perhitungan RMS amplitude sebagai berikut :

$$x = \{ 0,15884, 0,14124, 0,098541, 0,038696, \dots, -0,0045471, -0,01181 \}$$

Panjang matriks = $n = 204800$

Berdasarkan persamaan 14, maka RMS amplitudo dari berkas rain44100.wav akan didapat sebesar:

$$RMS = 0.12236$$



Keterangan: I= Rain44100.wav, II=bang44100.wav, III=applause44100.wav, IV=helikopter44100.wav, V=bel44100.wav

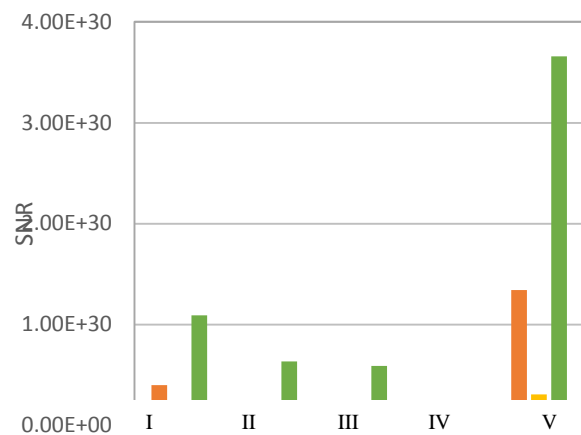
Gambar 8 Grafik perbandingan MSE terhadap ketiga jenis informasi untuk variasi gelombang gangguan dengan karakteristik yang berbeda

Dapat diperoleh informasi bahwa hasil peredaman yang dilakukan dengan variasi gelombang gangguan sesuai pada pada grafik gambar 8 akan dipengaruhi oleh nilai perkalian RMS terhadap panjang matriks gelombang pengganggu pada tabel 1. Berkas gelombang pengganggu helicopter 44100.wav memiliki nilai perkalian yang paling tinggi yaitu sebesar 47172,6151 dan nilai MSE sebesar $7,37 \times 10^{-33}$. MSE gelombang pengganggu yang paling kecil adalah berkas bel44100l.wav yaitu sebesar $4,58 \times 10^{-34}$ dan nilai perkalian RMS amplitude terhadap matriksnya adalah 8543,90628. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai MSE hasil peredaman akan berbanding lurus dengan perkalian RMS amplitude terhadap panjang matriks gelombang pengganggu.

Dari data pada Gambar 9, nilai SNR yang paling tinggi di pole pada jenis gelombang gangguan dengan nama berkas bel44100l.wav. MSE yang sama pada tiap sinyal informasi akan menghasilkan nilai SNR yang berbeda-beda. Hal ini disebabkan oleh berkas suara 42 suku kata per 5 detik bernilai RMS amplitude sebesar 0,057318 dan berkas dengan kecepatan 17 suku kata per 5 detik

memiliki RMS amplitudo paling kecil yaitu sebesar 0,016581. SNR yang paling besar diperoleh pada gelombang informasi 42 suku kata per 5 detik yaitu $3,66 \times 10^{30}$ pada saat ditumpangi gelombang gangguan bel44100l.wav. Dan nilai SNR yang paling kecil diperoleh pada gelombang informasi 17 suku kata per 5 detik yaitu sebesar $1,91 \times 10^{28}$ saat ditumpangi gelombang pengganggu helicopter 44100.wav.

Keterangan: I = Rain44100.wav, II = bang 44100.wav, III = applause 44100.wav, IV = helikopter 44100.wav, V = bel44100.wav



Gambar 9 Grafik perbandingan SNR terhadap ketiga jenis informasi untuk variasi gelombang gangguan dengan karakteristik yang berbeda

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

Peredaman derau aktif ini dibuat dengan menggunakan 3 buah gelombang informasi yang dibedakan berdasarkan jumlah suku kata per satuan waktu yaitu 6 suku kata per 5 detik, 17 suku kata per 5 detik, dan 42 suku kata per 5 detik. Jenis Derau yang ditambahkan yaitu 31 gelombang gangguan variasi frekuensi, derau putih dengan 17 variasi tingkat daya, dan 5 gelombang pengganggu dengan variasi durasi dan amplitudo. Hasil peredaman dengan dengan gelombang gangguan variasi frekuensi memberikan hasil bahwa peningkatan frekuensi gelombang pengganggu tidak mempengaruhi hasil redaman. Nilai MSE yang terbesar yang diperoleh adalah $8,16 \times 10^{-32}$ dan nilai SNR terkecil adalah $3,37 \times 10^{27}$.

Hasil peredaman dengan dengan penambahan derau putih memiliki MSE terbesar yaitu $2,26 \times 10^{-17}$. Peningkatan daya derau putih akan berbanding lurus dengan MSE hasil peredaman. Dan nilai SNR terkecil pada jenis penambahan derau putih dengan variasi tingkat daya $1,22 \times 10^{13}$. Hasil peredaman dengan penambahan variasi 5

gelombang berdurasi dan amplitudo yang berbeda akan memberikan MSE terbesar bernilai $7,37 \times 10^{-33}$. Hasil peredaman dengan gelombang gangguan ini dipengaruhi oleh besar RMS amplitudo dikalikan dengan panjang matriks gelombang pengganggu. Nilai SNR terkecil pada jenis penambahan variasi 5 gelombang gangguan dengan amplitudo dan derau berbeda adalah $1,91 \times 10^{28}$.

Referensi

Journal:

- [1]. Lakshmikanth, Natraj. K. R, Rekha. K.R. Noise Cancellation in Speech Signal Processing-A Review. International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering. 2014.
- [2]. Serene, Goh Zi Xuan. Active Noise Cancellation Headphone. National University of Singapore. 2008.
- [3]. Chin, Kah Chun, dkk. Noise Cancelling Headphone. United States Patent Application Publication. Malaysia. 2009.

Textbooks:

- [4]. Smith, Steven W. The Scientist's and Engineer's Guide to Digital Signal Processing. California Technical Publishing. San Diego. 1999.
- [5]. Vaseghi, Saeed V. Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction. Wiley. London. 2008.
- [6]. Gold, Ben, dkk. Speech and Audio Signal Processing. Wiley. New Jersey. 2011.
- [7]. McLoughlin, Ian. Applied Speech and Audio Processing. Cambridge. Singapore. 2009.
- [8]. Zolzer, Udo. Digital Audio Signal Processing. Wiley. Germany. 2008.
- [9]. Danang, Gunawandan Filbert HilmanJunowo. Pengolahan Sinyal Digital: dengan Pemrograman MATLAB. Graha Ilmu. Jakarta. 2011.

Patent

- [10]. Leug, Paul. Process of Silencing Sound Oscillations. United States Patent Office. Jerman. 1933.