

ESTIMASI SIGNAL TO NOISE RATIO (SNR) MENGGUNAKAN METODE KORELASI

Ahmad Dhiyaul Haq^{*)}, Imam Santoso, and Ajud Ajulian Zahra Macrina

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

^{*)}E-mail: ndiyak@gmail.com

Abstrak

Signal to Noise ratio (SNR) adalah suatu ukuran untuk menentukan kualitas dari sebuah sinyal yang terganggu oleh derau. Penelitian ini, estimasi SNR dilakukan dengan menggunakan metode korelasi. Sinyal masukan (sinyal uji) dimodelkan dengan sinyal sinusoidal. Sinyal derau dimodelkan sebagai sinyal random dengan distribusi normal (Gaussian). Perancangan simulasi ini dilakukan dengan menggunakan Simulink Matlab. Hasil pengujian telah diperoleh bahwa variasi frekuensi sinyal masukan menghasilkan nilai estimasi SNR yang bervariasi. Pada hasil simulasi, yang mendekati nilai SNR target adalah pada frekuensi 1000 Hz dengan metode korelasi tak tertapis dan frekuensi 500 Hz dengan metode korelasi tertapis. Ukuran frame sinyal masukan 512 sampel/frame, baik dengan metode korelasi tak tertapis maupun dengan metode korelasi tertapis. Frekuensi sampling terjadi pada 16 kHz dengan metode korelasi tak tertapis dan pada 8 kHz dengan metode korelasi tertapis. Waktu tunda sampel pada sampel adalah 50 sampel dengan metode korelasi tak tertapis dan pada 30 sampel dengan metode korelasi tertapis.

Kata-kunci: Signal to Noise Ratio (SNR), Distribusi Normal (Gaussian), Simulink Matlab.

Abstract

In a communication system, a signal transmission of information will be disturbed by the unwanted signals called noise. Signal to Noise ratio (SNR) is a measure for determining the quality of a signal are disturbed by the noise. This research, SNR estimation is done using the correlation method. The input signal (test signal) modeled by a sinusoidal signal. Signal noise is modeled as a random signal with a normal (Gaussian) distribution. The design of the simulation is performed using Simulink Matlab. The test results on simulated SNR estimation has been obtained that the variations in the frequency of the input signal produces a variety SNR value estimate. In the simulation results, the results are approximate to the target SNR value is at a frequency of 1000 Hz with the unfiltered correlation method and at frequency of 500 Hz with the filtered correlation method. Frame size of 512 samples of the input signal both with the unfiltered and the filtered correlation method. Sampling frequency occurs at 16 kHz, the with the unfiltered correlation method and at 8 kHz with with the unfiltered. Delay time at 50 samples with the unfiltered correlation method and in 30 samples with filtered correlation method.

Keywords: Signal to Noise Ratio (SNR), Distribusi Normal (Gaussian), Simulink Matlab.

1. Pendahuluan

Signal to Noise Ratio (SNR) didefinisikan sebagai rasio antara daya sinyal yang diinginkan dengan daya derau (*noise*), dan secara luas digunakan sebagai standar ukuran kualitas sinyal untuk sistem komunikasi. Suatu sinyal informasi sebagai media komunikasi akan mengalami

banyak gangguan oleh derau (*noise*), sehingga dapat merusak sinyal informasi itu. Sinyal yang mengalami gangguan ini mengalami penurunan kualitasnya. Kualitas sinyal ini dapat ditentukan nilai dari nilai *Signal to Noise Ratio (SNR)* yang diukur dalam satuan desibel (dB). Estimasi *SNR* dapat dilakukan dengan berdasarkan statistik sinyal dengan menentukan koefisien dari spektrum sinyal dan energi sinyal. Pada pendekatan statistik ini sinyal

informasi dimodelkan sebagai sinyal sinusoidal dengan sudut fase yang tetap, sedangkan sinyal derau dimodelkan sebagai sinyal random bersifat *Additive Gaussian Noise*. Berdasarkan pendekatan statistik sinyal, telah dikembangkan metode estimasi *SNR* dengan menggunakan teori korelasi, yaitu dengan menentukan nilai koefisien korelasi sinyal yang berderau. Nilai koefisien korelasi sinyal diperoleh dengan mengoperasikan fungsi korelasi sinyal yang berderau dengan waktu tunda tertentu. Nilai koefisien korelasi dari sinyal berderau ini menunjukkan besarnya persentase sinyal asli terhadap derau. Dari nilai persentase ini dapat dihitung nilai dari *SNR* dengan membandingkan persentase sinyal asli dengan derau.

Ada parameter-parameter dalam teknik ini yang perlu dievaluasi untuk mendapatkan keakuratan estimasi nilai *SNR*, diantaranya adalah bagaimana keakuratan metode ini untuk sinyal yang memiliki frekuensi-frekuensi yang berbeda, penentuan ukuran panjang *frame*, waktu tunda yang optimal, dan mengevaluasi pengaruh frekuensi sampling. Pengaruh amplitude sinyal sinusoidal, pengaruh besar kecilnya sinyal derau dan pengaruh LPF dan tanpa LPF terhadap sistem. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini akan dilakukan perancangan dan evaluasi teknik estimasi *SNR* dengan metode korelasi.

2. Metode

2.1. Korelasi

Dua runtun data yang masing-masing nilai-nilai sampelnya diambil secara serempak dari dua bentuk gelombang yang sama, akan dibandingkan. Jika dua bentuk gelombang bervariasi sama dari titik ke titik, kemudian ukuran korelasinya bisa ditentukan dengan jumlah dari perkalian (*Sum of Product*) dari titik-titik pasangan yang bersesuaian. Derajat korelasi adalah jumlah total dari perkalian *dot* antara data-data yang berpasangan pada dua data *sequence* dapat dituliskan dengan persamaan:

$$r_{12} = \sum_{n=0}^{N-1} x_1(n)x_2(n) \quad (1)$$

Hasil perhitungan derajat korelasi tergantung pada jumlah sampling data *N* yang diambil. Hasil yang digunakan setelah normalisasi adalah

$$r_{12} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_1(n)x_2(n) \quad (2)$$

$$\rho = \frac{\frac{1}{N} \sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum (x - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\frac{1}{N} \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

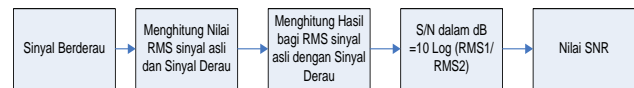
$$SNR = \frac{Sinyal}{derau} = \frac{\rho}{(1 - \rho)} \quad (4)$$

dimana ρ adalah koefisien korelasi antara sinyal informasi dan derau. Koefisien korelasi bernilai $-1 \leq \rho \leq 1$. Ini menunjukkan perbandingan antara daya sinyal dengan daya derau, sehingga *SNR* dalam dB adalah

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{\rho}{1 - \rho} \right) \text{dB} \quad (5)$$

2.2. SNR Root Mean Square

Menghitung estimasi nilai *SNR* sinyal berdasarkan nilai *RMS* sinyal tersebut. Nilai *SNR RMS* ini akan digunakan sebagai nilai *SNR* sinyal yang sebenarnya dan sebagai pembandingan dengan nilai *SNR* dengan metode korelasi. Langkah-langkah menghitung *SNR* sinyal dari *RMS* sebagai berikut:

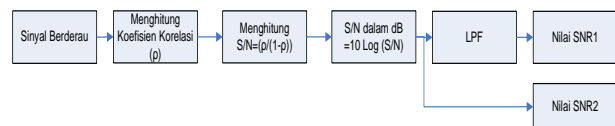


Gambar 3.2 Blok Penghitung nilai *SNR* dari *RMS* Sinyal

Blok Penghitung nilai *SNR* dari *RMS* Sinyal diperoleh dengan menghitung nilai *Root Mean Square (RMS)* dari masing sinyal asli dan sinyal derau. Nilai *RMS* ini sebagai nilai daya sinyal. Dengan demikian, didapatkan nilai *RMS* sinyal asli (*RMS1*) dan nilai *RMS* sinyal derau (*RMS2*). Untuk mendapatkan nilai *SNR* dari sinyal tersebut adalah dengan membagi *RMS1* dengan *RMS2* kemudian dijadikan dalam satuan desibel (dB). Nilai *SNR* dari *RMS* sinyal ini merupakan nilai *SNR* yang dijadikan sebagai nilai acuan atau pembandingan dari hasil *SNR* yang diperoleh dari metode korelasi.

2.3. SNR Korelasi

Untuk menghitung nilai *SNR* dengan metode korelasi, dapat dilihat pada blok berikut:



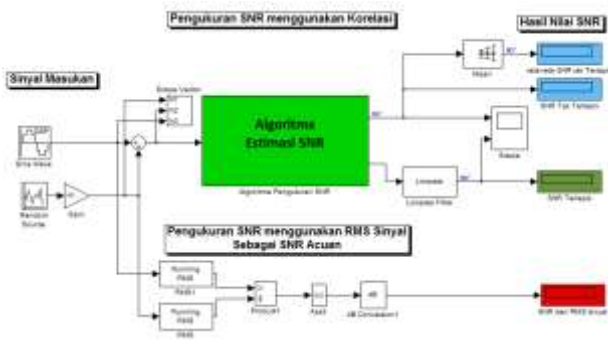
Gambar 3.3 Blok Penghitung Nilai *SNR* dengan Metode Korelasi

Sinyal berderau akan dihitung nilai koefisien korelasi terlebih dahulu. Nilai koefisien korelasi ini menunjukkan berapa besar daya sinyal asli dibanding dengan daya sinyal derau. Dengan demikian, dapat dihitung *SNR* sinyal dengan satuan desibel (dB). Nilai *SNR* ini merupakan nilai *SNR*

yang tidak tertapis (SNR_2), sedangkan nilai SNR yang melewati tapis LPF akan diperoleh nilai SNR yang tertapis (SNR_1).

2.4. Rancang Bangun Sistem Menggunakan Simulink Matlab

Secara umum Rancangan Simulasi Estimasi SNR sinyal menggunakan *Simulink* adalah sebagai berikut:



Gambar 3.4 Rancangan Sistem Simulasi Estimasi SNR

Untuk memperoleh analisis dari hasil estimasi yang didapatkan, maka dibandingkan dengan nilai SNR acuan yang diperoleh dengan menghitung nilai daya dari sinyal masukan sebelum bercampur dengan sinyal derau, yaitu menggunakan parameter *rms* (*rootmeansquare*) atau sering disebut akar kuadrat rata-rata. Jadi, sinyal sinusoidal dan sinyal derau masing-masing dihitung nilai *rms* kemudian dibandingkan antara sinyal asli dengan sinyal derau untuk mendapatkan nilai SNR . Nilai ini dijadikan sebagai pembanding dari nilai SNR yang diperoleh dengan metode korelasi. Dengan demikian, dapat dianalisis kemampuan dan keakuratan dari algoritma yang digunakan yaitu korelasi.

3. Hasil dan Analisis

Sistem yang dirancang ini memiliki tujuan untuk memperoleh nilai estimasi SNR sinyal yang berderau, mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi keakuratan algoritma yang digunakan, membandingkan nilai hasil algoritma dengan hasil SNR acuan, memperoleh pengaturan nilai-nilai parameter terbaik pada metode yang digunakan yaitu metode korelasi. Untuk menentukan parameter yang terbaik akan dilakukan beberapa percobaan, yaitu: Menentukan frekuensi sinyal masukan yang baik, menentukan panjang *frame* yang optimal, menentukan waktu tunda yang optimal, mengevaluasi pengaruh frekuensi sampling

Setelah mendapatkan parameter yang optimal, akan dilakukan pengujian analisis hasil nilai SNR . Pengujian dilakukan dengan pengaruh amplitude sinyal Sinusoidal, pengaruh besar kecilnya sinyal derau, menggunakan LPF dan tanpa LPF. Hasil ini akan dibandingkan dengan nilai SNR dari *RMS* sinyal

3.1 Simulasi Pengujian Menentukan Parameter Akurat

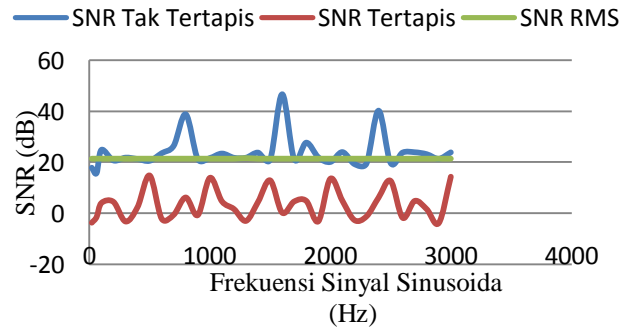
Pada pengujian ini, parameter awal yang akan digunakan sebagai acuan adalah sebagai berikut:

Sinyal Masukan adalah sinyal sinusoida dengan parameter frekuensi ($F=500$ Hz), Amplitudo ($A=10$), sudut fase ($\phi=0$ rad), frekuensi sampling 8000 Hz, *sample per frame*= 128.

Sinyal derau adalah sinyal acak dengan distribusi *Gaussian*, nilai rata-rata (*mean*)=0 dan nilai *variance*=1. Besarnya *gain* sinyal derau= 0.05. waktu untuk menjalankan simulasi = 10 step.

Menentukan frekuensi sinyal masukan yang optimal

Pengujian yang telah dilakukan untuk menentukan frekuensi sinyal masukan yang optimal yang bekerja pada sistem dapat dilihat pada gambar grafik 4.1.



Gambar 3.1 Grafik hasil estimasi SNR dengan variasi frekuensi sinyal masukan

Berdasarkan gambar grafik diatas terlihat bahwa nilai estimasi SNR untuk beragam frekuensi menunjukkan nilai yang bervariasi. Pada gambar grafik 3.1 terlihat nilai estimasi SNR berkisar antara -4 dB– 46,7 dB. Dengan rentang hasil nilai SNR yang bervariasi ini menunjukkan bahwa pengaruh derau terjadi pada setiap frekuensi, sehingga tampak nilai SNR sinyal uji mengalami perubahan yang cukup signifikan. Hal ini sesuai dengan sifat derau bahwa derau bekerja pada setiap frekuensi.

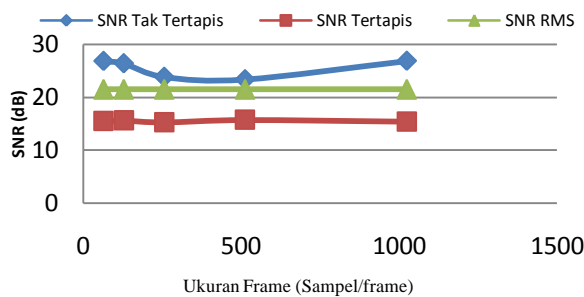
Pada hasil SNR yang didapatkan dari RMS sinyal sebesar 21,5 dB. Nilai ini sebagai nilai SNR target atau nilai pembanding.

Berdasarkan gambar 3.1 menunjukkan bahwa kinerja algoritma estimasi SNR ini dapat bekerja dengan akurat pada frekuensi-frekuensi tertentu. Semakin kecil nilai selisihnya maka semakin baik kinerja algoritma tersebut, karena lebih mendekati nilai SNR target. Pada metode korelasi Tak Tertapis menunjukkan nilai estimasi SNR yang mendekati SNR target dibandingkan dengan metode korelasi Tertapis. Hal ini tampak pada nilai selisih SNR dengan SNR target. Pada metode korelasi Tak Tertapis terlihat beberapa frekuensi yang menunjukkan angka selisih yang kecil dibawah satu yaitu pada frekuensi 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 900 Hz, 1000 Hz, 1200 Hz, 1300 Hz, 1500 Hz, 1700 Hz, 1900 Hz, 2900 Hz. Hanya pada frekuensi 1000 Hz terjadi nilai selisih yang terkecil yaitu 0,12 dB, sehingga menunjukan frekuensi sinyal masukan yang terakurat.

Pada metode korelasi Tertapis secara umum memiliki selisih yang cukup besar jika dibandingkan dengan korelasi Tertapis. Selisih terkecil 6,67 dB pada frekuensi 500 Hz. Frekuensi 1000 Hz, 1500 Hz, 2000 Hz, 2500 Hz, dan 3000 Hz memiliki selisih yang rendah. Selisih terbesar pada frekuensi 2900 Hz dengan selisih 25,34 dB.

Menentukan panjang *frame* yang optimal

Pada data pengujian yang telah dilakukan diperoleh data hasil pengujian. Pengujian dilakukan dengan variasi ukuran panjang *frame* dengan selisih dengan *SNR RMS* (target 21,5dB).



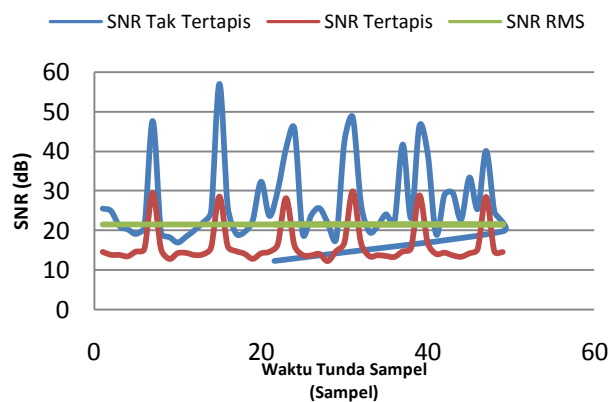
Gambar 3.2 Grafik hasil estimasi SNR dengan variasi ukuran *frame* dengan SNR RMS

Gambar 4.2 menunjukkan hasil nilai estimasi SNR dengan beberapa variasi ukuran panjang *frame* untuk sinyal uji (sinyal sinusoida). Pengujian frekuensi dilakukan dari 64 sampai 1024 *sampleperframe*. Terlihat nilai SNR Tak

Tertapis berkisar antara 23,33 – 26,84 dB. Sedangkan pada SNR Tertapis berkisar antara 15,26 -15,74 dB. Hal ini menunjukkan bahwa SNR Tertapis lebih mendekati dengan SNR target dibandingkan dengan SNR Tak Tertapis. Berdasarkan Gambar 4.2 terlihat bahwa ukuran *frame* yang akurat bekerja pada 512 sampel per *frame* dengan nilai selisih paling kecil sebesar 1,83 dB mendekati nilai SNR RMS(Target) dengan metode korelasi Tak Tertapis. Sedangkan pada metode korelasi Tertapis, ukuran *frame* yang paling akurat juga pada 512 sampel per frame. Metode korelasi tanpa LPF menunjukkan hasil yang lebih baik daripada metode korelasi dengan LPF. Hal ini dapat dilihat pada nilai selisih dengan SNR target. Terbukti dengan rata-rata selisih lebih kecil dibanding SNR Tak Tertapis yaitu 3,93 dB.

Menentukan waktu tunda yang optimal

Hasil pengujian untuk menentukan waktu tunda yang optimal dengan variasi waktu tunda 1-50 dapat dilihat pada gambar grafik 4.3.



Gambar 3.3 Grafik hasil estimasi SNR dengan variasi waktu tunda

Berdasarkan gambar 3.3, terlihat bahwa hasil SNR Tertapis lebih akurat dibandingkan dengan SNR Tak Tertapis. Terbukti dengan rata-rata selisih lebih kecil dibanding SNR Tak Tertapis yaitu 7,07 dB. Waktu tunda yang akurat terletak pada waktu tunda 50 sampel dengan selisih yang paling kecil yaitu 0,1 dB terhadap SNR RMS (Target 21,5 dB). Pada metode korelasi Tak Tertapis, waktu tunda sampel yang akurat dengan selisih dibawah satu yaitu sampel 2, 3, 6, 13, 28, 34, 36 dan 50. Hanya pada sampel 50 terjadi selisih terkecil, sehingga paling mendekati SNR Target. Sedangkan pada metode korelasi Tertapis, waktu tunda yang paling akurat terletak pada 30 sampel dengan selisih 4,53 dB.

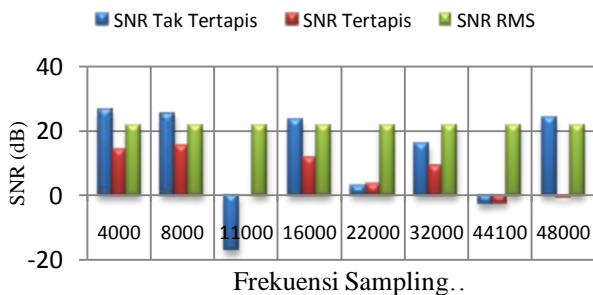
Dari gambar grafik 3.3 menunjukkan hasil nilai SNR dengan beberapa variasi waktu tunda sampel, selisih antara hasil metode korelasi dengan SNR RMS (Target 21,5 dB). Pengujian dilakukan dari nilai 1 – 50 sampel.

Berdasarkan gambar grafik diatas terlihat bahwa nilai estimasi SNR untuk beragam waktu tunda menunjukkan nilai yang bervariasi. Terlihat bahwa nilai SNR Tertapis maupun tidak Tertapis juga menunjukkan nilai yang bervariasi. Pada SNR Tertapis berkisar antara 17,05 -57,03 dB, sedangkan pada SNR Tertapis berkisar antara 12,3 – 29,99 dB. Hal ini menunjukkan nilai yang cukup akurat jika dibandingkan dengan SNR Target 21,5 dB.

Mengevaluasi pengaruh frekuensi sampling

Hasil Pengujian variasi frekuensi sampling sampling pada sistem dapat dilihat pada gambar grafik 3.4.

Hasil pengujian variasi frekuensi sampling dan selisih SNR korelasi dengan RMS(Target=21,5 dB). Dari gambar grafik 4.4 menunjukkan hasil nilai SNR dengan beberapa variasi frekuensi sampling untuk sinyal uji (sinyal sinusoidal). Pengujian frekuensi dilakukan dari 4000 – 48000 Hz



Gambar 3.4 Grafik variasi frekuensi sampling dengan nilai SNR

Berdasarkan gambar grafik diatas terlihat bahwa nilai estimasi SNR untuk beragam frekuensi sampling sinyal uji menunjukkan nilai yang bervariasi. Terlihat nilai SNR Tak Tertapis berkisar antara -17,2 – 26,4 dB. Sedangkan pada SNR Tertapis berkisar antara -2,57 – 15,36 dB. Pada frekuensi sampling 11 kHz, 22 kHz dan 44,1 kHz menghasilkan nilai SNR yang rendah. Ini menunjukkan algoritma simulasi bekerja kurang akurat pada frekuensi sampling tersebut. Frekuensi yang paling akurat adalah pada frekuensi sampling 16 kHz dengan selisih terkecil dengan SNR RMS (Target 21,5 dB) yaitu 1,67 dB pada SNR Tak Tertapis dan selisih 6,14 dB terletak pada frekuensi sampling 8 kHz pada SNR Tertapis. Secara umum SNR tanpa menggunakan LPF lebih baik dibandingkan dengan

SNR dengan LPF, terbukti dari nilai selisih yang lebih kecil yaitu 12,51 dB dari rata-rata selisih.

Dari data – data hasil pengujian simulasi, maka telah didapatkan nilai parameter yang akurat pada rancangan simulasi estimasi SNR. Nilai parameter ini dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Hasil Pengujian Menentukan Parameter yang Akurat

Parameter	Metode Korelasi Tak Tertapis	Metode Korelasi Tertapis
Frekuensi Masukan	1000 Hz	500 Hz
Ukuran frame	512 sampel/ frame	512 sampel/ frame
Frekuensi Pencuplikan	16 kHz	8 kHz
Waktu Tunda	50 sampel	30 sampel

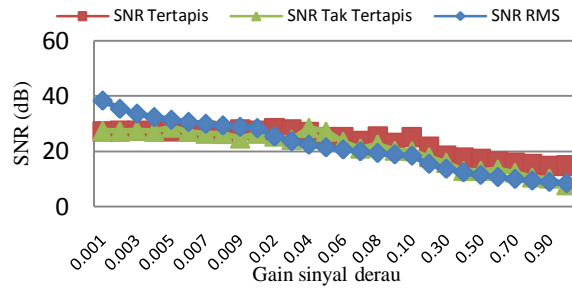
Pada Tabel 3.1 dapat disimpulkan bahwa frekuensi sinyal masukan terjadi pada 1000 Hz dengan metode korelasi Tak Tertapis dan pada 500 Hz dengan metode korelasi Tertapis, ukuran frame terletak pada 512 sampel/frame. frekuensi sampling pada 16 kHz dengan metode korelasi Tak Tertapis dan 8 kHz dengan metode korelasi Tertapis. Untuk waktu tunda terletak pada sampel ke-50 dengan metode korelasi Tak Tertapis dan 30 sampel dengan metode korelasi Tak Tertapis.

3.2 Pengujian Analisis Algoritma

Setelah dilakukan pengujian untuk menentukan parameter-parameter simulasi program dan telah didapatkan nilai parameter yang akurat maka akan dilakukan pengujian untuk analisis algoritma untuk mengetahui: pengaruh dari besar kecilnya amplitude sinyal sinusoida, pengaruh besar kecilnya sinyal derau dengan berbagai variasi penguatan (gain), kemudian menganalisis algoritma dengan menggunakan LPF dan tanpa menggunakan LPF. Hasil ini akan dibandingkan dengan nilai SNR dari RMS sinyal.

Pengujian Pengaruh Kuat Lemahnya Sinyal Derau

Hasil pengujian pengaruh kuat lemahnya sinyal derau atau persentase besar kecilnya penguatan sinyal derau dapat dilihat pada gambar grafik 4.5 :



Gambar 3.5 grafik variasi besarnya gain sinyal derau dengan nilai SNR

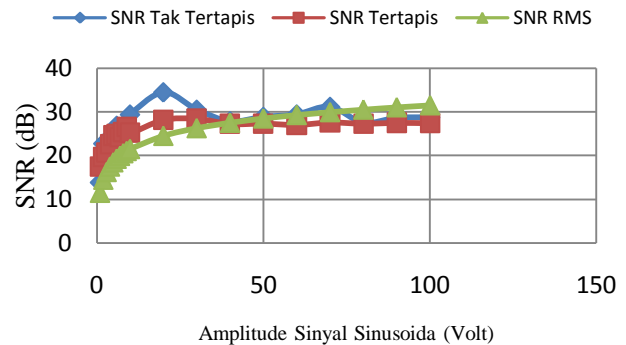
Dari gambar grafik 3.5 menunjukkan hasil nilai SNR dengan beberapa variasi besarnya nilai *gain* sinyal derau. Pengujian ini dilakukan dari penguatan sebesar 0.001 - 1. Tampak bahwa SNR Tak Tertapis dengan SNR Tertapis memiliki keakuratan yang cukup jika dibandingkan dengan SNR RMS (Target). Terlihat bahwa rata-rata selisih dengan SNR target yaitu 3,11 dB dan 4,9 dB. Secara lebih jelas dapat dilihat pada gambar grafik 3.5 berikut.

Berdasarkan gambar grafik diatas terlihat bahwa nilai estimasi SNR untuk beberapa variasi besarnya nilai *gain* sinyal derau menunjukkan nilai yang bervariasi. Terlihat nilai SNR mengalami penurunan nilai seiring dengan kenaikan nilai *gain* sinyal derau. Hal ini terjadi karena semakin besar penguatan sinyal derau semakin kecil nilai SNR.

Pengujian Pengaruh Amplitude Sinyal Masukan

Hasil pengujian pengaruh besarnya amplitud sinyal masukan terhadap nilai *SNR* dapat dilihat gambar grafik 3.6 yang menunjukkan hasil pengujian estimasi nilai *SNR* dengan beberapa variasi amplitud sinyal uji (sinyal sinusoidal). Pengujian ini dilakukan dari amplitud 1-100 Volt untuk mengetahui pengaruh besarnya amplitud sinyal uji.

Pada data hasil pengujian terlihat bahwa nilai estimasi SNR bervariasi dengan rata-rata selisih yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan SNR RMS yaitu 4,34 dB dengan metode korelasi tanpa LPF dan selisih 3,86 dB dengan metode korelasi Tertapis. Secara lebih jelas dapat dilihat gambar grafik data hasil pengujian variasi amplitud sinyal sinusoidal pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Grafik variasi besarnya gain sinyal derau dengan nilai SNR

Berdasarkan gambar grafik diatas terlihat bahwa nilai estimasi SNR untuk beberapa variasi amplitud sinyal uji (sinyal sinusoidal) menunjukkan nilai yang bervariasi. Pada gambar grafik 3.6 terlihat nilai SNR mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya nilai amplitud sinyal sinusoidal. Semakin besar amplitud sinyal maka semakin besar nilai SNR sinyal.

Tampak bahwa SNR Tak Tertapis dengan SNR Tertapis memiliki keakuratan yang cukup jika dibandingkan dengan SNR RMS (Target).

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut: Pada hasil simulasi, estimasi SNR yang paling mendekati nilai SNR target adalah pada frekuensi 1000 Hz dengan metode korelasi tak tertapis dan frekuensi 500 Hz dengan metode korelasi tertapis. Ukuran frame sinyal masukan adalah 512 sampel/frame, baik dengan metode korelasi tak tertapis maupun dengan metode korelasi tertapis. Frekuensi sampling terjadi pada 16 kHz dengan metode korelasi tak tertapis dan pada 8 kHz dengan metode korelasi tertapis. Waktu tunda sampel adalah pada 50 sampel dengan metode korelasi tak tertapis dan pada 30 sampel dengan metode korelasi tertapis.

Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut: Perlu pengujian untuk sinyal masukan selain sinusoidal, misalnya sinyal segitiga, sinyal kotak, sinyal gergaji. Dapat dilakukan pengujian untuk sinyal uji hasil dari rekaman suara untuk diestimasi nilai SNR sinyal suara tersebut. Dapat dikembangkan dengan melakukan pengujian parameter parameter yang lebih variatif untuk setiap pengujian agar mendapatkan hasil yang lebih akurat lagi.

Referensi

Journal:

- [1]. G. Marsaglia and W. W. Tsang, *The ziggurat method for generating random variables*, *Journal of Statistical Software*, 5 (2000), pp. 1-7.
- [2]. Kim, Chanwoo and Richard M. Stern, *Robust Signal-to-Noise Ratio Estimation Based on Waveform Amplitude Distribution Analysis*, Department of Electrical and Computer Engineering and Language Technologies Institute Carnegie Mellon University, Pittsburgh, 2008.
- [3]. Puspasari, Ratih. 2010. *Analisa dan Perancangan Aplikasi Bantu Perbaikan signal to noise ratio (SNR) dengan Metode Flat-Top Sampling*. Vol3 No.2 (2010), pp.220-235.

Textbooks:

- [4]. HSU, Hwei, Ph.D, "Schaum's Outlines, *Komunikasi Analog dan Digital, edisi kedua*. Erlangga, Jakarta, 2006.
- [5]. Ifeachor, Immanuel C. and Barrie W. Jervis, *Digital Signal Processing: A Practical Approach*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1993.
- [6]. Kahlil, Mohamad, *Advanced signal processing*, Lebanese university, 2012.
- [7]. Manolakis, Dimitris G., V. Ingle and S. Kogon. *Statistical and Adaptive Signal Processing: Spectral Estimation, Signal Modelling, Adaptive Filtering and Array Processing*, McGraw Hill, 2000.
- [8]. Mertins, Alfred, *Signal Analysis: Wavelets, Filter Banks, Time-Frequency Transforms and Applications*, John Wiley & Sons Ltd, 1999.
- [9]. Openheim, Alan V. and Alan S. Willsky. *Sinyal dan Sistem, Edisi kedua jilid I*, diterjemahkan oleh N.R. Poespawati dan Agus Santoso Tamsir, Erlangga, Jakarta 2000.
- [10]. Proakis, John G. and Dimitris G. Manolakis. *Digital Signal Processing Principles. Algorithms, and Applications, Third edition*. Prentice-Hall International Inc, 1996.
- [11]. Proakis, John G and Dimitris G. Manolakis. "Pemrosesan sinyal digital: Prinsip-Prinsip, Algoritma dan Aplikasi, Edisi Bahasa Indonesia Jilid I. Prenhallindo, 1997.
- [12]. Prot, Sebastian and Kent Palmkvist, *TSTE91 System Design Communications System Simulation Using Simulink Part V OFDM by IFFT Modulation*, Electronic Systems, Dept. EE, LiTH, 2003
- [13]. Sklar, Bernard, *Digital Communications : Fundamentals and Applications*, Prentice Hall Inc., 1988.
- [14]. Taub, Herbert and Donald L. Schilling, *Principles of Communication Systems, 2nd Edition*, Mc Graw-Hill, Inc, 1986.

Undergraduate Thesis/Disertation

- [15]. Sundiman, Didi, *Pembuatan Software Digital Signal Processing Menggunakan Bahasa Pemrograman Visual C++*, Teknik Elektro, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 2003.

Internet

- [16]. Haag, Michael, *Correlation and Covariance of a Random Signal*, <http://cnx.rice.edu> Maret 2012.
- [17]. ----, *Using Simulink*, The MathWorks, Inc <http://mathworks.com> 2012