

SIMULASI AKUISISI DATA SINYAL AUDIO

Khairunnisa¹⁾, Yoenie Indrasary²⁾

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri
Banjarmasin

Jl. Brig.Jend. H. Hasan Basri, Kampus Unlam, Banjarmasin 70123

Email : ¹⁾khairunnisa.poliban@gmail.com, ²⁾indrasary@gmail.com

ABSTRAK

Proses dimana fenomena fisik dari dunia nyata diubah menjadi sinyal listrik yang diukur dan dikonversi menjadi bentuk digital untuk pengolahan, analisis, dan penyimpanan oleh komputer disebut sebagai akuisisi data. Proses akuisisi data bersumber dari sinyal audio yang diinput melalui mikrophone. Kemudian sinyal suara yang direkam di proses sebagai masukan pada sistem ADC, diproses sehingga menghasilkan cuplikan sesuai dengan frekuensi sampling yang diinginkan, sinyal sampling dikuantisasi, hasil kuantisasi dikonversi menjadi kode biner. Selanjutnya kode biner menjadi masukan pada DAC. Sinyal digital diinterpolasi sehingga mendapatkan kembali bentuk sinyal analog sesuai dengan karakteristik sinyal input. Aplikasi yang dibuat berhasil menampilkan visualisasi grafik proses pengolahan sinyal audio meliputi karakteristik sinyal audio, proses sampling, kuantisasi, coding dan decoding. Akuisisi data di uji dalam 3 bit, 4 bit dan 8 bit data pada frekuensi pencuplikan 100, 250 dan 450 cuplikan/s. Hasil filtering menunjukkan, semakin tinggi bit data dan frekuensi pencuplikan akan menghasilkan grafik keluaran sinyal yang lebih halus dengan noise yang lebih kecil. Frekuensi sinyal dibaca dari magnitude sinyal keluaran.

Kata Kunci: Akuisisi Data, Sinyal Audio, ADC/DAC

ABSTRACT

The process by which the physical phenomena of the real world is converted into an electrical signal which is measured and converted to digital form for processing, analysis, and storage by the computer is referred to as data acquisition. The source of data procurement process is from the audio signal inputted through a microphone. Then the voice signal is recorded, the recording result is used as an input to the ADC system, and then processed to produce sample according to the desired sampling frequency, the sampling signal is quantized, and the quantization results are converted into binary code. Furthermore, binary code is input to the DAC. The digital signal is filtered so as to regain the form of an analog signal following characteristics of the entry signal. The application created for the data acquisition system successfully display the graph visualization of processing an audio signal includes audio signal characteristics, the process of sampling, quantization, coding, and decoding. The data acquisition is tested in the 3-bits, 4-bits and 8-bits data at sampling frequencies of 100, 250 and 450 footage/second. The filtering results showed that the higher sampling rate and data bit would generate smoother graphics signal output with smaller noise. Signals frequencies are read from the magnitude of the output signal.

Keywords : Data Acquisition, Audio Signal, ADC/DAC

PENDAHULUAN

Memahami proses pengolahan sinyal adalah hal yang tidak gampang. Umumnya mahasiswa mengalami kesulitan memahami teori yang diberikan untuk kemudian diaplikasikan pada masukan dan keluaran sistem rangkaian. Hal ini dikarenakan proses pengolahan sinyal melibatkan persamaan matematika kompleks dan banyak algoritma. Kadang kala, apa yang disampaikan memerlukan gambaran grafis untuk memahaminya karena sinyal itu sendiri, baik analog maupun digital, tidak bisa ditangkap oleh panca indra manusia secara fisik.

Simulasi pengolahan sinyal suara pernah dilakukan dimana hasil rekaman yang dilakukan diproses sedemikian rupa sehingga dapat memberikan informasi tentang nilai frekuensi yang dihasilkan, grafik sinyal suara dan spektrumnya [1]. Dalam penelitian ini, proses akuisisi data bersumber dari sinyal audio yang diinput melalui mikrophone. Kemudian sinyal suara yang direkam di proses sebagai masukan pada sistem ADC, diproses sehingga menghasilkan cuplikan sesuai dengan frekuensi sampling yang diinginkan, sinyal sampling dikuantisasi, hasil kuantisasi dikonversi menjadi kode biner. Selanjutnya kode biner menjadi masukan pada DAC. Sinyal digital diinterpolasi sehingga mendapatkan kembali bentuk sinyal analog sesuai dengan karakteristik sinyal input.

Tujuan Penelitian

- Mengolah sinyal wicara yang didapat dari input (mikrophone) dan menampilkan perubahan fisis yang terjadi melalui visualisasi grafik sinyal;
- Merepresentasikan proses konversi dan transformasi data analog ke digital dan digital ke analog secara grafis;
- Menampilkan grafik sinyal audio sehingga dapat memberikan informasi karakteristik sinyal audio yang akan diolah;
- Menguji dan membandingkan hasil konversi sinyal analog sinusoida,

sinyal deterministik dan sinyal audio pada beberapa variable bit data dan frekuensi pencuplikan yang berbeda;

Batasan Masalah

- Mekanisme sistem akuisisi data adalah dari mikrophone ke PC;
- Perangkat lunak yang digunakan adalah Matlab;
- Sinyal analog yang digunakan sebagai pembanding terhadap sinyal audio adalah sinyal sinusoida dan sinyal deterministik;
- Sinyal audio ditampilkan dalam bentuk grafik.

METODE

Penulis telah melakukan beberapa studi literatur meliputi artikel, jurnal dan *ebook*. Banyak artikel yang membahas tentang akuisisi data sinyal suara menggunakan Matlab.

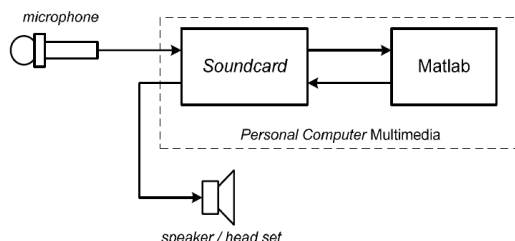
Jurnal yang kami jadikan acuan berjudul Pengolahan Sinyal Suara Menggunakan Matlab tulisan Richie Estrada yang dimuat di Jurnal Teknokrida Volume 6 tahun 2008[1]. Berdasarkan jurnal tersebut, perangkat yang digunakan untuk melakukan proses perekaman dan pengolahan sinyal adalah mikrophone sebagai input, PC sebagai pemroses data suara, dan speaker sebagai media untuk mendengarkan hasil pengolahan data suara. Grafik sinyal suara yang dihasilkan hanya menampilkan informasi frekuensi sampling, sinyal suara yang direkam, dan spektrum sinyalnya.

Dalam penelitian yang kami lakukan, proses pengerjaan meliputi penataan perangkat-perangkat untuk teknik perekaman dan pengolahan sinyal suara. Selanjutnya membuat program untuk merekam sinyal wicara dalam bentuk M-file dan window MATLAB untuk menampilkan hasil rekaman suara berupa grafik [1].

Ada empat proses utama yang dilakukan untuk mengakuisisi data sinyal suara dengan Matlab :

- Inisialisasi, membuat objek device

- Konfigurasi, menambahkan kanal serta mengatur cara akuisisi
- Eksekusi, memulai (mengaktifkan) objek device dan akuisisi atau mengirim data
- Terminasi, menghapus objek device.



Gambar 1. Diagram blok sistem

Pengujian dilakukan dengan tahapan :

- Pengujian sinyal analog
- Pengujian sinyal diskrit
- Pengujian akuisisi data sinyal internal yang dibangkitkan oleh Matlab dan sinyal eksternal dengan input sinyal audio dari microphone meliputi sampling, kuantisasi, koding, decoding dan interpolasi.
- Pengujian dilakukan pada beberapa variable bit data dan frekuensi pencuplikan yang berbeda.

Langkah-langkah / prosedur penelitian selengkapnya ditunjukkan dalam Gambar 25.

TINJAUAN PUSTAKA

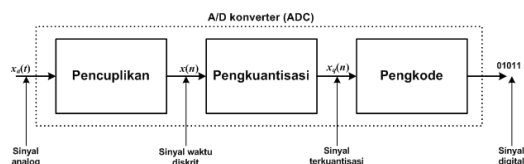
Mekanisme ADC/DAC

Konversi Analog-ke-Digital (Digital-to-Analog Converter)

ADC terbagi dalam tiga-langkah proses, yaitu [2] :

- Pencuplikan (*sampling*). Ini adalah konversi suatu sinyal waktu-kontinu menjadi suatu sinyal waktu-diskrit yang diperoleh dengan mengambil “cuplikan” sinyal waktu-kontinu pada saat waktu diskrit. Jadi jika $x_a(t)$ adalah masukan terhadap pencuplik, keluarannya adalah $x_a(nT_p) \equiv x(n)$ dengan T_p dinamakan selang pencuplikan.

- Kuantisasi (*quantization*). Ini adalah konversi sinyal yang bernilai-kontinu waktu-diskrit menjadi sinyal (digital) bernilai-diskrit waktu-diskrit. Nilai setiap cuplikan sinyal digambarkan dengan suatu nilai terpilih dari himpunan berhingga nilai-nilai yang mungkin. Selisih antara cuplikan $x(n)$ yang tidak terkuantisasi dan keluaran $x_q(n)$ yang terkuantisasi dinamakan kesalahan kuantisasi (*quantization error*).
- Pengkodean (*Coding*). Dalam proses pengkodean, setiap nilai diskrit $x_q(n)$ digambarkan dengan suatu nilai biner.



Gambar 2. Blok diagram dasar ADC

Persamaan (1) adalah persamaan umum sinyal analog sinusoidal[2].

$$x_a(t) = A \cos(\omega_a t + \theta) \quad (1)$$

Dimana :

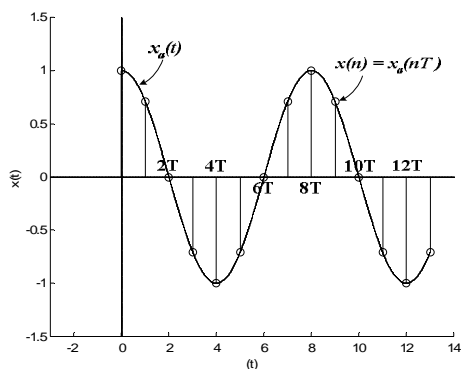
- $x_a(t)$ = sinyal analog (subskrip a menunjukkan analog)
- A = amplitudo atau $x_a(t)$ maksimum
- ω_a = frekuensi sudut (rad/sekond)
= $2\pi f_a$
- θ = fase

1) Pencuplikan (*Sampling*)

Persamaan (2) menunjukkan pencuplikan yang digunakan untuk mencuplik sinyal analog adalah pencuplikan periodik[2].

$$x(n) = x_a(nT_p), -\infty < n < \infty \quad (2)$$

Dengan $x(n)$ adalah sinyal waktu diskrit yang diperoleh dengan “mengambil cuplikan-cuplikan” sinyal analog $x_a(t)$ setiap T detik. Prosedur ini disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses pencuplikan periodik sinyal analog

Persamaan (3) menunjukkan selang waktu T_p antara cuplikan yang berurutan dinamakan periode pencuplikan atau selang cuplikan dan kebalikannya[2]:

$$\frac{1}{T_p} = F_p \quad (3)$$

F_p dinamakan sebagai laju pencuplikan (cuplikan/detik) atau frekuensi pencuplikan. Pencuplikan periodik menetapkan suatu hubungan antara variabel waktu t dan n dari sinyal waktu-kontinu dan dari sinyal waktu-diskrit, sebagai [2]:

$$t = nT_p = \frac{n}{F_p} \quad (4)$$

Sebagai konsekuensi dari persamaan (4), terdapat hubungan antara variabel frekuensi untuk sinyal analog dan variabel frekuensi untuk sinyal diskrit [2]:

$$x_a(t) = A \cos(2\pi F_a t + \theta) \quad (5)$$

bila dicuplik secara periodik pada laju $F_p = 1/T_p$ cuplikan per detik, menghasilkan [2]:

$$x_a(nT_p) \equiv x(n) = A \cos\left(\frac{2\pi F_a n}{F_p} + \theta\right) \quad (6)$$

Sinyal diskrit sinusoida didefinisikan sebagai [2] :

$$x(n) = A \cos(\omega_d n + \theta) \quad (7)$$

$$x(n) = A \cos(2\pi F_d n + \theta) \quad (8)$$

Jika kita membandingkan persamaan (6) dan (7), variabel frekuensi F_a dan F_d berhubungan secara linear, yaitu [2]:

$$F_d = \frac{F_a}{F_p} \quad (9)$$

Dimana :

F_a = Frekuensi sinyal analog

F_d = Frekuensi sinyal diskrit

2. Kuantisasi (*Quantization*)

Operasi pengkuantisasi pada cuplikan $x(n)$ sebagai $Q[x(n)]$ dan $x_q(n)$ menunjukkan deret cuplikan terkuantisasi pada keluaran pengkuantisasi. Sehingga [2]:

$$x_q(n) = Q[x(n)] \quad (10)$$

Maka kesalahan kuantisasi adalah deret $e_q(n)$ yang didefinisikan sebagai selisih antara nilai terkuantisasi dan nilai sebenarnya [2]:

$$e_q(n) = x_q(n) - x(n) \quad (11)$$

Proses kuantisasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4, meliputi langkah-langkah untuk menetapkan [2]:

- Δ adalah ukuran langkah kuantisasi atau resolusi

$$\Delta = \frac{x_{maks} - x_{min}}{L - 1} \quad (12)$$

x_{min} dan x_{maks} = menyatakan nilai $x(n)$ minimum dan maksimum

L = jumlah tingkatan kuantisasi

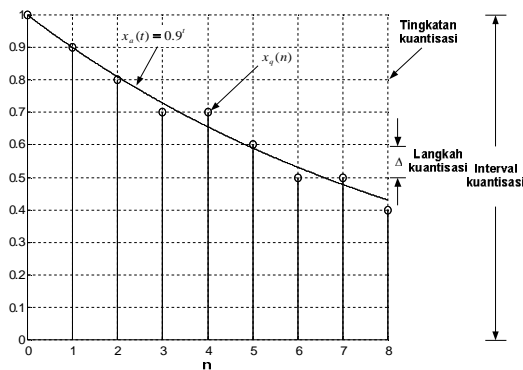
$x_{maks} - x_{min}$ = interval dinamis

- Tingkatan kuantisasi adalah nilai-nilai yang diijinkan ADC untuk sinyal diskrit.

3. Pengkodean (*Coding*)

Proses pengkodean dalam ADC memberikan suatu angka biner yang unik untuk setiap tingkatan kuantisasi. Jika kita mempunyai L tingkatan kuantisasi, kita perlu sekurang-kurangnya L angka biner yang berbeda. Dengan panjang kata b bit, kita dapat menciptakan 2^b angka biner yang berbeda. Ditunjukkan pada persamaan (13):

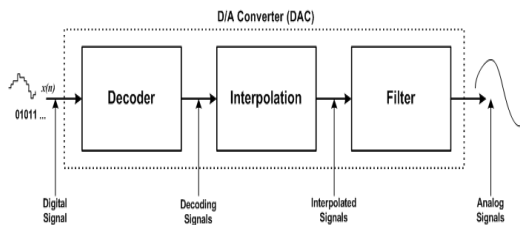
$$2^b \geq L \text{ atau } b \geq \log_2 L \quad (13)$$



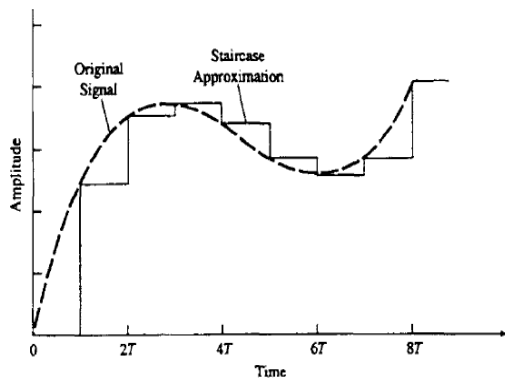
Gambar 4. Ilustrasi kuantisasi

Konversi Digital-ke-Analog (Digital-to-Analog Converter)

Untuk mengkonversi sinyal digital menjadi sinyal analog dapat dilakukan dengan menginterpolasi cuplikan, dari cuplikan yang satu ke cuplikan yang berikutnya. Ketelitian interpolasi bergantung pada kualitas proses konversi [2]. Blok diagram dasar DAC dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 menunjukkan konversi digital ke analog.

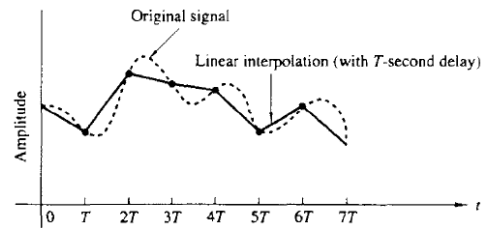


Gambar 5. Blok diagram dasar DAC



Gambar 6. Konversi digital ke analog dengan metode zero order hold

Konektor titik linear dengan waktu tunda T detik dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Konektor titik linear dengan waktu tunda T detik

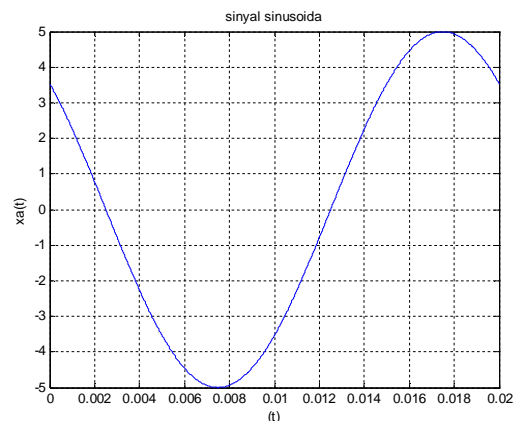
Gambar 6 mengilustrasikan suatu bentuk konversi D/A sederhana, yang dinamakan zero order hold atau pendekatan tangga, yaitu menahan nilai konstan cuplikan sampai cuplikan lainnya diterima. Pendekatan lain yang bisa digunakan seperti menghubungkan suatu pasangan cuplikan berurutan secara linear (interpolasi linear), yaitu menghubungkan cuplikan berurutan dengan potongan garis lurus. Pendekatan-pendekatan lain yang mungkin, seperti menempatkan suatu kurva kuadratik dengan tiga cuplikan berurutan (interpolasi kuadratik), dan seterusnya [2].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Akuisisi Data Sinyal Analog Sinusoida

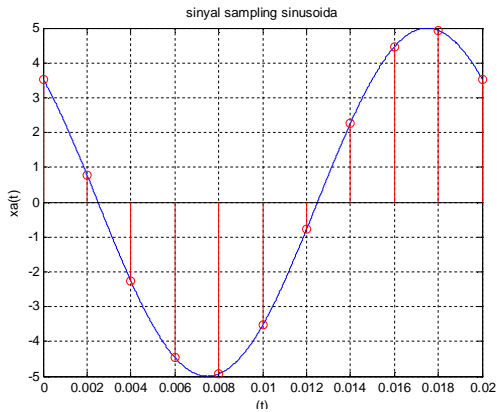
a. Membangkitkan Sinyal Analog Sinusoida

Sinyal analog sinusoida yang akan disimulasikan adalah $x_a(t) = A \cos(2\pi f_a t + \theta)$, dengan frekuensi analog 50 Hz dan phase pergeseran 45°

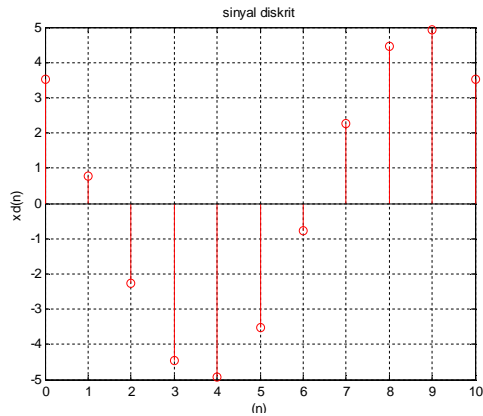


Gambar 8. Sinyal sinusoida $x_a(t) = A \cos(2\pi f_a t + \theta)$, $A = 5V, f_a = 50Hz, \theta = 45^\circ$

b. Sampling Sinyal Sinusoida

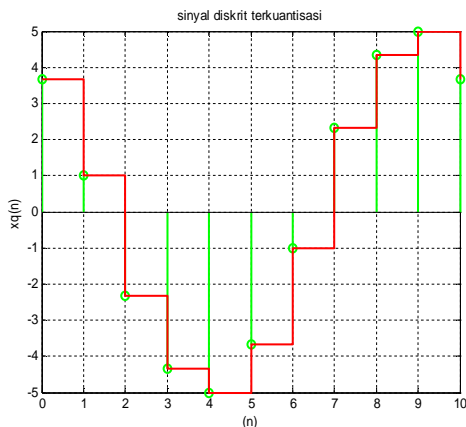


Gambar 9. Sinyal sinusoida $x_a(t) = A \cos(2\pi f_a t + \theta)$, $A = 5V$, $f_a = 50\text{Hz}$, $\theta = 45^\circ$ disampling dengan frekuensi pencuplikan $f_p = 500$ cuplikan/s



Gambar 10. Sinyal diskrit sinusoida $x_d(n) = A \cos(2\pi f_d n + \theta)$, $A = 5V$, $\theta = 45^\circ$ disampling dengan frekuensi pencuplikan $f_p = 500$ cuplikan/s, sehingga $f_d = f_a / f_p = 1/10$ dan perioda $N = 10$

c. Kuantisasi Sinyal Sinusoida Diskrit



Gambar 11. Sinyal diskrit sinusoida terkuantisasi $x_q(n)$ untuk sinyal diskrit gambar 10 dengan ADC 4 bit

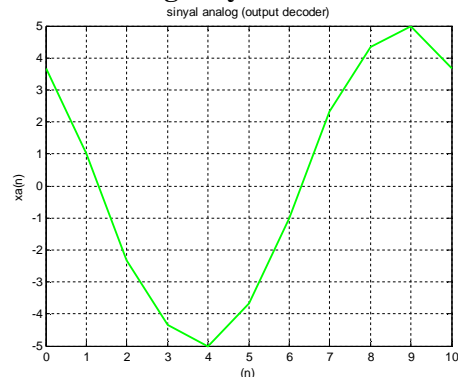
d. Pengkodean Sinyal Sinusoida Diskrit

Program simulasi akuisisi sinyal analog sinusoida dirancang sedemikian hingga dapat menampilkan hasil coding sinyal terkuantisasi dalam bentuk biner.

data keluaran ADC 4 bit:

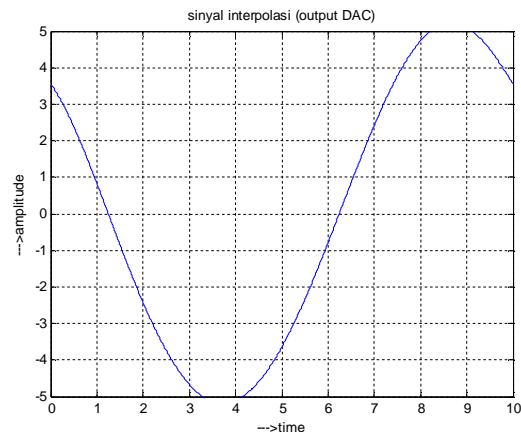
$x(n)$	$x_q(n)$	data biner
3.5355	3.6667	1101
0.7822	1.0000	1001
-2.2700	-2.3333	0100
-4.4550	-4.3333	0001
-4.9384	-5.0000	0000
-3.5355	-3.6667	0010
-0.7822	-1.0000	0110
2.2700	2.3333	1011
4.4550	4.3333	1110
4.9384	5.0000	1111
3.5355	3.6667	1101

e. Dekoding Sinyal

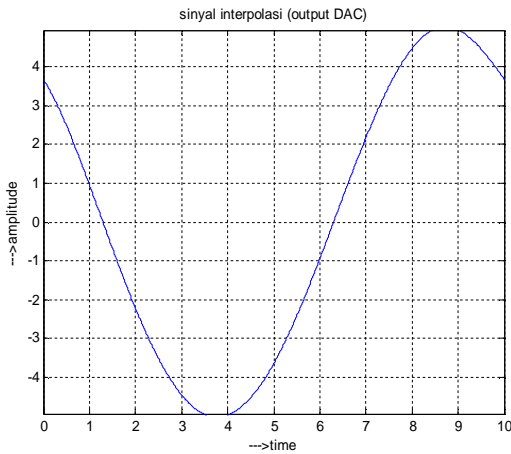


Gambar 12. Sinyal analog setelah kode biner output ADC 4 bit di decoding oleh decoder

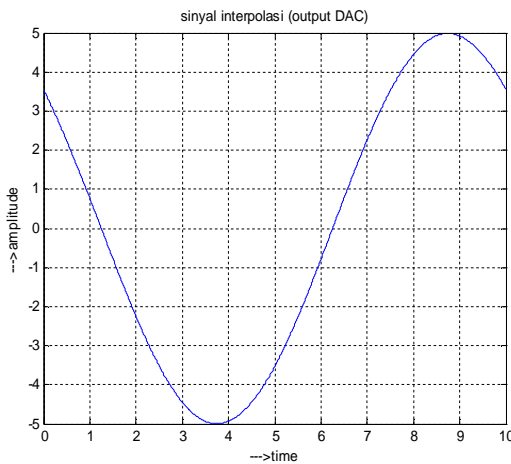
f. Interpolasi



Gambar 13 (a)

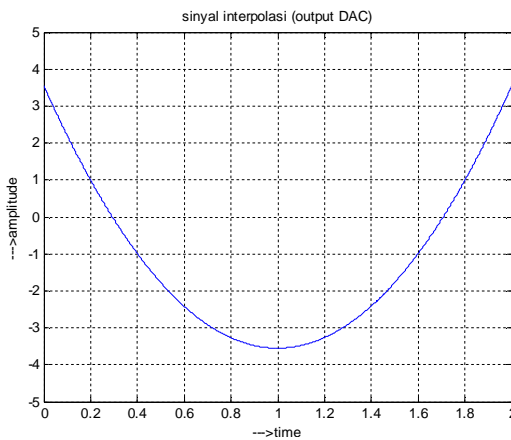


Gambar 13 (b)

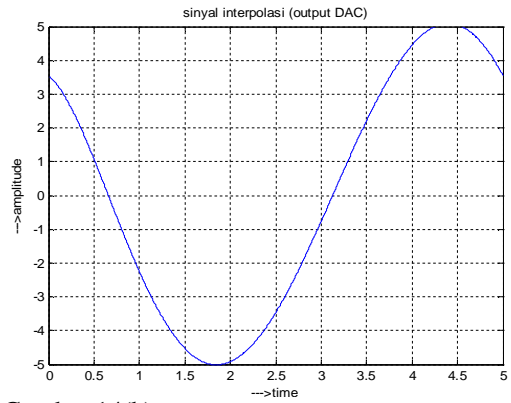


Gambar 13 (c)

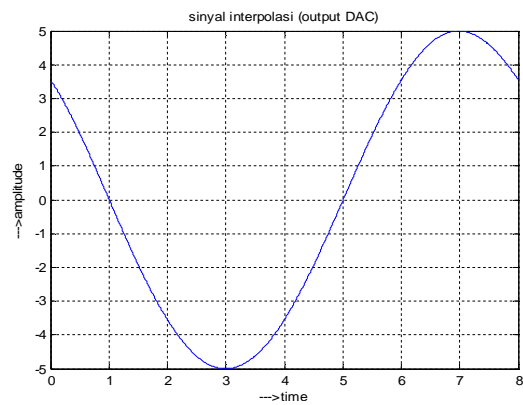
Gambar 13. Sinyal analog output DAC untuk sinyal diskrit gambar 11, setelah diinterpolasi. Frekuensi sampling = 500 cuplikan/detik (a) 3 bit ; (b) 4 bit ; (c) 8 bit



Gambar 14(a)



Gambar 14(b)

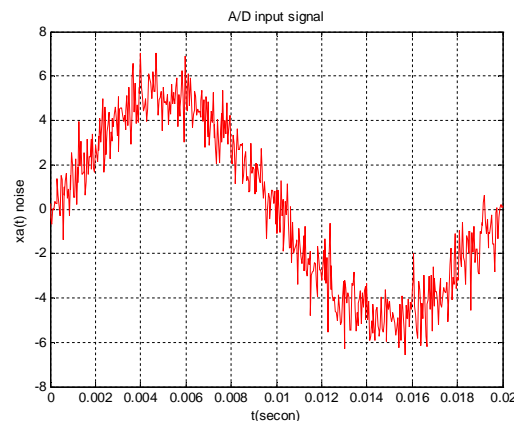


Gambar 14(c)

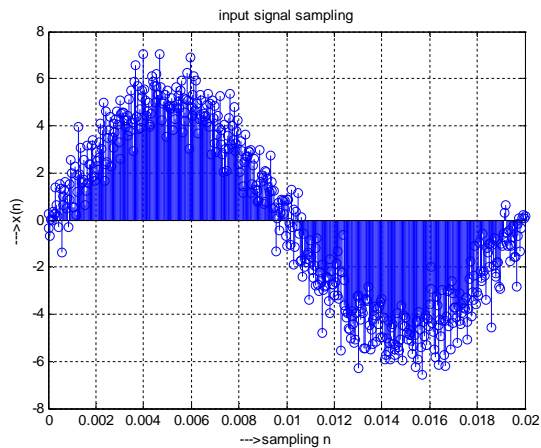
Gambar 14. Sinyal analog output ADCDAC 8 bit. Sinyal diskrit sinusoida $x_d(n) = A \cos(2\pi f_p n + \theta)$, $A = 5V$ $\theta = 45^\circ$ (a) $f_p = 100$ cuplikan/s (b) $f_p = 250$ cuplikan/s ; (c) $f_p = 400$ cuplikan/s)

Akuisisi Data Sinyal Deterministik

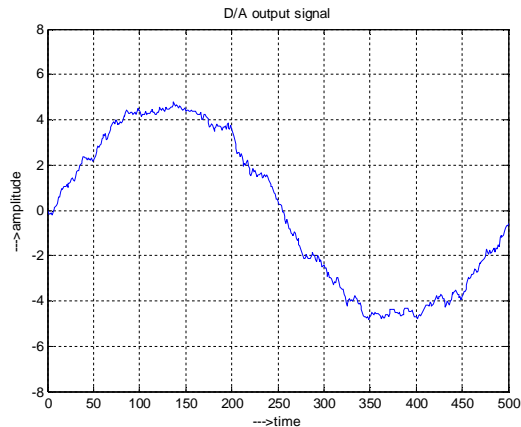
Sinyal sinusoida diberi *white-gaussian noise*.



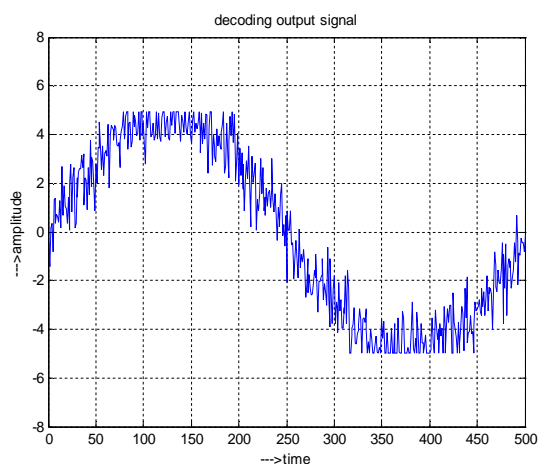
Gambar 15. Sinyal sinusoida dengan noise sebagai sinyal dengan karakteristik deterministik



Gambar 16. Sampling sinyal deterministik



Gambar 19. Output sinyal deterministik 8 bit

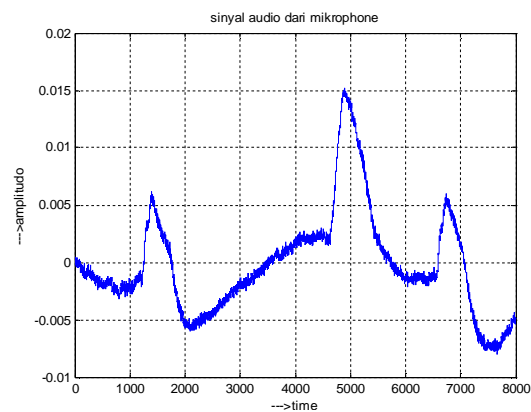


Gambar 17. Dekoding sinyal deterministik

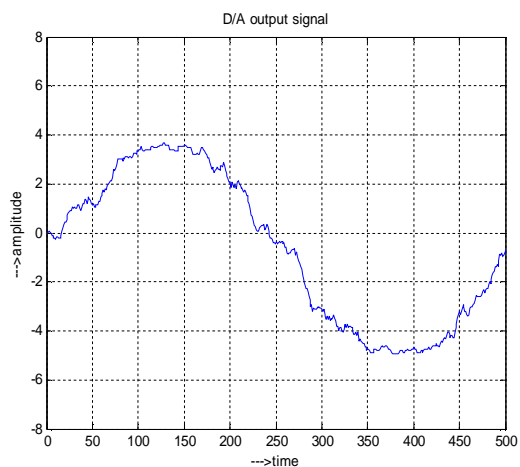
Sinyal hasil dekoding dengan nilai bit data yang berbeda ditunjukkan dalam Gambar 18 dan 19.

Akuisisi Data Sinyal Audio

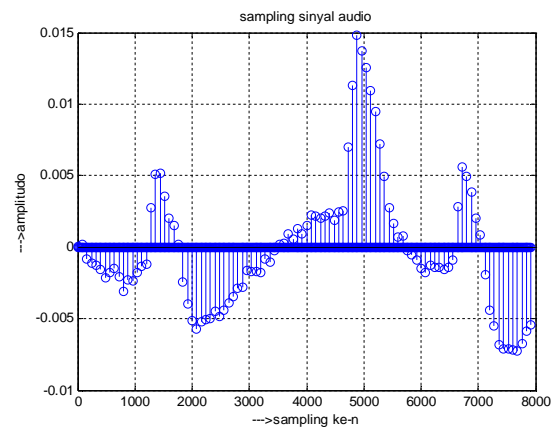
Sistem dipasang sesuai dengan Gambar 1. Mikrophone dan speaker siap untuk menerima input. Program Matlab dijalankan melalui software di PC.



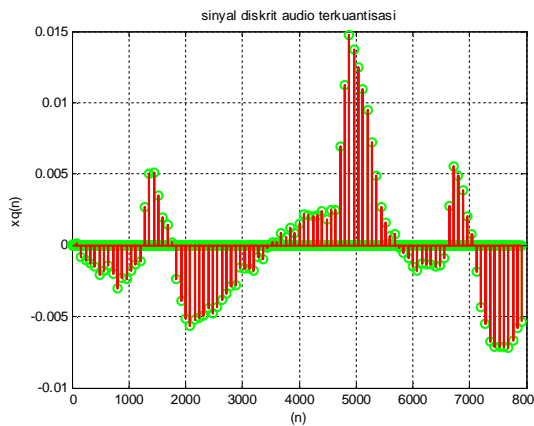
Gambar 20. Input sinyal audio



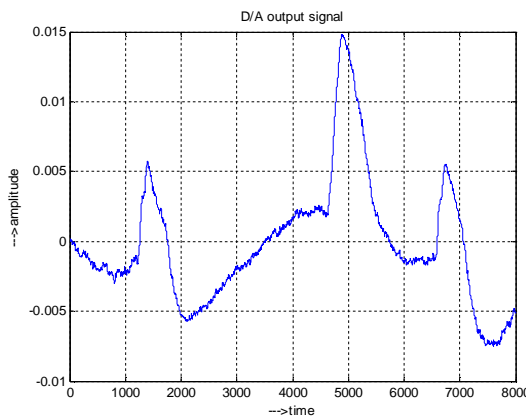
Gambar 18. Output sinyal deterministik 4 bit



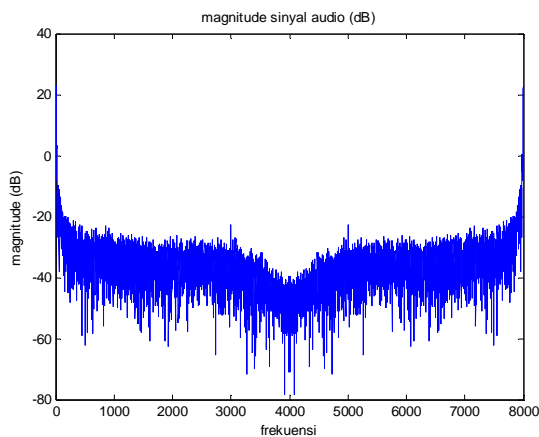
Gambar 21. Sampling sinyal audio



Gambar 22. Sinyal diskrit audio terkuantisasi



Gambar 23. Keluaran sinyal setelah diproses



Gambar 24. Magnitude sinyal dalam decibel (dB)

y_{max} = 22.9381
maxindex = 2

Analisis

Contoh analisis diambil untuk sinyal sinusoida:

$$x_a(t) = A \cos(2\pi f_a t + \theta)$$

dengan $A = 5V, f_a = 50Hz, \theta = 45^\circ$.

Dari persamaan (9):

$$f_d = \frac{f_a}{f_p} = \frac{50}{500} = \frac{1}{10}; N = 10$$

Dari persamaan (8):

$$x_d(n) = A \cos(2\pi f_a n + \theta)$$

$$x_d(n) = 5 \cos(2\pi \frac{1}{10} n + 45^\circ)$$

$$x_d(n) = 5 \cos(\frac{\pi}{5} n + \frac{\pi}{4})$$

Untuk $n = 1$

$$x_d(1) = 5 \cos(\frac{\pi}{5} + \frac{\pi}{4}) = 0,7822$$

Dari persamaan (12) dan (13):

$$\Delta = \frac{x_{maks} - x_{min}}{L - 1} = \frac{5 - (-5)}{2^4 - 1} = 0,667$$

Deret langkah kuantisasi $x_q(n)$:

-5.000 ; -4.333 ; -3.667 ; -3.000 ; -2.333 ;
-1.667 ; -1.000 ; ... ; 3.667 ; 4.333 ; 5.000

Data biner 4 bit:

0000 ; 0001 ; 0010 ; 0011 ; 0100 ; 0101 ;
0110 ; 0111 ; 1000 ; ... ; 1101 ; 1110 ;
1111

Nilai kuantisasi yang paling mendekati $x_d(1) = 0,7822$ adalah $x_q(n) = 1.000$ dengan data biner 1001.

SIMPULAN

Hasil program Matlab berhasil menampilkan proses konversi sinyal ADC/DAC secara grafis berupa:

- Sinyal analog sinusoida dan deterministik
- Sinyal audio
- Sinyal diskrit (sampling) sinyal audio
- Sinyal diskrit audio terkuantisasi
- Sinyal keluaran sebagai hasil proses sampling, kuantisasi dan koding
- Magnitude sinyal keluaran sebagai representasi spektrum frekuensi sinyal

Grafik hasil simulasi akuisisi data, menunjukkan :

- Semakin besar frekuensi pencuplikan (f_p), semakin presisi hasil keluaran sinyal;

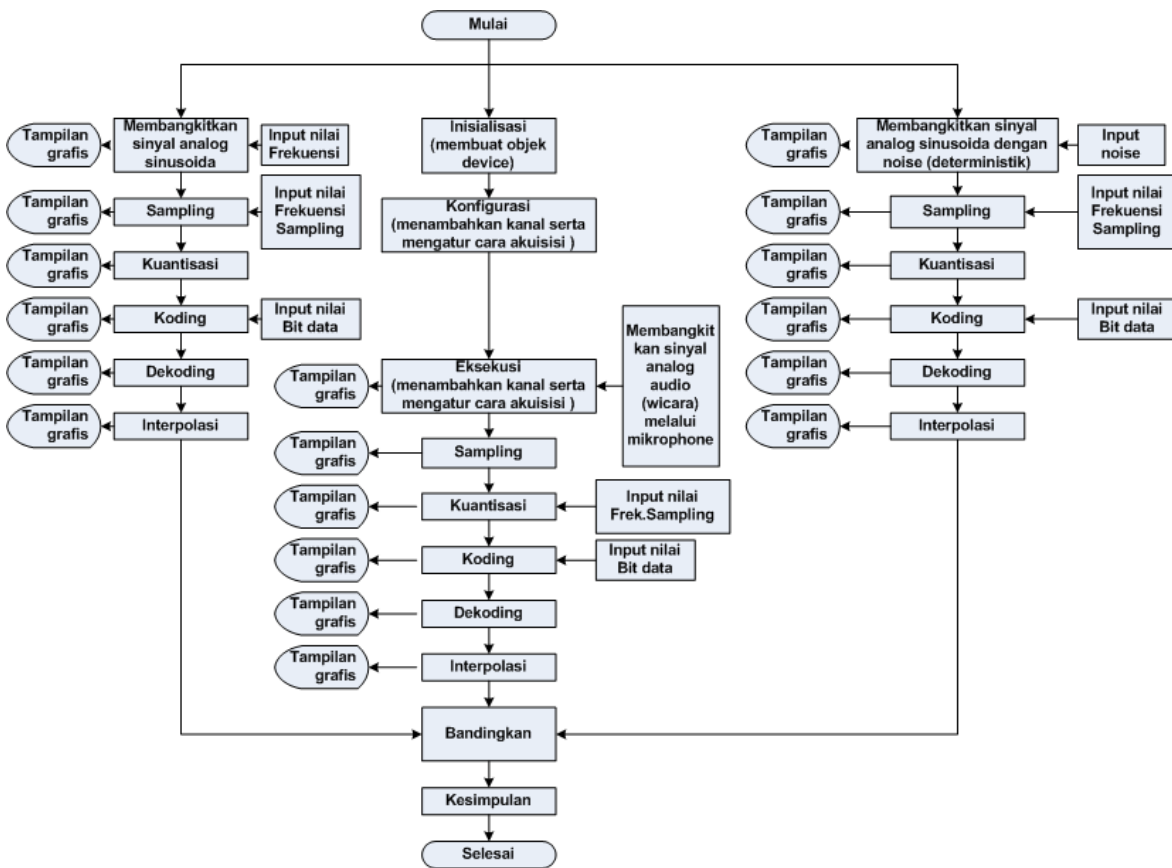
- Semakin besar bit data pengkonversi (ADC/DAC), sinyal yang dihasilkan semakin bagus.

SARAN

Grafik sinyal suara yang dihasilkan dalam sistem akuisisi hanya merepresentasikan tahapan pemrosesan sinyal audio yang meliputi sampling, kuantisasi koding, dekoding dan interpolasi. Dalam penelitian selanjutnya proses pengolahan sinyal audio dalam teknik akuisisi data dapat merancang algoritma untuk merepresentasikan tahapan proses konvolusi, analisis Fourier, Transformasi Laplace dan filtering.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Estrada, Richie, *Pengolahan Sinyal Suara Menggunakan Matlab*. Teknokrida Vol 6. Universitas Kristen Krida Wacana, 2008.
 [2] Khairunnisa, *Diktat Pengolahan Sinyal*. Politeknik Negeri Banjarmasin, 2013.
 [3] Santoso, Tri B., Huda, Miftahul, *Modul 1 Proses Perekaman dan Pengeditan Sinyal Wicara*, Universitas Kristen Krida Wacana, 2005.
 [4] Widiarso, Teguh, *Tutorial Praktis Belajar Matlab*. http://referensi.dosen.narotama.ac.id/files/2011/12/Tutorial_MatLab_Teguh_W.pdf. Diakses tanggal 8 Juni 2014.



Gambar 25. Flowchart langkah-langkah penelitian