

**PENGEMBANGAN ANC (*ACTIVE NOISE CONTROL*)
DENGAN MODIFIKASI *SOUNDCARD* PC SEBAGAI SUBSTITUSI
DSP (*DIGITAL SIGNAL PROCESSING*) CARD KOMERSIAL**



Disusun oleh :
FAHRUDIN AHMAD
M 0206031
SKRIPSI
Diajukan untuk memenuhi sebagian
persyaratan mendapatkan gelar Sarjana Sains Fisika

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS SEBELAS MARET

SURAKARTA

Juli, 2011

PENGEMBANGAN ANC (*ACTIVE NOISE CONTROL*) DENGAN MODIFIKASI *SOUNDCARD* PC
SEBAGAI SUBSTITUSI DSP (*DIGITAL SIGNAL PROCESSING*) CARD KOMERSIAL

FAHRUDIN AHMAD

Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Sebelas Maret

ABSTRAK

Dalam penelitian ini, dirancang dan dilakukan penganalisaan sebuah pemrosesan sinyal bising sesederhana mungkin dari keacakan sinyal bising yang selama ini diketahui sangat rumit dengan tujuan agar perhitungan pemrosesan sinyal dapat lebih sederhana. Namun penghilangan bunyi merupakan suatu kemungkinan yang sulit sekali bahkan tidak mungkin, oleh karenanya penelitian ini salah satu cara dengan pendekatan aktif kendali kebisingan untuk mencapai reduksi bising dengan persentase sebesar mungkin dengan maksud untuk mendapatkan kenyamanan bunyi dari sekian banyak bentuk variasi bunyi.

Eksperimen ini menjelaskan tentang suatu implementasi dari sebuah peredam bising aktif dengan menggunakan algoritma *Filtered Least Mean Square (Filtered LMS)*. Algoritma *LMS* berfungsi untuk mengaktifkan luasan atenuasi bising pada suatu pipa (ducts). Sistem ini diimplementasikan pada suatu perangkat prosesor sinyal digital dari *soundcard*. Sistem penelitian ini dibangun dengan dua buah *microphone* sebagai sensor bunyi (suara) dan dua *speaker* sebagai sumber bunyi (suara). Prosesornya mengendalikan bising dengan menciptakan suatu bunyi anti bising, dimana anti bising ini berusaha menggantikan bising tersebut, sehingga suara bising dapat direduksi. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dibuat dapat mereduksi bising enam detik *logs sine sweep* sebesar 20 dB dengan frekuensi sepanjang 22050 Hz, 2291 Hz, dan 8845.59 Hz.

Kata kunci : ANC, *soundcard*, reduksi LMS. *Digital signal Processing*, sinyal, kebisingan, reduksi.

DEVELOPMENT ANC (ACTIVE NOISE CONTROL)
PC SOUND CARD WITH MODIFICATIONS AS A SUBSTITUTE
DSP (DIGITAL SIGNAL PROCESSING) CARD COMMERCIAL

FAHRUDIN AHMAD

Department of Physics, Mathematic and Natural Sciences Faculty
Sebelas Maret University

ABSTRACT

In this research, a noise signal processor was designed as simple as possible and it's very complicated noise signal randomness was analyzed that the signal processing calculation can be simpler. Yet, the elimination of noise is likely hard or even impossible to do. For that reason, this research is one of the ways to obtain a bigger percentage of noise reduction through active noise control approach to achieve the comfort of sound.

The experiment describes an implementation of an active noise canceller by using the algorithm of Filtered Least Mean Square (Filtered LMS). LMS algorithm are employed to actively attenuate the noise field in ducts. The system was implemented on a digital signal processor starter kit of soundcard device. It was equipped with two microphones as sound sensors also two speakers as sound sources. The processor controlled the noise by generating an anti-noise sound trying to cancelled the noise so that the total noise would be reduced. The experimental results shows the system could reduce six seconds noise of the logs sine sweep with the level of 20 dB with the frequency are 22050 Hz, 2291 Hz, dan 8845.59 Hz .

Keywords : ANC, soundcard, LMS reduction, Digital signal Processing, signal, noise, reduction.

DAFTAR ISI

	halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN ABSTRAK	iv
HALAMAN ABSTRACT	v
MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
PERSEMBAHAN	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SIMBOL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Bunyi.....	5
2.2 Gelombang.....	8
2.3 Laju Perpindahan Energi Oleh Gelombang sinusoidal Pada Tali.....	13
2.4 Sound Level Meter	17
2.5 Discrete Fourier Transform (DFT).....	21
2.5.1 Hubungan DFT dengan spektrum.....	22

commit to user

2.5.2 Filter menggunakan DFT.....	24
2.6 Perangkat Keras.....	25
2.5.1 Mikrofon	25
2.5.2 Penguat Mikrofon	26
2.5.3 Kartu Suara (<i>Soundcard</i>).....	27
2.5.4 Pemasangan Mikrofon Kondensor ke Kartu suara.....	30
2.5.5 Perangkat Lunak.....	32
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Metode Penelitian	35
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	35
3.3 Alat dan Bahan.....	35
3.4 Perancangan dan Perakitan Alat.....	35
3.5 Pengujian dan Pengambilan Data	37
3.6 Pengolahan Data Suara	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Mekanisme dan Cara Kerja Eksperimen	39
4.2 Pengujian dengan Algoritma LMS	49
4.3 Pengujian Sistem	52
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
LAMPIRAN I. Printscreen hasil Eksperimen	
LAMPIRAN II. Foto alat Eksperimen	

DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1. Perbandingan skala aras tekanan bunyi, tekanan bunyi dan intensitas bunyi.....	6
Tabel 2.2. Tabel kecepatan bunyi pada berbagai material.....	13
Tabel 2.3. Tabel frekuensi pusat dan batas jangkauannya 1 oktaf.....	19
Tabel 2.4. Tabel frekuensi pusat dan batas jangkauannya 1/3 oktaf.....	20



DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1. Grafik perubahan tekanan bunyi terhadap waktu.....	5
Gambar 2.2. Gelombang transversal	9
Gambar 2.3. Gelombang Longitudinal.....	9
Gambar 2.4. Rambatan gelombang bunyi dari medium kurang rapat ke medium yang lebih rapat.....	11
Gambar 2.5. Rambatan gelombang bunyi dari medium rapat ke medium yang kurang rapat.....	11
Gambar 2.6. (a) Sebuah pulsa merambat ke kanan pada tali yang tegang, dimana sebuah benda digantungkan. (b) Energi diberikan kepada benda yang tergantung ketika pulsa tiba.....	13
Gambar 2.7. Gelombang sinusoidal merambat sepanjang sumbu x pada tali yang tegang. Setiap elemen bergerak vertical, dan setiap elemen memiliki energi total yang sama.....	14
Gambar 2.8. Skema dasar <i>Sound Level Meter</i>	17
Gambar 2.9. Representasi sinyal bunyi (a) kawasan waktu (b) kawasan frekuensi	17
Gambar 2.10. Kurva “equal-loudness”.....	18
Gambar 2.11. Skala Pembobotan Frekuensi.....	18
Gambar 2.12. Skema Mikrofon Dinamik.....	26
Gambar 2.13. Skema mikrofon Kondensor	26
Gambar 2.14. Rangkaian Penguat mikrofon.....	27
Gambar 2.15. Kartu suara ISA 16 bit.....	28
Gambar 2.16. Efek kecepatan pembacaan sampel rendah.....	29
Gambar 2.17. Efek kenaikan kecepatan pembacaan sampel.....	29
Gambar 2.18. Skema penyambungan dengan kabel stereo.....	31
Gambar 2.19. Skema penyambungan dengan kabel stereo.....	32

commit to user

Gambar 2.20. Tampilan Software Cool Edit Pro 2.....	32
Gambar 2.21. Diagram <i>Algoritma Preconditioned LMS (PLMS)</i>	33
Gambar 3.1. Media simulasi aliran bising dengan bahan PVC.....	36
Gambar 3.2. Blok rancangan pengukur aras kebisingan dengan kartu suara.	36
Gambar 3.3. Skema alur kerja kartu suara.....	37
Gambar 3.4. Diagram alir penelitian.....	38
Gambar 4.1 Gelombang Tegak <i>Low Amplitudo</i> diam.....	40
Gambar 4.2. Gelombang Tegak <i>High Amplitudo</i>	40
Gambar 4.3. Gelombang Tegak pada pergeseran fasa.....	40
Gambar 4.4. Dua buah gelombang tegak dengan perbedaan fasa 180^0 saling meniadakan.....	41
Gambar 4.5 Sinyal Sumber atau Sinyal 1.....	41
Gambar 4.6 Sinyal Lawan atau Sinyal 2.....	42
Gambar 4.7 Aktif Sinyal.....	42
Gambar 4.8. Sinyal Aktif Kebisingan.....	43
Gambar 4.9. Sinyal Sistem kendali bising aktif yang sangat acak.....	44
Gambar 4.10. Konfigurasi Hardware pada Sistem kendali bising aktif.....	44
Gambar 4.11. Propagasi pada dua sinyal yang menuju pada zona diam.....	45
Gambar 4.13. Blok Diagram <i>Single Chanel</i> Sistem Sistem kendali bising aktif.....	45
Gambar 4.14. Blok Diagram Sistem satu chanel Sistem kendali bising aktif	46
Gambar 4.15. Sistem Kerja Sistem kendali bising aktif.....	47
Gambar 4.16. Hasil redaman Sistem kendali bising aktif dengan media PVC	48
Gambar 4.17. Media simulasi aliran bising dari bahan PVC.....	49
Gambar 4.18. Single Channel Adaptive Kontrol.....	50
Gambar 4.19. Fungsi dari suatu sinyal dengan perioda.....	51
Gambar 4.20. Amplitudo.....	51
Gambar 4.21. Sinyal suara dan sinyal diskret atau dalam istilah pemrosesan sinyal disamplingkan.....	52
Gambar 4.22. Konfigurasi Pengujian Sistem.....	53

commit to user

Gambar 4.23. Hasil 1.....	53
Gambar 4.24. Hasil 2.....	54
Gambar 4.25. Hasil 3.....	54
Gambar 4.25. Grafik Efisiensi peredaman bising dengan media PVC.....	55



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pada masa sekarang ini industri permobilan terus meningkat. Peralatan industri seperti mesin/motor, peniup/penghembus, kipas angin, trafo, dan penekan, menyebabkan suatu permasalahan akustik yang tampak nyata. Banyak sumber bising lain yang berasal dari lingkungan seperti bising kendaraan, bising mesin pabrik, dan bising suara riuh manusia yang sedang beraktivitas.

Saat ini banyak sistem statis untuk menepis suara gaduh atau bising. Konsep yang digunakan misalnya penggunaan suatu “anti sinyal” yang dapat dipakai untuk menghapuskan bunyi tertentu. Pada masa sekarang ini, banyak pengembangan dan penelitian yang dilakukan. Penelitian ini dimaksudkan agar semakin banyak aplikasi yang mungkin dapat dimanfaatkan lebih jauh.

Salah satu langkah penanggulangan dalam upaya perlindungan dari dampak buruk yang dihasilkan bunyi adalah pembuatan sistem kendali bising aktif untuk memberikan data sebagai acuan penentuan kebijakan pengurangan dampak bising. Disamping itu, perangkat semacam ini juga diperlukan untuk kepentingan pemahaman yang lebih jauh terhadap perilaku bunyi.

Sistem kendali bising aktif (*active noise control*—selanjutnya disingkat ANC) telah menjadi subjek penelitian dalam beberapa tahun terakhir karena efisien dalam meredam bising, khususnya pada frekuensi rendah. Kendali bising aktif meliputi sistem elektro-akustik atau elektromekanik yang menghilangkan bising primer (yang tidak diinginkan) berdasarkan prinsip interferensi destruktif. Secara spesifik, sinyal anti bising (bising sekunder) dari sumber sekunder yang memiliki amplitudo yang sama dan fasa yang berlawanan dikombinasikan dengan bising primer, sehingga dapat dihasilkan sinyal residu minimum. Mekanisme ini telah dimungkinkan implemenasinya karena perkembangan yang sangat pesat dari *Digital Signal Processor* (DSP).

Tingkat peredaman sinyal bising primer sangat tergantung pada akurasi amplitudo dan fasa dari sinyal anti bising yang dibangkitkan. Karakteristik sumber bising akustik dan lingkungan dalam praktek berubah terhadap waktu, frekuensi, amplitudo, fasa dan kecepatan suara bising bersifat tidak stasioner sehingga sistem kendali bising aktif harus bersifat adaptif agar dapat mengatasi masalah tersebut.

Berangkat dari sudut pandang demikian, dalam penelitian ini disusun system kendali bising berbasis komputer. Untuk kepentingan tersebut akan digunakan mikrofon sebagai sensor yang terkoneksi ke preamp dan kartu suara sebagai ADC (*Analog to Digital Converting*). Data digital dari kartu suara dibaca dengan perangkat lunak kemudian diolah sehingga diperoleh hasil pengukuran yang diharapkan. Harga kartu suara yang relatif murah menjadi pertimbangan signifikan dari upaya yang kini dikerjakan.

Berbagai laboratorium atau instansi di bidang akustik telah menggunakan pengukur aras kebisingan untuk menunjang kegiatan penelitian mereka. Ketelitian, kemudahan pemakaian serta harga menjadi faktor penentu dalam pemilihan perangkat penelitian. Semakin lengkap fasilitas sebuah peralatan, maka semakin mahal harganya. Di sisi lain, perkembangan perangkat keras maupun perangkat lunak komputer pribadi saat ini telah menempatkan pemakai pada pilihan beragam serta kemudahan dalam menjalankan aplikasi-aplikasi tertentu. Sebagai contoh kartu suara (*sound card*), yang merupakan salah satu perangkat keras yang berperan sebagai converter audio dari analog ke digital atau sebaliknya. Kartu suara dapat berfungsi sebagai pembangkit, penerima dan pengolah bunyi.

Kelebihan dari sistem kendali bising aktif ini adalah analisis berbasis PC sehingga dapat dikembangkan secara berkesinambungan untuk menentukan parameter-parameter lain. Kelebihan lain adalah sistem ini mudah digunakan siapapun sebagai operator, tampilan program yang menarik, fleksibel untuk digunakan di berbagai komputer, dan dapat beroperasi di semua jenis *soundcard* sehingga selalu dapat mengikuti perkembangan *soundcard*. Oleh karena itu, sistem yang dikembangkan akan semakin handal seiring perkembangan kartu

commit to user

suara serta semakin efisien dari segi pembiayaan karena harganya yang relative murah.

1.2. Rumusan Masalah

Dari uraian di atas maka masalah yang akan coba dijawab melalui penelitian ini adalah:

1. Bagaimanakah prinsip kerja kendali bising aktif?
2. Apakah sistem kendali bising aktif lebih efektif dibandingkan sistem kendali bising pasif?
3. Sampai berapa desibel-kah pengurangan intensitas bising yang dapat dilakukan sistem kendali bising aktif ini?

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah yang ditentukan dalam penelitian ini adalah:

1. Sumber bunyi *logs sine sweep* dengan frekuensi sebesar 20 - 20.000 Hz.
2. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Cool Edit Pro 2*.
3. *Soundcard Creative Blaster* sebagai pengganti ANC buatan *Texas Instrumens*.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjelaskan prinsip kerja kendali bising aktif.
2. Menjelaskan keefektifan dari sistem kendali bising aktif.
3. Menentukan berapa desibel pengurangan intensitas bising yang dapat dilakukan sistem kendali bising aktif ini.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

commit to user

1. Mengatasi permasalahan bising pada penggunaannya di dalam peralatan elektronika/mesin oleh masyarakat di lingkungan sekitar.
2. Mengimplementasikan suatu sistem rangkaian pengendali bising dengan bising.

1.6. Sistematika Penulisan

Laporan tugas akhir ini disusun dengan sistematika sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN, berisi latar belakang masalah, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II DASAR TEORI, berisi teori-teori dasar yang digunakan sebagai landasan penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN, berisi metode penelitian, waktu dan tempat pelaksanaan penelitian, alat dan bahan yang diperlukan serta langkah-langkah dalam penelitian untuk pengujian dan pengambilan data..

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN, berisi hasil penelitian dan pembahasan yang akan dibahas sesuai dengan acuan dasar teori yang berkaitan dengan penelitian.

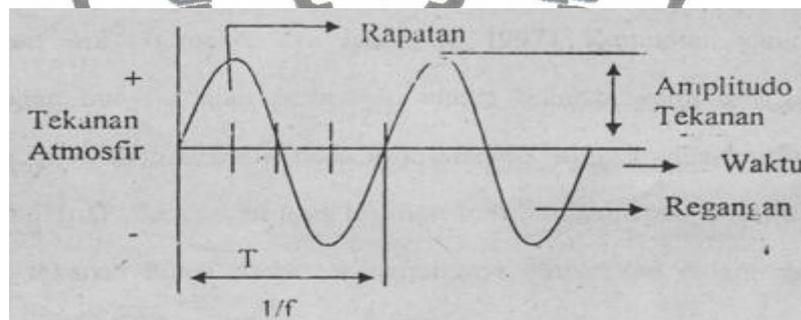
BAB V PENUTUP, berisi simpulan dan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut dari skripsi ini. Pada bagian akhir skripsi ini disertai dengan daftar pustaka dari bahan kajian pustaka dan lampiran hasil-hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bunyi

Bising (*noise*) dapat diartikan sebagai bunyi yang tidak diinginkan. Sedangkan bunyi adalah perubahan tekanan pada media udara atau media lain yang dapat diindera oleh alat pendengaran manusia. Perambatan gelombang bunyi mengalirkan energi dari sumber yang berupa gerakan atau getaran suatu benda di segala arah. Pada saat benda bergetar atau bergerak, sebagian kecil dari energinya akan hilang ke medium sekitarnya menjadi bunyi. Gelombang bunyi menyebabkan perubahan tekanan pada medium yang dilewatinya seperti ditunjukkan pada Gambar (2.1) (Gunn, 1998).



Gambar 2.1. Grafik perubahan tekanan bunyi terhadap waktu (Gunn, 1998)

Berdasarkan Gambar (2.1), persamaan perubahan gelombang bunyi dapat dituliskan (Haliday dan Resnick, 1978) :

$$Px = P \sin (kx - \omega t) \quad (2.1)$$

dengan Px = Perubahan dari tekanan standar

P = Amplitudo tekanan

$k = 2\pi/\lambda$ dengan λ adalah panjang gelombang

$\omega = 2\pi f$, kecepatan sudut

commit to user

Ada dua besaran yang biasanya diperoleh dalam bunyi yaitu frekuensi dan amplitude. Frekuensi adalah jumlah variasi tekanan per detik yang dinyatakan dalam satuan Hertz (Hz), sedangkan amplitudo adalah besaran yang menunjukkan kuat lemahnya bunyi (Halliday dan Resnick, 1978).

Kuat dan lemah suatu bunyi dapat ditunjukkan dengan beberapa parameter yaitu intensitas bunyi (*sound intensity*), tekanan bunyi (*sound pressure*), aras tekanan bunyi (*sound pressure level / SPL*) dan kekerasan bunyi (*loudness*). Intensitas bunyi adalah waktu rata-rata aliran energi bunyi per satuan luas dengan arah tegak lurus terhadap bidang yang dinyatakan dalam satuan Wm^{-2} (Crocker dan Jacobsen, 1997). Kemudian yang dimaksud tekanan bunyi adalah perbedaan yang dinyatakan dalam satuan bunyi dengan tekanan atmosfer pada titik tersebut yang dinyatakan dalam satuan dari tekanan bunyi. Aras tekanan bunyi dinyatakan dalam decibel (dB) dengan persamaan (Huckvalc, 1999) :

$$SPL = 20 \text{ LOG}_{10} \left(\frac{P}{P_{ref}} \right) \quad (2.2)$$

dengan :

- SPL = aras tekanan bunyi (dB)
- P = tekanan bunyi yang diukur (Pa)
- P_{ref} = tekanan bunyi referensi ($20\mu\text{Pa}$)

Kekerasan bunyi adalah aras tekanan bunyi pada frekuensi 1000 Hz yang dinyatakan dalam satuan phons. Perbandingan skala aras tekanan bunyi, tekanan bunyi dari intensitas bunyi ditunjukkan pada Table (2.1).

Tabel 2.1. Perbandingan skala aras tekanan bunyi, tekanan bunyi dan intensitas bunyi (Gunn,1998)

Jenis Sumber Bunyi	Aras Tekanan Bunyi (dB)	Tekanan Bunyi (Pa)	Intensitas Bunyi (Wm^{-2})
30 m dari pesawat jet	140	200	100
Batas ambang rasa sakit	130		10
	120	20	1
Gergaji mesin	110		0.1
Diskotik	100	2	0.01
	90		0.001
Jalan jaya ramai	80	0.2	0.0001
	70		0.00001
Percakapan	60	0.02	0.000001
	50		0.0000001
	40	0.002	0.00000001
Malam hari sunyi	30		0.000000001
Background studio	20	0.0002	0.0000000001
TV	10		0.00000000001
Batas pendengaran	0	0.00002	0.000000000001

Pada kajian akuistik penggunaan skala desibel lebih sering digunakan dari pada skala lain, hal ini disebabkan (Hunt, 1997) :

1. Desibel merupakan satuan logaritmik sehingga dapat digunakan untuk mewakili jangkauan nilai yang sangat besar maupun sangat kecil
2. Penafsiran pendengaran manusia terhadap bunyi lebih mendekati pada skala logaritmik dari pada skala linier.

2.2. Gelombang

Gerak gelombang muncul di dalam hampir tiap-tiap cabang fisika, seperti gelombang air, gelombang bunyi, gelombang cahaya, gelombang radio, dan gelombang elektromagnetik lainnya. Sebuah perumusan mengenai atom dan partikel-partikel sub-atomik dinamakan mekanika gelombang. Jelaslah bahwa sifat-sifat gelombang sangat penting di dalam fisika.

Gelombang dapat didefinisikan sebagai getaran yang merambat melalui medium yang dapat berupa zat padat, cair, dan gas. Gelombang terjadi karena adanya sumber getaran yang bergerak terus-menerus. Medium pada proses perambatan gelombang tidak selalu ikut berpindah tempat bersama dengan rambatan gelombang. Misalnya bunyi yang merambat melalui medium udara, maka partikel-partikel udara akan bergerak osilasi (lokal) saja.

Gelombang berdasarkan medium perambatannya dapat dikategorikan menjadi gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Gelombang mekanik terdiri dari partikel-partikel yang bergetar, dalam perambatannya memerlukan medium. Contohnya gelombang bunyi, gelombang pada air, gelombang tali. Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dihasilkan dari perubahan medan magnet dan medan listrik secara berurutan, arah getar vektor medan listrik dan medan magnet saling tegak lurus. Perambatan gelombang ini tidak memerlukan medium dan bergerak mendekati kelajuan cahaya. Contohnya sinar gamma (γ), sinar X, sinar ultra violet, cahaya tampak, infra merah, gelombang radar, gelombang TV, gelombang radio.

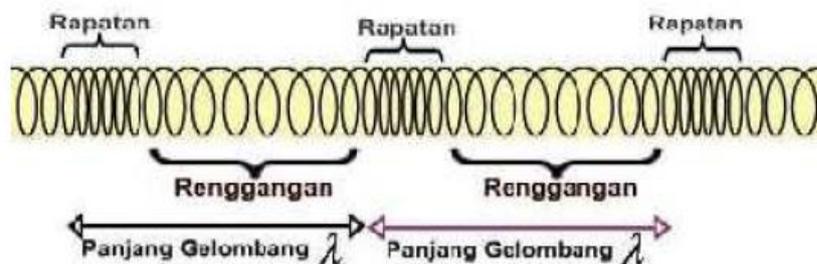
Berdasarkan arah getar dan arah rambat, gelombang dibedakan menjadi dua jenis yaitu gelombang transversal dan gelombang longitudinal. Gelombang transversal adalah gelombang yang arah rambatannya tegak lurus terhadap arah getarnya, contohnya gelombang pada tali, gelombang permukaan air, gelombang cahaya. Sedangkan gelombang longitudinal adalah gelombang yang arah merambatnya searah dengan arah getarnya, contohnya gelombang bunyi dan

gelombang pada pegas. Gelombang ini terdiri dari rapatan dan regangan. Rapatan adalah daerah-daerah dimana kumparan-kumparan mendekat selama sesaat.

Regangan adalah daerah-daerah dimana kumparan-kumparan menjauh selama sesaat. Rapatan dan regangan berhubungan dengan puncak dan lembah pada gelombang transversal. Gelombang transversal dan gelombang longitudinal dapat digambarkan secara grafis pada Gambar (2.2).



Gambar 2.2. Gelombang Transversal (Cutnell & Johnson, 1992)



Gambar 2.3. Gelombang Longitudinal (Stanley Wolfe, 2003)

Besaran-besaran yang digunakan untuk mendeskripsikan gelombang antara lain panjang gelombang (λ) adalah jarak antara dua puncak yang berurutan, frekuensi (f) adalah banyaknya gelombang yang melewati suatu titik tiap satuan waktu, periode (T) adalah waktu yang diperlukan oleh gelombang melewati suatu titik, amplitudo (A) adalah simpangan maksimum dari titik setimbang, kecepatan gelombang (v) adalah kecepatan dimana puncak gelombang (atau bagian lain dari gelombang) bergerak. Kecepatan gelombang harus dibedakan dari kecepatan

partikel pada medium itu sendiri. Pada waktu merambat gelombang membawa energi dari satu tempat ke tempat lain. Saat gelombang merambat melalui medium maka energi dipindahkan sebagai energi getaran antar partikel dalam medium tersebut.

Secara lebih mendetail, Doelle (1972) menyatakan bahwa bunyi mempunyai dua defenisi, yaitu:

1. Secara fisis, bunyi adalah penyimpangan tekanan, pergeseran partikel dalam medium elastik seperti udara. Definisi ini dikenal sebagai bunyi *Obyektif*.
2. Secara fisiologis, bunyi adalah sensasi pendengaran yang disebabkan penyimpangan fisis yang digambarkan pada bagian atas. Hal ini disebut sebagai bunyi *subyektif*.

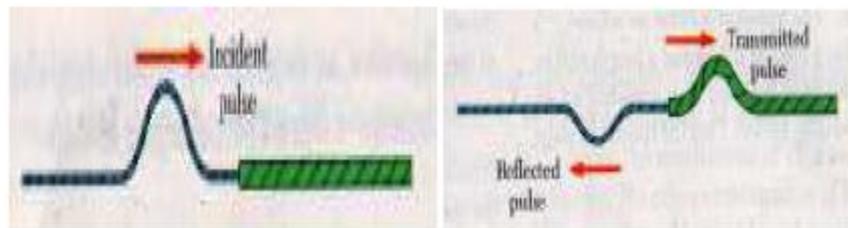
Secara singkat, Bunyi adalah suatu bentuk gelombang longitudinal yang merambat secara perapatan dan perenggangan terbentuk oleh partikel zat perantara serta ditimbulkan oleh sumber bunyi yang mengalami getaran.

Rambatan gelombang bunyi disebabkan oleh lapisan perapatan dan peregangan partikel-partikel udara yang bergerak ke luar, yaitu karena penyimpangan tekanan. Hal serupa juga terjadi pada penyebaran gelombang air pada permukaan suatu kolam dari titik dimana batu dijatuhkan.

Gelombang bunyi adalah gelombang yang dirambatkan sebagai gelombang mekanik longitudinal yang dapat menjalar dalam medium padat, cair dan gas. Medium gelombang bunyi ini adalah molekul yang membentuk bahan medium mekanik ini (Sutrisno, 1988). Gelombang bunyi ini merupakan vibrasi/getaran molekul-molekul zat dan saling beradu satu sama lain namun demikian zat tersebut terkoordinasi menghasilkan gelombang serta mentransmisikan energi bahkan tidak pernah terjadi perpindahan partikel (Resnick dan Halliday, 1992).

Berbicara, tentang substansi yang menjalar apabila gelombang bunyi mencapai tapal batas maka gelombang bunyi tersebut akan terbagi dua yaitu sebagian energi ditransmisikan dan sebagian lagi direfleksikan.

Suatu penelitian mengenai terjadinya penjalaran bunyi, mendeteksi dan penggunaan bunyi sangat penting untuk mengetahui lebih lanjut akan pengalihan energi mekanik (Giancoli, 1998). Gambar (2.4) dan (2.5) adalah perambatan gelombang bunyi pada kondisi medium yang berbeda.



Gambar 2.4. Rambatan Gelombang bunyi dari medium kurang rapat ke medium yang lebih rapat.



Gambar 2.5. Rambatan Gelombang bunyi dari medium rapat ke medium yang kurang rapat.

Hewan menggunakan gelombang bunyi/suara untuk memperoleh perubahan informasi dan untuk mendeteksi lokasi dari suatu objek. Misalnya ikan lumba-lumba, kelelawar, menggunakan gelombang bunyi untuk mengemudi dan menentukan lokasi makanan, apabila cahaya tidak cukup untuk pengamatan.

Manusia berusaha menggunakan gelombang bunyi sebagai pengganti cahaya (Ackerman *et al*, 1988). Syarat terdengarnya bunyi ada tiga macam yaitu ada sumber bunyi, ada medium (udara), dan ada penerima/pendengar.

Sifat-sifat dasar fisik bunyi merupakan suatu hal yang sangat penting untuk diketahui dalam mengembangkan suatu pendekatan secara sistematis terhadap masalah kontrol kebisingan. Bunyi mempunyai beberapa sifat, antara lain:

1. Asal dan Perambatan Bunyi

Semua benda yang dapat bergetar mempunyai kecenderungan untuk menghasilkan bunyi. Bila ditinjau dari arah getarnya, bunyi termasuk gelombang longitudinal dan bila dilihat dari medium perambatannya, bunyi termasuk gelombang mekanik.

2. Frekuensi Bunyi

Frekuensi merupakan gejala fisis obyektif yang dapat diukur oleh instrumen-instrumen akustik. Frekuensi adalah ukuran jumlah putaran ulang per peristiwa dalam selang waktu yang diberikan. Untuk memperhitungkan frekuensi, seseorang menetapkan jarak waktu, menghitung jumlah kejadian peristiwa, dan membagi hitungan ini dengan panjang jarak waktu. Hasil perhitungan ini dinyatakan dalam satuan hertz (Hz) yaitu nama pakar fisika Jerman Heinrich Rudolf Hertz yang menemukan fenomena ini pertama kali.

Frekuensi adalah banyaknya getaran per banyaknya waktu pada waktu lampau satuan dari ukuran sebuah frekuensi didefinisikan sebagai banyaknya siklus perdetik (cps). Sekarang, frekuensi ditentukan dalam satuan yang disebut *Hertz* (Hz). Satu Hertz sama dengan satu siklus perdetik. Frekuensi yang dapat didengar oleh Manusia berkisar 20 sampai 20.000 Hz dan jangkauan frekuensi ini dapat mengalami penurunan pada batas atas rentang frekuensi sejalan dengan bertambahnya umur manusia (lipscomb & Taylor, 1978). Jangkauan frekuensi audio manusia akan berbeda jika umur manusia juga berbeda. Frekuensi bunyi dapat didefinisikan sebagai jumlah periode siklus kompresi dan regangan yang muncul dalam satu satuan waktu. Karena bunyi merupakan gelombang maka bunyi mempunyai cepat rambat yang dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu :

1. Kerapatan partikel medium yang dilalui bunyi. Semakin rapat susunan partikel medium maka semakin cepat bunyi merambat, sehingga bunyi merambat paling cepat pada zat padat. Tabel (2.2) disajikan beberapa kecepatan bunyi dalam material tertentu.

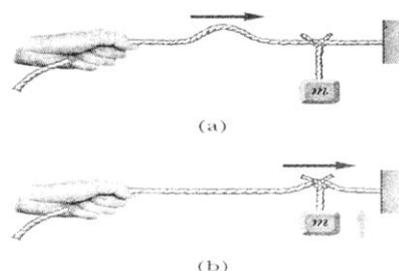
Tabel 2.2 Cepat rambat bunyi pada berbagai material [Hemond, 1983]

Material	Kecepatan bunyi (ft/s)	Kecepatan bunyi (m/s)
Udara	1,1	335
Timah	3,7	1128
Air	4,5	1385
Beton	10,2	3109
Kayu	11,1	3417
Kaca	15,5	4771
Baja	16	4925

2. Suhu medium, semakin panas suhu medium yang dilalui maka semakin cepat bunyi merambat. Hubungan ini dapat dirumuskan kedalam persamaan matematis ($v = v_0 + 0,6.t$) dimana v_0 adalah cepat rambat pada suhu nol derajat dan t adalah suhu medium. Besar kecilnya cepat rambat bunyi pada suatu medium sangat tergantung pada temperatur medium tersebut (Beranek & L'ver, 1992).

2.3. Laju Perpindahan Energi Oleh Gelombang Sinusoidal Pada Tali

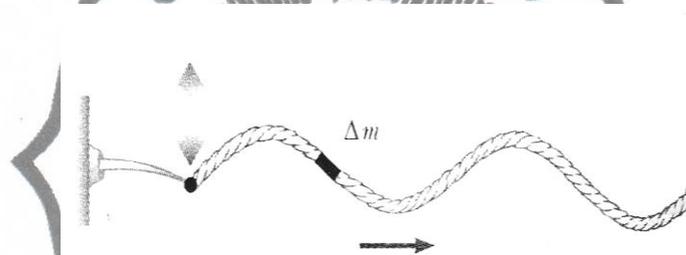
Gelombang membawa energi ketika merambat melalui medium. Kita dapat dengan mudah memperagakan hal ini dengan menggantung sebuah benda pada tali yang tegang dan kemudian mengirim pulsa sepanjang tali, seperti pada Gambar (2.6a). Ketika pulsa bertemu dengan benda yang digantungkan itu, benda tersebut akan berpindah keatas sesaat, seperti pada Gambar (2.6b).



Gambar 2.6. (a) Sebuah pulsa merambat ke kanan pada tali yang tegang, dimana sebuah benda digantungkan. (b) Energi diberikan kepada benda yang tergantung ketika pulsa tiba.

Dalam prosesnya, energi dipindahkan kepada benda dan tampak sebagai bertambahnya energi potensial gravitasi dari sistem Bumi-benda. Bagian ini membahas laju energi yang dipindahkan sepanjang tali. Kita akan berasumsi bahwa gelombangnya sinusoidal satu dimensi dalam perhitungan perpindahan energi.

Perhatikan gelombang sinusoidal yang merambat pada tali (Gambar 2.7). sumber energinya berasal dari ujung kiri tali, yang melakukan usaha dalam menghasilkan osilasi. Kita dapat menganggap tali sebagai sistem yang tak terisolasi.



Gambar 2.7. Gelombang sinusoidal merambat sepanjang sumbu x pada tali yang tegang. Setiap elemen bergerak vertikal, dan setiap elemen memiliki energi total yang sama.

Ketika sumber eksternal melakukan kerja pada ujung tali, menggerakannya ke atas dan ke bawah, energi memasuki sistem tali dan merambat disepanjang tali tersebut. Kita berfokus pada elemen tali sepanjang Δx dan bermassa Δm . Setiap elemen tersebut bergerak vertikal dalam gerak harmonik sederhana. Jadi, kita dapat memodelkan setiap tali sebagai osilator harmonik sederhana, yang osilasinya adalah pada arah y . Semua elemen memiliki frekuensi sudut ω yang sama dan amplitudo A yang sama. Energi kinetik K dari partikel yang bergerak adalah $K = \frac{1}{2}mv^2$. Jika kita terapkan persamaan tersebut pada sebuah elemen dengan panjang Δx dan massa Δm , kita dapatkan energi kinetik ΔK dari elemen tersebut sebagai

$$\Delta K = \frac{1}{2} (\Delta m) v_y^2$$

commit to user

di mana v_y adalah kelajuan transversal dari elemen. Jika μ adalah massa persatuan panjang dari tali, maka massa Δm dari elemen dengan panjang Δx sama dengan $\mu\Delta x$. Jadi, kita dapat tuliskan persamaan energi kinetik untuk sebuah elemen tali adalah

$$\Delta K = \frac{1}{2} (\mu\Delta x)v_y^2 \quad (2.3)$$

Ketika panjang elemen tali berkurang sampai mendekati nol, persamaan diatas menjadi suatu hubungan diferensial:

$$dK = \frac{1}{2} (\mu dx)v_y^2$$

Kita substitusikan untuk kelajuan transversal umum dari osilator harmonik sederhana menggunakan Persamaan:

$$\begin{aligned} dK &= \frac{1}{2} \mu [\omega A \cos(kx - \omega t)]^2 dx \\ &= \frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 \cos^2(kx - \omega t) dx \end{aligned}$$

Jika kita ambil potongan Gambar gelombang pada saat waktu $t=0$, maka energi kinetic suatu elemen sembarang adalah

$$dK = \frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 \cos^2 kx dx$$

Kita integralkan persamaan tersebut di seluruh elemen tali dalam satu panjang gelombang, yang akan menghasilkan energi kinetik total K_λ dalam satu panjang gelombang:

$$\begin{aligned}
 K\lambda &= \int dk = \int_0^\lambda \frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 \cos^2 kx \, dx = \frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 \int_0^\lambda \cos^2 kx \, dx \\
 &= \frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 \left[\frac{1}{2} x + \frac{1}{4k} \sin 2kx \right]_0^\lambda = \frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 \left[\frac{1}{2} \lambda \right] = \frac{1}{4} \mu \omega^2 A^2 \lambda
 \end{aligned}$$

Selain dari energi kinetik, setiap elemen tali memiliki energi potensial akibat dari perpindahannya dari posisi keseimbangan dan gaya pemulih dari elemen-elemen di sebelahnya. Analisis yang serupa dengan analisis di atas untuk energi potensial total U_λ Dalam satu panjang gelombang akan memberikan hasil yang sama:

$$U_\lambda = \frac{1}{4} \mu \omega^2 A^2 \lambda$$

Energi total dalam satu panjang gelombang adalah jumlah energi potensial dan kinetik:

$$E_\lambda = U_\lambda + K_\lambda = \frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 \lambda$$

(2.4)

Ketika gelombang bergerak sepanjang tali, sejumlah energi tersebut melewati titik tertentu pada tali pada selang waktu tertentu dalam satu periode osilasi. Dengan demikian, daya atau laju perpindahan energi, dari gelombang adalah

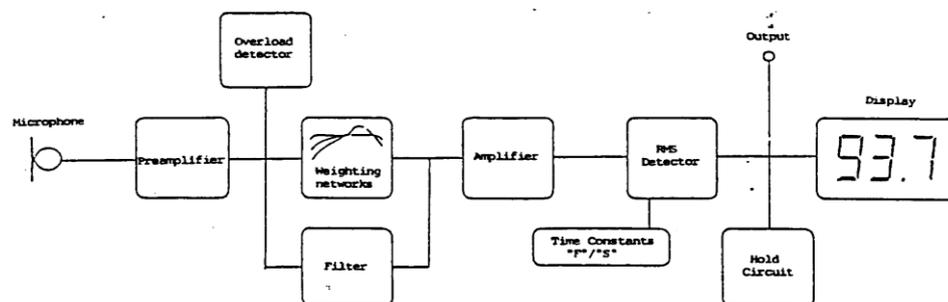
$$\varphi = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{E_\lambda}{T} = \frac{\frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 \lambda}{T} = \frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 \left(\frac{\lambda}{T} \right)$$

$$\varphi = \frac{1}{2} \mu \omega^2 A^2 v \quad (2.5)$$

Persamaan tersebut menunjukkan bahwa laju perpindahan energi oleh gelombang sinusoidal pada tali sebanding dengan (a) kuadrat frekuensinya, (b) kuadrat amplitudonya, dan (c) kelajuan gelombangnya. Terlebih lagi: laju perpindahan energi dalam gelombang sinusoidal sebanding dengan kuadrat frekuensi sudut dan kuadrat amplitudonya.

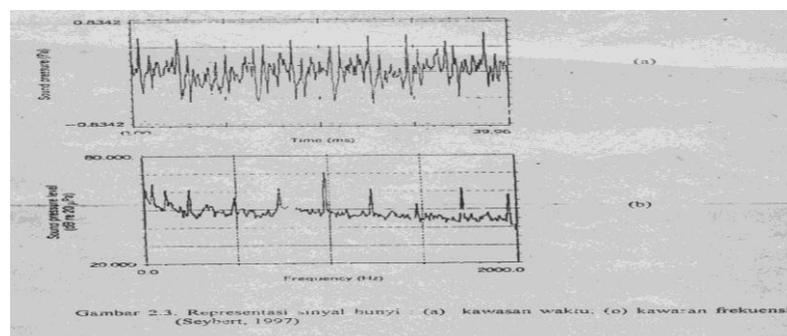
2.4. Sound Level Meter

Pengukur aras kebisingan (*sound level meter*) merupakan suatu instrumen yang disusun untuk mendeteksi dan memberikan data kebisingan dengan penafsiran yang sama dengan pendengaran manusia. Bagian dasar dari pengukur aras kebisingan bunyi adalah transduser (mikrofon dan penguat mikrofon), analisis data dan pembacaan hasil (Hassall dan Zeveri, 1979).



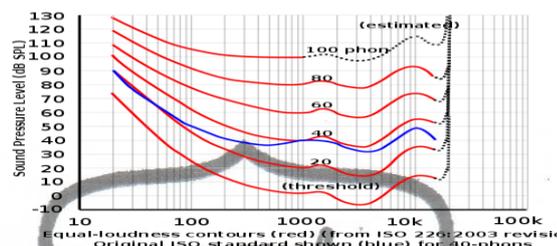
Gambar 2.8. Skema dasar *Sound Level Meter* (Hassall dan Zeveri, 1979)

Sinyal digital yang diperoleh dari mikrofon berisi informasi tekanan bunyi setiap waktu. Sehingga untuk bekerja pada daerah frekuensi harus dilakukan tahap *Fast Fourier Transform* (FFT), yaitu algoritma pengubah susunan sampel bunyi dengan jumlah tertentu kedalam, susunan informasi intensitas frekuensi (Browning, 1997). FFT merupakan algoritma yang efisien untuk menghitung DFT (Discrete Fourier Transform), dimana DFT adalah salah satu teknik matematis untuk pengolahan sinyal digital.



Gambar 2.9. Representasi sinyal bunyi (a) kawasan waktu (b) kawasan frekuensi (Seybert, 1997)

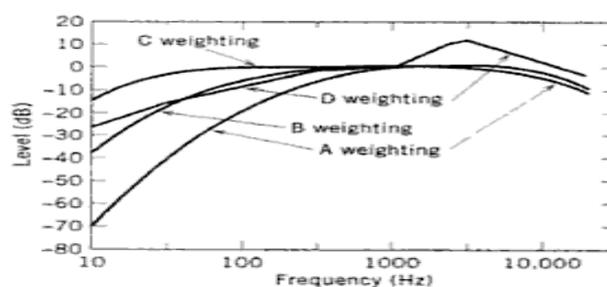
Pada umumnya tidak semua frekuensi dapat direspon dengan baik oleh alat pendengaran manusia, di samping itu aras tekanan bunyi juga tergantung pada frekuensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar (2.10). Sebagai contoh Hz pada tekanan aras bunyi 10 dB dengan bunyi 50 Hz pada tekanan bunyi 40dB.



Gambar 2.10. Kurva “equal-loudness” (Hassall and Zaveri, 1979)

Dari kurva “equal-loudness” diperoleh dasar penentuan skala pembobotan frekuensi (*weighting network*) untuk frekuensi yang dapat diterima dengan baik oleh alat manusia. Terdapat tiga kategori skala pembobotan frekuensi, yaitu “A”, “B”, “C”, dan “D” (Bruel, et.al, 1997).

Pembobotan frekuensi “A” ditunjukkan untuk mensimulasikan pendengaran manusia pada 40 phons dan digunakan untuk pengukuran efek bising terhadap manusia. Pembobotan frekuensi “E” ditunjukkan untuk mensimulasikan pendengaran manusia pada 70 phons dan saat ini tidak sudah banyak digunakan. Kemudian kategori “C” ditunjukkan untuk mensimulasikan pendengaran manusia pada 100 phons dan digunakan untuk pengukuran emisi akustik suatu mesin. Disamping ini disebut pula skala pembobotan frekuensi khusus yaitu “D”, yang di gunakan untuk pengukuran kebisingan pesawat terbang (Krug, 1997). Skala pembobotan frekuensi “A”, “B”, “C” dan “D” ditunjukkan pada Gambar (2.11).



Gambar 2.11. Skala Pembobotan Frekuensi (Krug, 1997)

Untuk sinyal yang kompleks, jangkauan frekuensi dari 20Hz sampai 20kHz dapat dibagi ke dalam bagian-bagian yang disebut band. Proses pembagian frekuensi ini disebut dengan analisis frekuensi (*frequency analysis*), yang dilakukan dengan memilih sinyal-sinyal pada jangkauan diperlukan dan menolak sinyal-sinyal lainnya. Lebar jangkauan (*bandwidth*) yang lazim digunakan adalah 1 oktaf dan ½ oktaf. Masing-masing jangkauan frekuensi diterapkan frekuensi pusatnya (*center frekuensi*)

1 oktaf adalah jangkauan frekuensi dimana frekuensi tertinggi sama dengan dua kali frekuensi terendah, seperti pada persamaan berikut ini (Gunn, 1998) :

$$\text{Frek (terendah)} = \frac{\text{frekuensipusat}}{\sqrt{2}} = \frac{\text{frekuensipusat}}{1.414} \quad (2.6)$$

$$\text{Frek (tertinggi)} = \text{Frek pusat} \times \sqrt{2} = 1.414 \times \text{Frek pusat} \quad (2.7)$$

Tabel 2.3. Tabel frekuensi pusat dan batas jangkauannya 1 oktaf (Gunn, 1998)

Frekuensi Pusat, Hz	Batas Jangkauan, Hz
31.5	22 – 45
63	45 – 89
125	89 – 177
250	177 – 353
500	353 – 707
1000	707 – 1414
2000	1414 – 2828
4000	2828 – 5657
8000	5657 – 11314
16000	11314 – 22627

Sedangkan 1/3 oktaf dalam jangkauan frekuensi dimana frekuensi tertinggi sama dengan 1,26 kali frekuensi terendah.

$$\text{Frek (terendah)} = \frac{\text{frekuensi pusat}}{2^{1/6}} = \frac{\text{frekuensi pusat}}{1.122} \quad (2.8)$$

$$\text{Frek (tertinggi)} = \text{Frekuensi pusat} \times 2^{1/6} = 1.122 \times \text{Frekuensi pusat} \quad (2.9)$$

Tabel 2.4. Tabel frekuensi pusat dan batas jangkauannya 1/3 oktaf (Gunn, 1998)

Frekuensi Pusat, Hz	Batas Jangkauan, Hz
25	22,3 – 28,1
31.5	28,1 – 35,3
40	35,7 – 44,9
50	44,6 – 56,1
63	56,1 – 70,7
80	71,3 – 89,8
100	89,1 – 112,2
125	111,4 – 140,3
160	142,6 – 179,5
200	178,3 – 224,4
250	222,8 – 280,5
315	280,7 – 353,4
400	356,5 – 448,8
500	445,6 – 561,0
630	561,5 – 706,9
800	713,0 – 897,6
1000	891,3 – 1122,0
1250	1114,1 – 1402,5
1600	1426,0 – 1795,2
2000	1782,5 – 2244
2500	2228,2 – 2805,0
3150	2807,5 – 3534,3
4000	3565,1 – 4488,0
5000	4456,3 – 5610,0
6300	5615,0 – 7068,6

8000	7130,1 – 8976,0
10000	8912,7 – 1122,0
12500	11140,8 – 14025,0
16000	14260,2 – 17952,0
20000	17825,3 – 22440,0

Untuk mengetahui jumlah energi dari bunyi yang diukur dilakukan perhitungan rata-rata dari jumlah energi pada masing-masing frekuensi yang sudah ditetapkan yang dikenal dengan *root mean square*. Berdasarkan persamaan (2.2) akan diperoleh hasil dalam satuan decibel (dB), kemudian penentuan rata-rata aras tekanan bunyi di semua jangkauan frekuensi menggunakan persamaan (Gunn, 1998) :

$$SPL = 10 \text{ Log} \left[\frac{1}{N} \left(10^{\left(\frac{SPL1}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{SPL2}{10}\right)} + \dots + 10^{\left(\frac{SPLN}{10}\right)} \right) \right] \quad (2.10)$$

dimana:

SPL = aras tekanan bunyi (dB)

N = jumlah frekuensi

2.5. Discrete Fourier Transform (DFT)

Untuk melakukan analisis frekuensi dari sinyal waktu diskrit $x(n)$ maka perlu mendapatkan representasi domain frekuensi dari sinyal yang biasanya dinyatakan dalam domain waktu. DFT digunakan untuk melakukan analisa frekuensi dari sinyal waktu diskrit.

$$x(n) \xrightarrow{N\text{Point DFT}} X(k) \quad \text{dimana } n = 0, \dots, N-1 \quad \text{dan } k = 0, \dots, N-1 \quad (2.11)$$

DFT dihitung menggunakan persamaan :

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)W_N^{kn} \quad \text{dimana } W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}} \quad (2.12)$$

Sehingga

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j2\pi\left(\frac{k}{N}\right)n} \quad (2.13)$$

Invers DFT (IDFT) menghitung kembali representasi sinyal waktu diskrit $x(n)$ dari sinyal yang dinyatakan dalam domain frekuensi $X(\omega)$.

$$\begin{aligned} x(n) &= \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)e^{j2\pi\left(\frac{k}{N}\right)n} \\ &= \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k)W_N^{-kn} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Dalam hal ini

$$W_N = e^{-j\frac{2\pi}{N}} \rightarrow \text{akar ke N dari unity} \quad (2.15)$$

dimana $X(n)$ adalah data kawasan waktu, $X(k)$ adalah data kawasan frekuensi dan N adalah jumlah sampel sinyal. Contoh pengubahan sinyal dari kawasan waktu ke kawasan frekuensi ditunjukkan pada Gambar (2.7).

2.5.1. Hubungan DFT dengan Spektrum

Misalkan $x_p(n)$ adalah sinyal periodik dengan perioda N , maka dapat dinyatakan:

$$x_p(n) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j2\pi\left(\frac{k}{N}\right)n} \quad (2.16)$$

dimana

$$C_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_p(n) e^{-j2\pi\left(\frac{k}{N}\right)n} \tag{2.17}$$

bila ambil $x(n) = xp(n)$ untuk $n = 0, \dots, N-1$ (satu perioda), maka:

$$C_k = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi\left(\frac{k}{N}\right)n}$$

yang tidak lain adalah $X(k)$. (2.18)

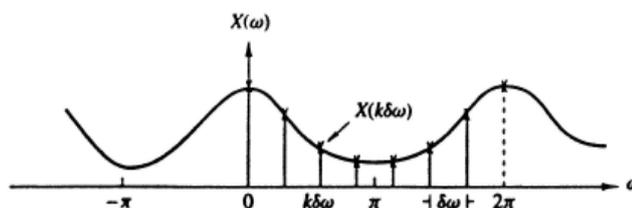
Pengaplikasian DFT dengan spektrum dari sinyal aperiodik:

Bila:

$$x_p(n) = \sum_{l=-\infty}^{\infty} x(n - lN)$$

▶ $xp(n)$ periodik dengan periode N (2.19)

$$X\left(\frac{2\pi}{N}k\right) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) e^{-j2\pi\left(\frac{k}{N}\right)n} \tag{2.20}$$



$$= \dots + \sum_{n=-N}^{-1} x(n) e^{-j2\pi\left(\frac{k}{N}\right)n} + \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi\left(\frac{k}{N}\right)n} + \dots \tag{2.21}$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_{l=-\infty}^{\infty} \sum_{n=lN}^{lN+N-1} x(n) e^{-j2\pi \left(\frac{k}{N}\right)n} \\
&= \sum_{n=0}^{N-1} \left[\sum_{l=-\infty}^{\infty} x(n-lN) \right] e^{-j2\pi \left(\frac{k}{N}\right)n} = FT[x_p(n)]_{\omega=2\pi k/N}
\end{aligned}
\tag{2.22}$$

$$\text{bila } \hat{x}(n) = \begin{cases} x_p(n) & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\text{maka } FT(x(n))_{\omega=2\pi k/N} = X\left(\frac{2\pi}{N}k\right) = DFT[\hat{x}(n)] = X(k)$$

$$\text{jadi } x(n) \rightarrow x_p(n) \rightarrow \hat{x}(n)$$

hanya bila $x(n)$ finite duration $L \leq N$ maka $x(n) = \hat{x}(n)$ sehingga $IDFT\{X(k)\} = x(n)$

2.5.2 Filter Menggunakan DFT

Penggunaan filtering linier dengan DFT, dan membandingkannya dengan konvolusi:

$$x(n) \leftrightarrow X(\omega)$$

$$h(n) \leftrightarrow H(\omega)$$

$$y(n) \leftrightarrow Y(\omega)$$

$$X(\omega) \rightarrow H(\omega) \rightarrow Y(\omega) = H(\omega)X(\omega)$$

Assumsikan FIR dan Finite duration:

$$\text{Let : } x(n) = 0, n < 0 \text{ dan } n \geq L$$

→ durasi L

$$h(n) = 0, n < 0 \text{ dan } n \geq M$$

→ durasi M

$$Y(\omega) = H(\omega) X(\omega) \text{ durasi : } L + M - 1$$

bila $Y(\omega)$ disample maka sampling harus $N^3 L + M - 1$

agar

$$y\left(\frac{2\pi k}{N}\right) \xleftrightarrow{\text{IDFT}} y(n)$$

maka:

$$Y(k) = Y(\omega) \Big|_{\omega = \frac{2\pi k}{N}} \quad k = 0, \dots, N-1 \quad (2.23)$$

$$\rightarrow Y(k) = X(k)H(k), \quad k = 0, \dots, N-1$$

$\downarrow \quad \downarrow \quad N \geq L + M + 1$

zero padding

$$\rightarrow Y(k) \xleftrightarrow{\text{IDFT}} y(n)$$

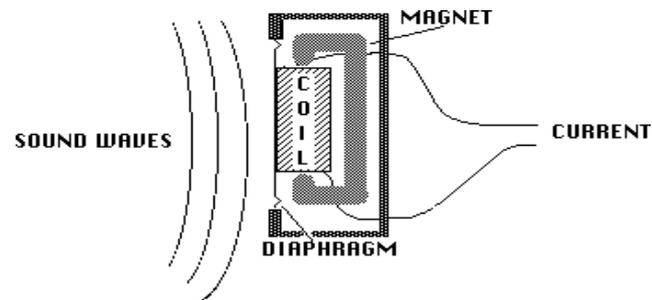
2.6. Perangkat Keras

2.6.1. Mikrofon

Mikrofon adalah piranti yang berfungsi mengubah informasi bunyi menjadi pola arus listrik. Terdapat dua jenis mikrofon yang biasa ditemukan di pasaran yaitu (Elsea, 1996):

1. Mikrofon Dinamik (*Magneto – dynamic*)

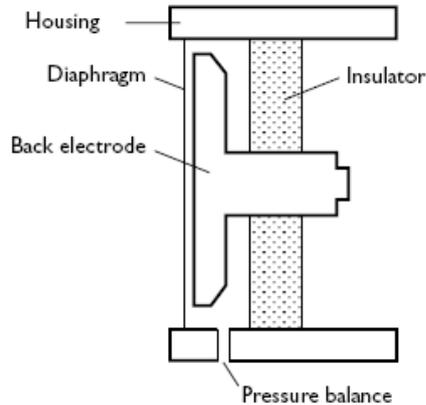
Cara kerja mikrofon dinamik adalah gelombang bunyi yang datang menyebabkan diafragma (logam tipis) dan kumparan bergerak. Karena lilitan kawat tersebut bergerak dalam medan magnet maka terjadi arus listrik. Arus dan jumlah arus yang dihasilkan tergantung dari kecepatan gerak diafragma tersebut.



Gambar 2.12. Skema Mikrofon Dinamik (Elsea, 1996)

2. Mikrofon kondensor

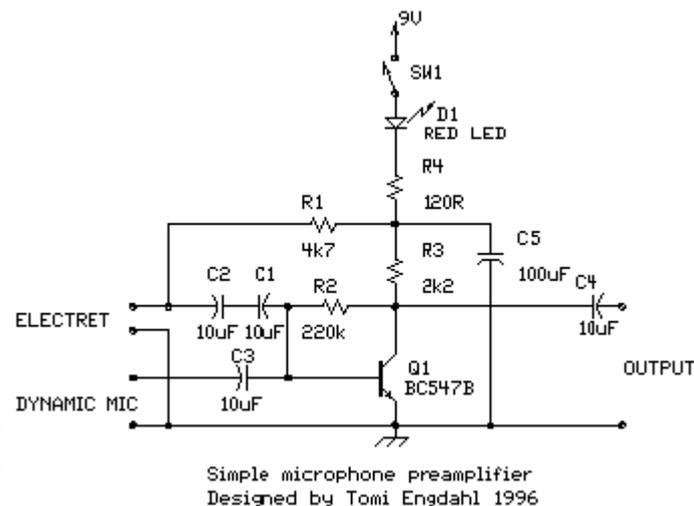
Mikrofon kondensor menggunakan kapasitor variabel sebagai element sensor. Kapasitor tersebut adalah gabungan dari logam tipis yang membentuk lempengan. Ketika bunyi mengenai lempeng kapasitansi antara dua lempeng akan berubah tergantung pada perubahan tekanan bunyi. Perubahan kapasitansi akan menghasilkan keluaran AC yang sebanding dengan tekanan bunyi.



Gambar 2.13. Skema mikrofon Kondensor (Kuttruff, Heinrich, 2007)

2.6.2. Penguat mikrofon

Penguat sinyal dari mikrofon dapat dilakukan dengan menggunakan berbagai variasi rangkaian. Salah satu rangkaian selengkapnya ditunjukkan dalam Gambar (2.14).



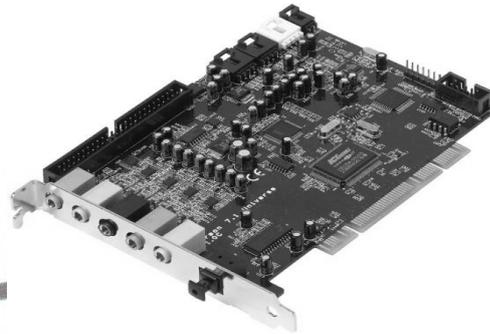
Gambar 2.14. Rangkaian penguat mikrofon (Engdahl, 1996)

2.6.3. Kartu Suara (*Sound card*)

Kartu suara adalah perangkat keras yang diletakkan di slot ISA atau PCI pada *motherboard* sehingga komputer dapat menerima bunyi, memproses dan menghasilkan bunyi. Kartu suara standar memiliki komponen sebagai berikut (Brown, 1998) :

- *Digital signal processor* (DSP) yang menangani sebagian besar komputasi pada pengolahan sinyal
- *Digital to analog converter* (DAC) untuk mengkonversi data digital menjadi data analog sehingga dihasilkan bunyi
- *Analog-to-digital converter* (ADC) untuk mengkonversi data analog menjadi data digital sehingga dapat merekam dan mengolah bunyi
- *Read only memory* (ROM) or flash memory untuk media penyimpanan data
- *Musical Instrument digital interface* (MIDI) berfungsi untuk menghubungkan kartu suara dengan peralatan musik yang lain selain *computer*

- *Panel* untuk speaker dan mikrofon yang biasa disebut *line in* dan *line out*
- *Game port* sebagai konektor *joystick* (*gamepad*).



Gambar 2.15.. Kartu suara ISA 16 bit (Brown, 1998)

Mekanisme pengolahan bunyi pada kartu suara adalah: pertama, sinyal analog dalam bentuk frekuensi dan amplitudo diterima secara kontinu dari mikrofon oleh kartu suara. Kemudian sinyal analog ini diproses secara *real time* oleh *chip* ADC, sehingga menghasilkan data keluaran digital. Data digital ini dialirkan dari ADC ke DSP dan dikompresi (dimampatkan) ke dalam lokasi yang disediakan. Hasil dari DSP dialirkan melalui jalur bus data yaitu penghubung antara kartu suara dengan keseluruhan sistem komputer. Data ini kemudian diolah oleh prosesor dan dihubungkan ke *hardisk* untuk disimpan sebagai urutan angka-angka diskrit, dimana masing-masing angka mewakili tekanan udara tiap satuan waktu (Brown, 1998).

Sedangkan untuk mekanisme penghasilan bunyi, data digital dari *hardisk* diberikan pada prosesor. Kemudian prosesor akan meneruskan data digital tersebut ke DSP untuk di-*uncompress*. Data yang sudah di-*uncompress* tersebut diolah secara *real time* dan chip DAC dan dihasilkan sinyal analog yang terdengar sebagai bunyi melalui speaker (Brown, 1998).

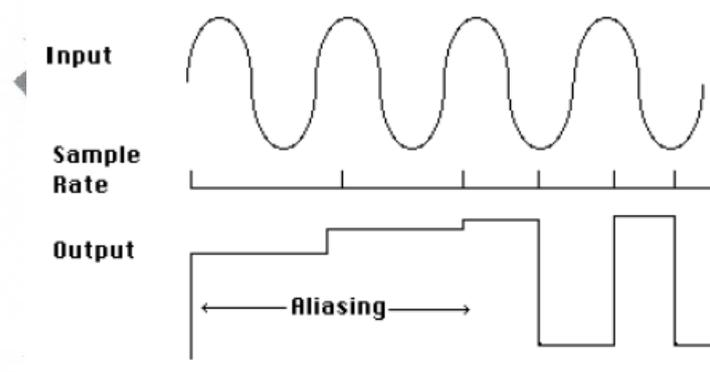
Beberapa faktor dari kartu suara sangat berpengaruh pada ketepatan pembacaan sinyal, yaitu antara lain (Elsae, 1996) :

- Jumlah bit

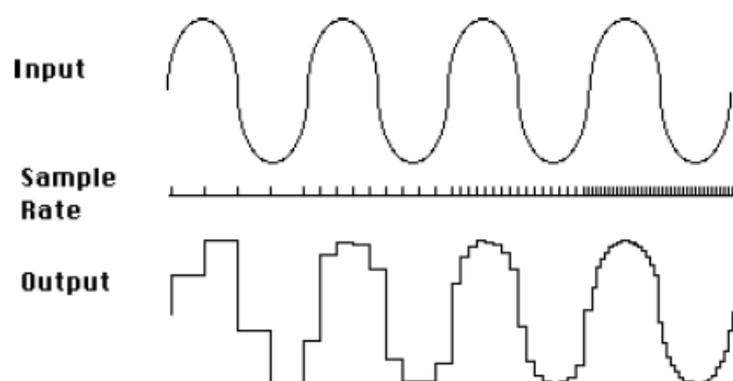
Kenaikan jumlah bit akan menyebabkan pembacaan yang lebih halus dan meminimalkan hilangnya informasi dari intensitas bunyi.

- Kecepatan pembacaan sampel (*sampling rate*)

Jika kecepatan pembacaan sampel lebih rendah atau sama dengan frekuensi yang akan diukur maka beberapa bagian dari gelombang terbentuk akan hilang sehingga mengubah informasi yang diperoleh. Kesalahan ini disebut dengan istilah *aliasing*.



Gambar 2.16.. Efek kecepatan pembacaan sampel rendah (Elsae, 1996)



Gambar 2.17. Efek kenaikan kecepatan pembacaan sampel (Elsae, 1996).

2.6.4. Pemasangan Mikrofon Kondensor ke Kartu Suara

Beberapa hal yang perlu diperhatikan pada penyambungan mikrofon ke kartu suara yaitu (Guerra, 1996) :

1. Aras sinyal

Mikrofon menghasilkan sinyal yang sangat lemah dengan amplitudo atau milivolt. Sedangkan input audio pada kebanyakan kartu suara tidak dirancang untuk menerima aras sinyal yang lemah suara, melainkan memerlukan aras sinyal minimal sepuluh milivolt, dan bahkan untuk kartu suara 8-bit (versi lama) memerlukan input amplitudo seratus milivolt.

Terdapat dua solusi untuk mengatasi hal tersebut. Pertama dengan menaikkan sensitivitas input kartu suara, sehingga lebih mudah mendeteksi sinyal dari mikrofon. Pada beberapa kartu suara biasanya disertakan program untuk menaikkan sensitivitas inputnya, yaitu dengan klik dan drag kontrol level input atau memilih *check box* pada tingkat *double*, *triple* atau *quadruple*. Resikonya, peningkatan sensitivitas input akan disertai peningkatan noise. Langkah kedua adalah penguatan sinyal dan mikrofon sebelum masuk ke input kartu suara yang dilakukan dengan melewatkan sinyal ke dalam rangkaian penguat mikrofon.

2. Impedansi listrik

Impedansi adalah karakteristik listrik yang sama dengan hambatan (*resistance*). Hubungan antara impedansi mikrofon dan impedansi kartu suara sangat penting sebab dapat berdampak signifikan pada seberapa banyak sinyal dari mikrofon yang sebenarnya dikirimkan ke kartu suara. Impedansi keluaran mikrofon harus lebih kecil daripada impedansi input kartu suara maka beberapa atau keseluruhan kekuatan sinyal mikrofon akan hilang (*efek loading*). Mikrofon standar mempunyai keluaran impedansi kurang dari 600

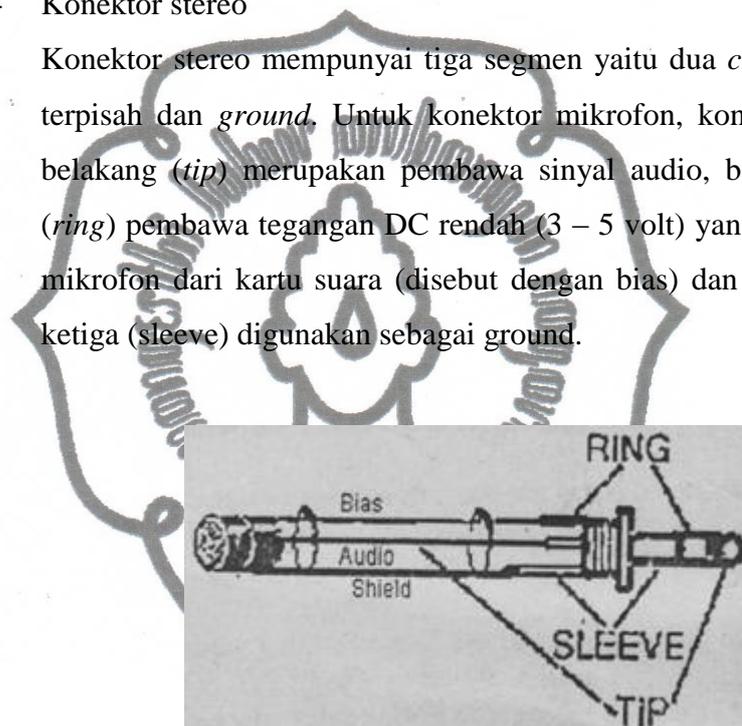
ohms dan kebanyakan kartu suara memiliki impedansi input antara 600 sampai 200 ohms.

3. Konektor

Konektor yang digunakan untuk kartu suara komputer adalah tipe miniplug 3,5 mm. terdapat dua jenis konektor miniplug 3,5 mm yaitu:

- Konektor stereo

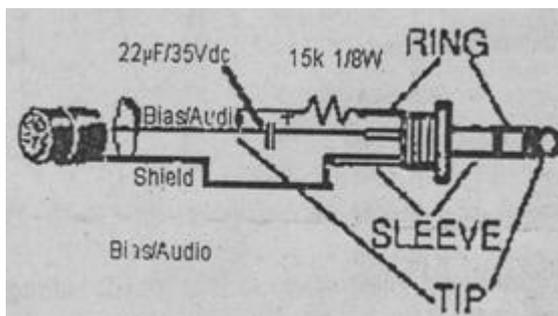
Konektor stereo mempunyai tiga segmen yaitu dua *channel* audio terpisah dan *ground*. Untuk konektor mikrofon, konektor bagian belakang (*tip*) merupakan pembawa sinyal audio, bagian tengah (*ring*) pembawa tegangan DC rendah (3 – 5 volt) yang dibutuhkan mikrofon dari kartu suara (disebut dengan bias) dan bagian yang ketiga (*sleeve*) digunakan sebagai ground.



Gambar 2.18. Skema penyambungan dengan kabel stereo (Guerra, 1996)

- Konektor mono

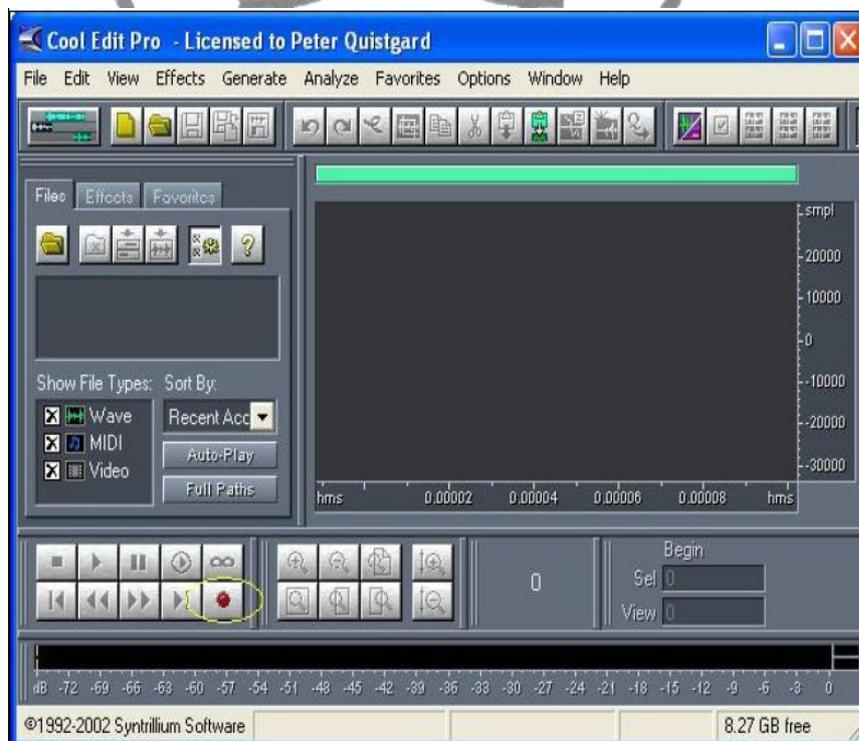
Konektor mono memiliki dua segmen yaitu tip sebagai pembawa audio dan *sleeve* sebagai *ground*. Sumber daya DC biasanya tidak dapat diberikan melalui miniplug 3,5 mm mono.



Gambar 2.19. Skema penyambungan dengan kabel stereo (Guerra, 1996)

2.6.5. Perangkat Lunak

Cool Edit Pro merupakan salah satu perangkat lunak yang digunakan untuk mengedit suara (*editing sound*) dengan bermacam-macam ekstensi file suara. Perangkat lunak ini lebih mudah dioperasikan daripada *software editing sound* yang lainnya. Berikut tampilan perangkat lunak Cool Edit Pro 2.

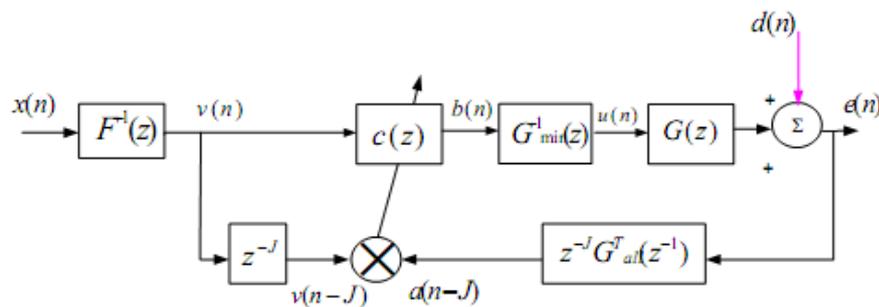


Gambar 2.20. Tampilan Software Cool Edit Pro 2.

commit to user

Algoritma Preconditioned LMS (PLMS)

Algoritma PLMS merupakan pengembangan dari algoritma *Filtered-error* LMS dan merupakan salah satu algoritma yang digunakan untuk mengatasi masalah kecepatan konvergensi. Pada algoritma ini sinyal referensi difilter oleh invers faktorisasi spektral dari sinyal referensi $F^{-1}(z)$ dalam upaya untuk mempercepat konvergensi, sedangkan invers fasa minimum plant $G^{-1}_{min}(z)$ dan transpos dari *time reverse allpass component* $G_{all}(z)$ digunakan untuk mengkompensasi respons dinamik plant dan koupling antara kanal. Oleh karena itu, algoritma yang dihasilkan disebut Preconditioned LMS (PLMS) atau Filtered-error LMS dengan $F^{-1}(z)$ dan $G^{-1}_{min}(z)$.



Gambar 2.21. Diagram Algoritma Preconditioned LMS (PLMS)

Persamaan algoritma PLMS dapat ditulis sebagai berikut:

Sinyal galat yang terfilter dapat ditulis sebagai :

$$a(z) = G^T_{all}(z^{-1}) e(z) \tag{2.24}$$

Sinyal referensi yang terfilter dinyatakan dalam bentuk

$$V(z) = F^{-1}(z) x(z) \tag{2.25}$$

Plant terdiri dari komponen *allpass* dan komponen *fasa minimum*, dan oleh karena itu $G(z)$ dapat ditulis sebagai:

$$G(z) = G_{all}(z) G_{min}(z) \quad (2.26)$$

Komponen *allpass* dapat dihitung dari $G_{all}(z)$ dan $G_{min}(z)$.

$$G_{all}(z) = G(z) G_{min}^{-1}(z) \quad (2.27)$$

dimana

$G_{min}^{-1}(z)$: invers fasa minimum plant.

$F^{-1}(z)$: invers faktorisasi spektral dari matrik densitas spektral sinyal referensi .

$c(z)$: transformasi pengendali.

Bentuk algoritma PLMS dalam domain waktu ditentukan dengan mengadaptasi koefisien pengendali yang dinyatakan sebagai :

$$c(n+1) = c(n) - \alpha a(n) V^T(n-i) \quad (2.28)$$

Agar persamaan (2.27) dapat diimplementasikan dengan menggunakan filter kausal, maka $v(n)$ dan $a(n)$ harus ditunda sebagaimana algoritma *filtered-error LMS* (Wan, E. A., 1996).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimental yang meliputi persiapan alat dan bahan, perancangan dan perakitan alat, pengujian alat dan pengambilan data, analisis hasil pengurangan nilai intensitas kebisingan dengan teori yang diacu dan pengumpulan laporan akhir. Parameter yang diukur adalah besarnya pengurangan nilai intensitas kebisingan (desibel).

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pusat, Universitas Sebelas Maret mulai dari bulan Juni 2010 sampai Juni 2011.

3.3. Alat dan Bahan Penelitian

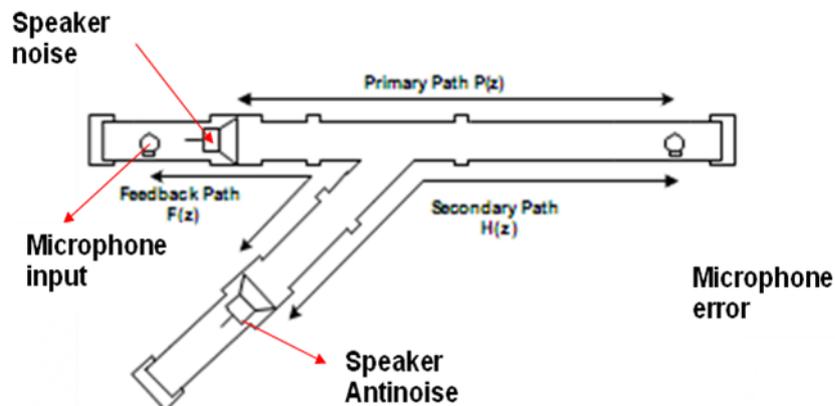
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Komputer pribadi/ PC : seperangkat
2. Pipa PVC : 1 set
3. Mikrofon : 2 buah
4. Speaker/ Aktuator : 2 buah
5. Seperangkat Amplifier dan Power Supply
6. Software *Cool Edit Pro 2*

3.4. Perancangan dan Perakitan Alat

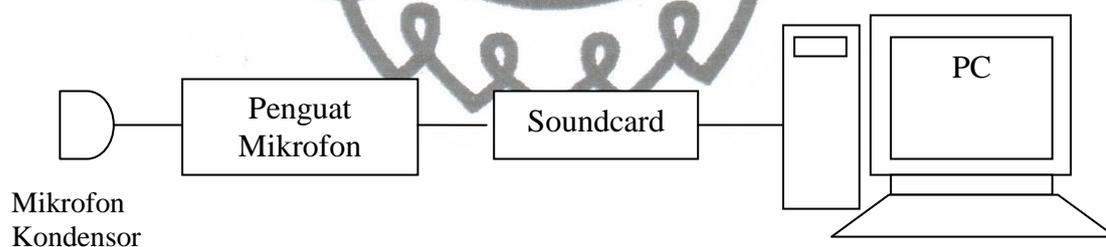
Perancangan alat pengukur aras kebisingan meliputi media simulasi aliran bising dari bahan PVC, speaker (aktuator), mikrofon, penguat mikrofon (*amplifier*), kartu suara (*soundcard*) dan seperangkat komputer.

Media simulasi aliran bising di dalam penelitian ini dibuat dengan menggunakan bahan PVC. Di dalam media ini dipasang dua speaker (speaker noise dan speaker antinoise) dan dua mikrofon (microphone input dan microphone error). Skema perancangan alat ditunjukkan seperti pada Gambar (3.1) berikut ini.



Gambar 3.1. Media simulasi aliran bisung dengan bahan PVC

Blok diagram pengukur aras kebisingan ditunjukkan seperti pada Gambar (3.2) berikut ini. Prinsip kerjanya adalah bunyi (*noise*) yang diterima oleh mikrofon akan diubah menjadi sinyal listrik, kemudian diperkuat dengan penguat mikrofon agar dapat dibaca oleh ADC (*Analog to Digital Converter*) kartu suara. Hasil konversi oleh kartu suara diolah dengan perangkat lunak dan hasilnya ditampilkan di layar komputer.

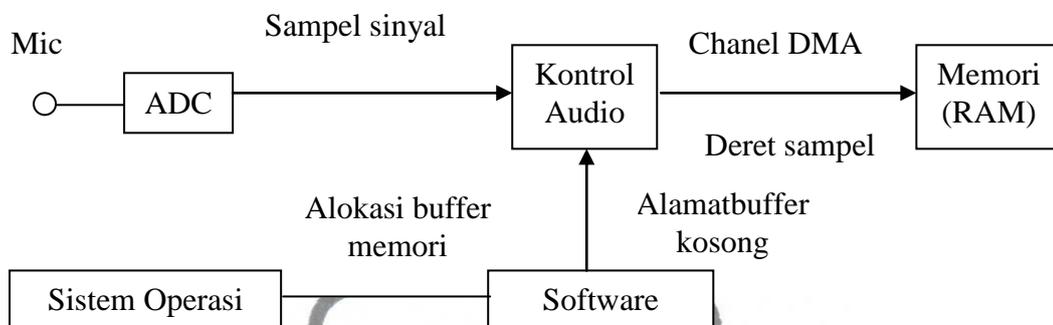


Gambar 3.2. Blok rancangan pengukur aras kebisingan dengan kartu suara

Mikrofon yang digunakan adalah mikrofon kondensator. Mikrofon ini berfungsi sebagai sensor penangkap sumber bunyi dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sedangkan penguat mikrofon (*amplifier*) digunakan untuk menguatkan sinyal analog dari mikrofon yang memiliki orde satu milivolt agar dapat terbaca oleh kartu suara.

ADC pada kartu suara yang digunakan untuk mengubah sinyal analog dari penguat mikrofon ke data digital. Kemudian kontrol kartu suara bertugas mengirimkan informasi sinyal ke memori komputer (RAM) dengan menggunakan

jalur *Direct Memory Acces* (DMA). Skema alur kerja kartu suara selengkapnya sebagai berikut:



Gambar 3.3. Skema alur kerja kartu suara (Browning, 1997)

Spesifikasi komputer yang digunakan adalah sistem operasi Windows XP, memori 512 MB, soundcard blaster.

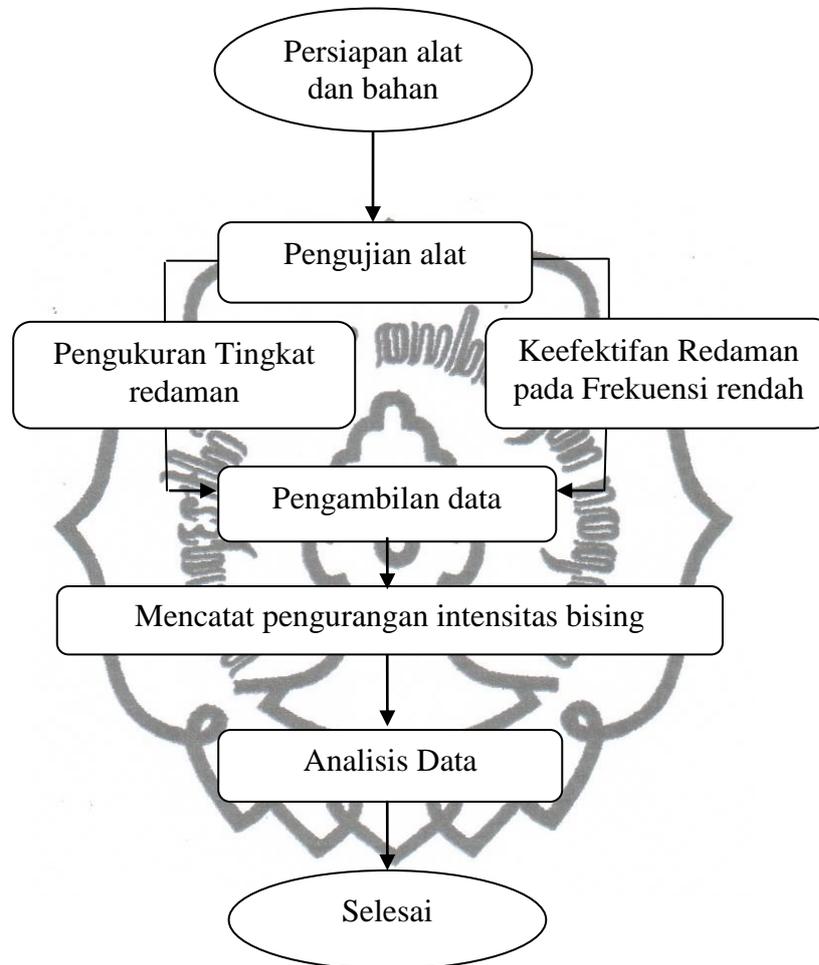
3.5. Pengujian dan Pengambilan Data

Skema pengujian alat sesuai dengan Gambar (3.2). Sumber bising (*noise logs sine sweep*) sepanjang enam detik dengan frekuensi sebesar 20 – 20.000 Hz. Data hasil percobaan yang diperoleh berupa grafik hubungan intensitas bising dengan frekuensi sumber.

3.6. Pengolahan Data Suara

Perangkat lunak yang digunakan untuk pembacaan sinyal dan pengolahan sinyal aras kebisingan adalah Cool Edit Pro 2. Perangkat lunak ini digunakan untuk menganalisis intensitas suara bising yang telah diolah di dalam kartu suara. Perangkat lunak ini mampu merekam sinyal masukan dan keluaran sehingga mampu dibandingkan besarnya intensitas pengurangan tingkat kebisingan.

Secara umum, langkah-langkah yang dilakukan di dalam penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir di bawah ini:



Gambar 3.4. Diagram alir penelitian

BAB IV

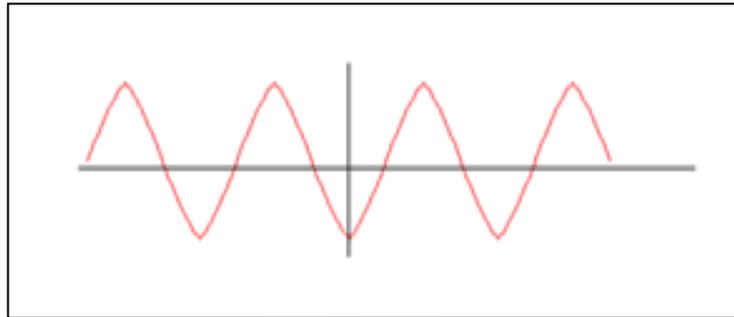
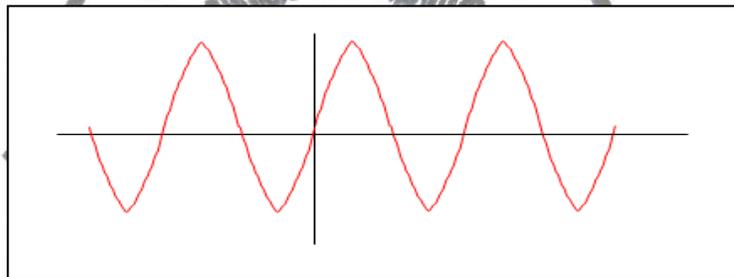
HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan pengembangan ANC (*active noise control*) dengan modifikasi *soundcard* pc sebagai substitusi DSP (*digital signal processing*) card komersial ini menggunakan metode eksperimental dengan menggunakan *personal computer* (PC) dengan spesifikasi : processor Intel Pentium IV 3.06GHz, memory 512Mb, dengan menggunakan sebuah perangkat kartu bunyi (*soundcard*), *pre amplifier* dan perangkat lunak *Cool edit Pro 2*.

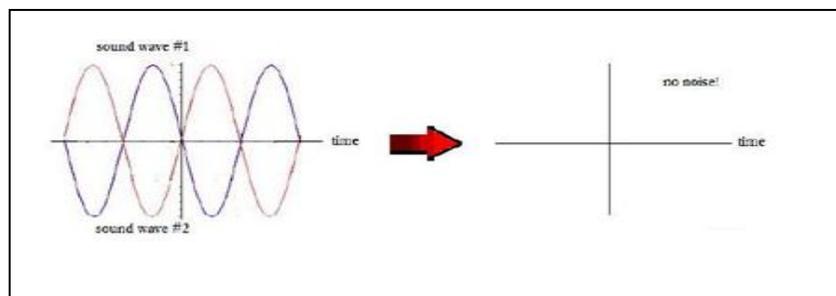
4.1. Mekanisme dan Cara kerja Eksperimen

Cara kerja sistem kendali bising aktif adalah dengan cara menambahkan bunyi kebalikan yang tepat untuk menghilangkan kebisingan tersebut (*anti sound*). Kita dapat melihat gelombang dengan amplitudo yang awal kemudian kita berikan amplitudo yang berlawanan (berbeda fasa 180°). Pada sisi lain, dua gelombang dengan fasa berlawanan dan amplitudo sama digabungkan maka akan menghapuskan keseluruhan amplitudo.

Menurut bahasa awamnya, sistem kendali bising aktif adalah suara melawan suara yaitu dengan metode sinyal yang telah kita dapatkan harus kita cari *anti* sinyalnya yaitu yang serupa dengan sinyal awal tapi berlawanan fasa. Dapat kita lihat contoh pada uraian Gambar (4.1) dijelaskan sinyal Tegak Amplitudo rendah dengan kondisi tanpa suara.

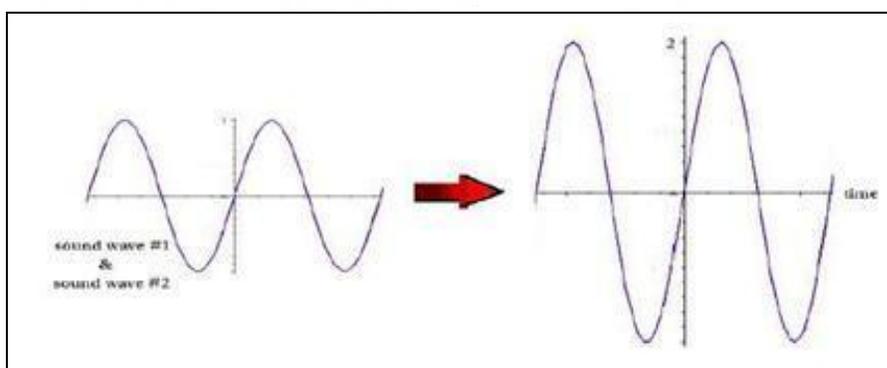
Gambar 4.1 Gelombang Tegak *Low Amplitudo* diamGambar 4.2 Gelombang Tegak *High Amplitudo*

Dari perbandingan Gambar (4.1) dan (4.2) dapat dilihat bahwa amplitudo dalam keadaan diam dengan keadaan amplitudo rendah dan tinggi. Terlihat pada amplitudo rendah tidak mempunyai bunyi untuk amplitude tinggi bunyi nyaring.



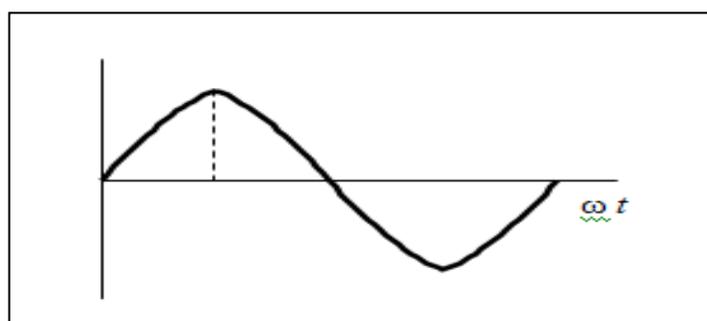
Gambar 4.3 Gelombang Tegak pada pergeseran fasa

Pada Gambar (4.3) diperlihatkan pergeseran fasa yang berfluktuasi terhadap waktu. Dimana dengan pergeseran fasa tersebut akan terjadi interferensi bunyi yang bertujuan mencapai propagasi sehingga terjadi reduksi.



Gambar 4.4. Dua buah gelombang tegak dengan perbedaan fasa 180° saling meniadakan.

Pada Gambar (4.4) diperlihatkan dua bunyi yang berbeda fasa 180° yang saling meniadakan yang akan menuju kuadran tidak ada bunyi sama sekali.

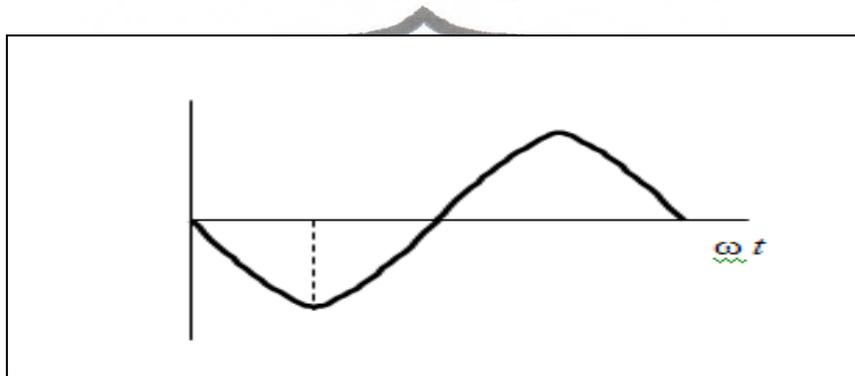


Gambar 4.5 Sinyal Sumber atau Sinyal 1

Pada Gambar (4.5) diperlihatkan sebuah sinyal sumber atau sinyal 1 dalam suatu sistem Sistem kendali bising aktif.

Dimana persamaan yang ditunjukkan adalah :

$$y_1 = A \sin \omega t \quad (4.1)$$

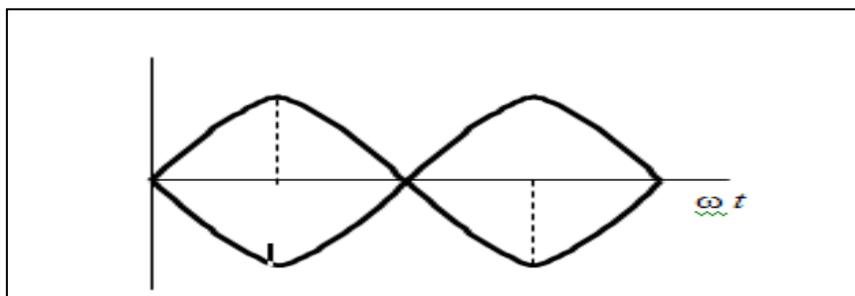


Gambar 4.6 Sinyal Lawan atau Sinyal 2

Pada Gambar (4.6) ditunjukkan sinyal lawan atau sinyal 2 dari suatu sistem kendali bising aktif.

Dimana persamaan yang ditunjukkan adalah :

$$y_2 = -A \sin \omega t \quad (4.2)$$



Gambar 4.7 Aktif Sinyal

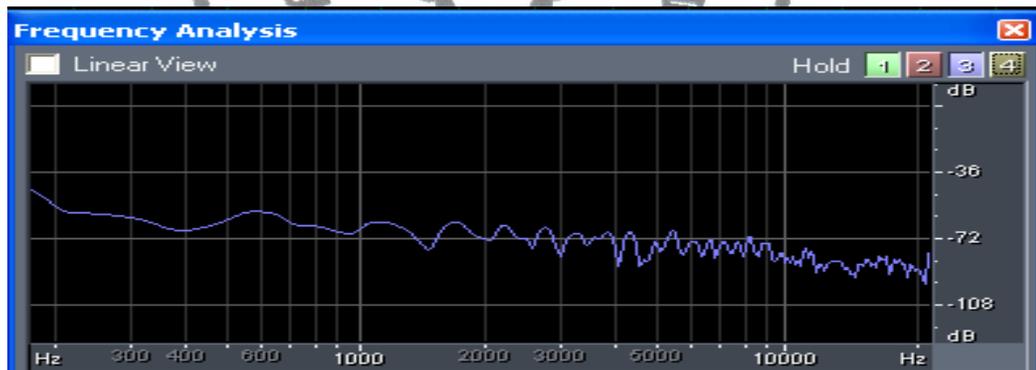
Pada Gambar (4.7) adalah merupakan Aktif Sinyal, dimana sinyal 1 dan sinyal 2 tergabung dengan fasa yang berlawanan 180^0 dan sinyal saling meniadakan.

Maka persamaan dari penggabungan Sinyal 1 dengan Sinyal 2 adalah :

$$Y_{\text{aktif noise}} = y_1 + y_2$$

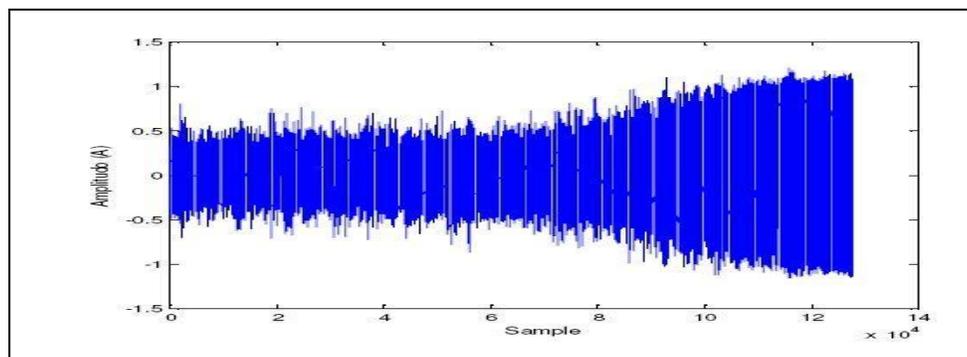
$$Y_{\text{aktif noise}} = A \sin \omega t - A \sin \omega t = 0 \quad (4.3)$$

Uraian kebisingan aktif juga dapat kita lihat dari tampilan sinyal yang telah berfluktuasi pada Gambar (4.8) dan Gambar (4.9).



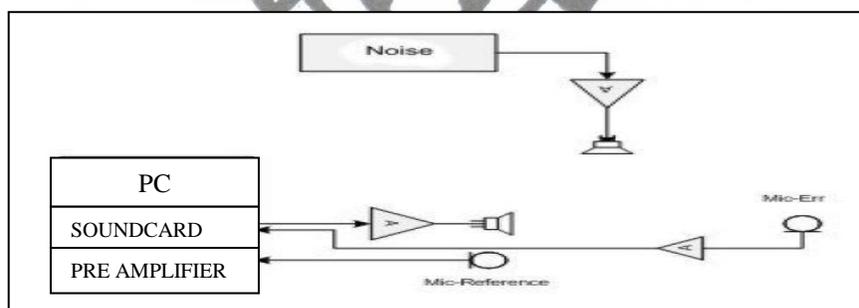
Gambar 4.8 Sinyal Aktif Kebisingan

Gambar (4.8) memperlihatkan fluktuasi SPL terhadap frekuensi, dan fluktuasi sinyal suara ini adalah perbesaran dari sinyal realnya. Dikarenakan sinyal real dari suatu bunyi sangat bersifat acak. Dan Gambar 4.9 adalah salah satu teknik untuk bisa mendapatkan sinyal secara lebih jelas dari keacakan sinyal bunyi yang begitu rumit.



Gambar 4.9 Sinyal Sistem kendali bising aktif yang sangat acak

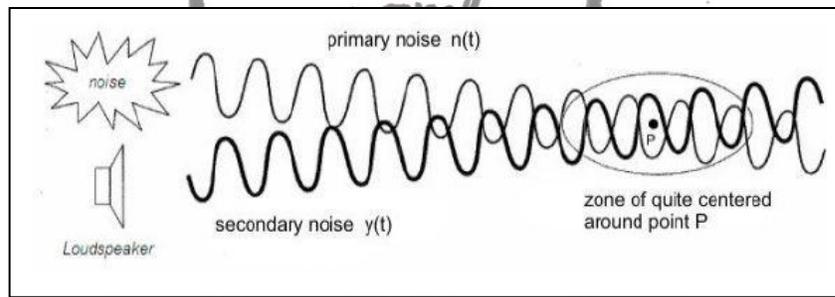
Beberapa referensi dari penelitian yang telah diteliti terkait sistem kendali bising aktif (Active Noise Control), yaitu penelitian tentang pengurangan kebisingan dengan menggunakan *Active Noise Control System*. Sinyal pada satu chanel sistem kendali bising aktif telah mengurangi noise pada frekuensi rendah dengan nilai -10,72 dB. Sistem ini tidak stabil ketika sinyal *noise* terus menerus berubah. Frekuensi noise ini bervariasi pada perpindahan objek dalam suatu posisi. Sinyal sistem kendali bising aktif kurang dari maksimal selama zona diam dihasilkan juga sangat relative untuk menghasilkan area perubahan yang besar. Lihat set up alat pada Gambar (4.10).



Gambar 4.10 Konfigurasi hardware pada sistem kendali bising aktif.

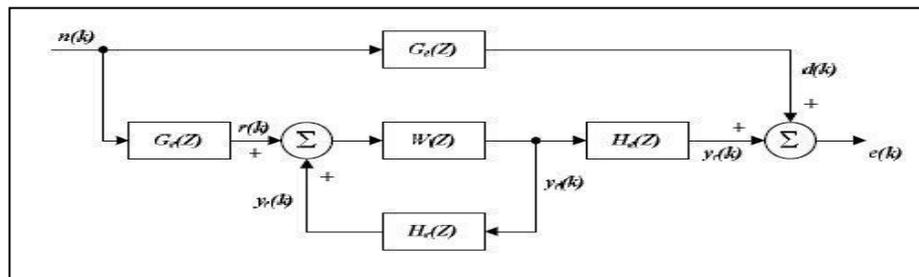
Dapat dilihat pada Gambar (4.10) letak posisi dari sumber bising yang digantung dimana kemudian diberikan *anti noise* dari suara yang disesuaikan dengan suara dari sumber bising.

Dengan pendeteksian bunyi melalui mikropon, sistem kendali bising aktif dapat secara otomatis menghasilkan isyarat yang benar untuk mengirim kepada penguat suara yang akan menghasilkan *anti sound* untuk menghilangkan bunyi yang asli. Ukuran daerah kesunyian yang diciptakan tergantung pada panjang gelombang bunyi. Efektivitas sistem akan tergantung pada ukuran dan bentuk ruang di mana diterapkan, ukuran sumber bunyi yang tak dikehendaki dan nomor jumlah dan posisi penguat suara yang digunakan untuk menghasilkan *anti sound*.



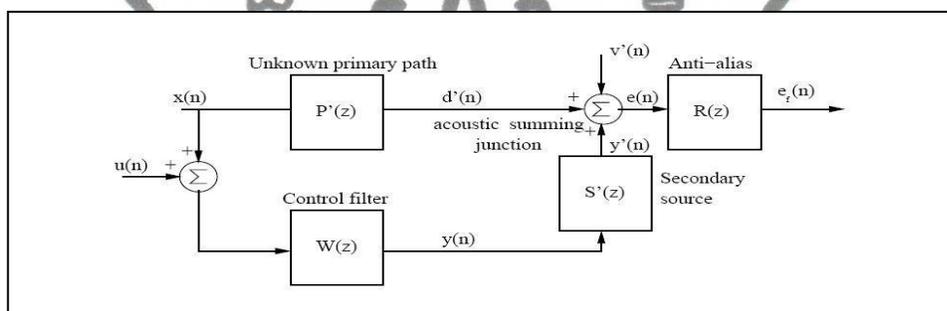
Gambar 4.11. Propagasi pada dua sinyal yang menuju pada zona diam.

Pada Gambar (4.11) diatas, bentuk propagasi dua sinyal yaitu sinyal sumber noise dan sinyal lawan, dimana kemudian kedua sinyal itu saling berpropagasi yang akhirnya saling meniadakan atau minimal tereduksi (destuktif).



Gambar 4.12. Blok Diagram *Single Chanel* Sistem kendali bising aktif.

Pada Gambar (4.13) dapat dilihat blok diagram dari *single chanel* sistem kendali bising aktif, kita dapat melihat input dan output dari sinyal yang juga menggunakan feedback untuk memperjelas dan memperkuat sinyal. Pada penelitian tentang Sistem kendali bising aktif terhadap media PVC sasaran kuat bunyi yang terbaik dalam pencapaian prototip Sistem kendali bising aktif adalah 20 dB. Sedangkan pada simulasi reduksi sinyal yang dihasilkan optimalnya dibawah 10 dB. Radiasi bising pada media PVC adalah langsung dari *soundcard* (PC). Hal ini yang membuat kesulitan pada penelitian dalam menset up mikropone untuk mendapatkan korelasi sinyal yang baik dengan noise, karena masih menggunakan perangkat tambahan yang berupa *pre amplifier*.

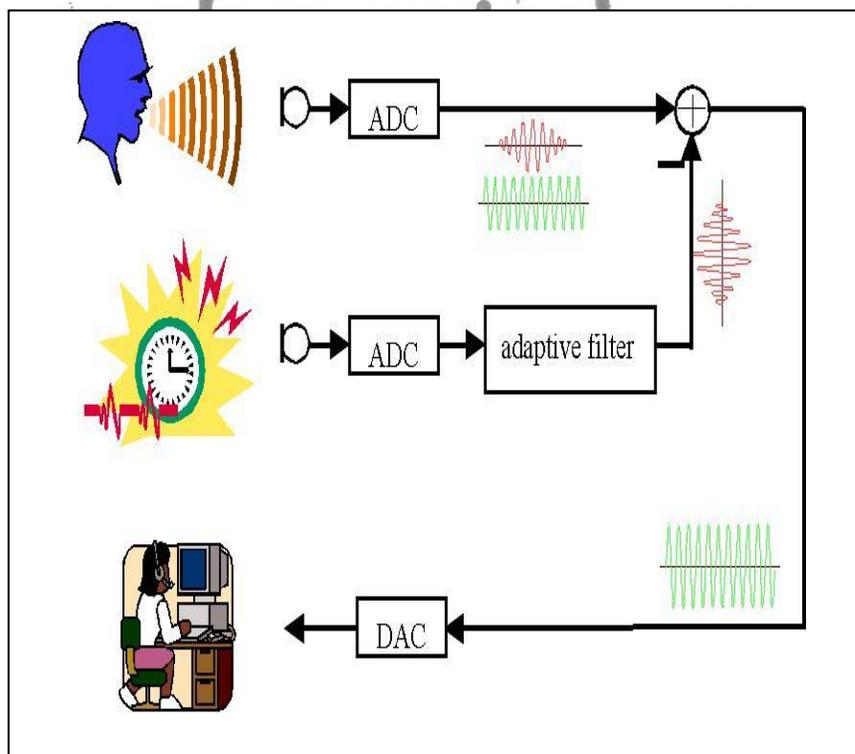


Gambar 4.13 Blok diagram sistem *single chanel* sistem kendali bising aktif.

Pada Gambar (4.13) ditunjukkan blok diagram sistem *single chanel* sistem kendali bising aktif yang *secondary sourcena* dikontrol oleh sebuah blok filter.

Pada penelitian penekanan frekuensi rendah kebisingan atau getaran pasif mempunyai banyak kerugian, sebagian besar oleh karena menyangkut volume peredam tersebut. Dengan menggunakan metode pengolah sinyal kemungkinan untuk menggunakan Sistem kendali bising aktif bisa tercapai. Kebisingan sekunder (yang buatan) harus dihasilkan, yang akan melemahkan kebisingan yang primer (yang

sesungguhnya) ini dapat dilihat pada Gambar (4.15). Terlihat bahwa kebisingan sekunder mengcounter kebisingan primer yang sesungguhnya. Dalam hal ini kebisingan sekunder diwakili oleh *loudspeaker* sementara kebisingan primer diwakili oleh jam beker. Sinyal dari sekunder (*loudspeaker*) dipancarkan kemudian ditangkap oleh mikropon dimana dengan bersamaan sinyal dari primer (jam beker) dipancarkan juga kemudian ditangkap oleh mikropon juga.



Gambar 4.14. Sistem Kerja Sistem kendali bising aktif.

Gambar (4.14) Menjelaskan tentang Sistem kendali bising aktif bekerja dengan menggunakan *Analoge Digital Converter* dan *Digital Analoge Converter*.

Dari eksperimen yang telah dilakukan didapatkan hasil berupa grafik pengurangan intensitas setelah dilakukan peredaman bunyi yaitu sebagai berikut :

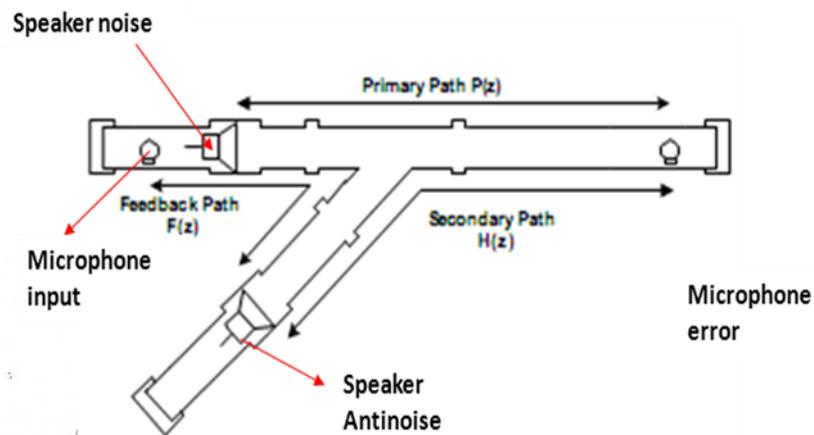


Gambar 4.15. Hasil redaman Sistem kendali bising aktif dengan media PVC.

Eksperimen ini dilakukan dengan menggunakan rekaman bunyi bising *logs sine sweep* sepanjang enam detik dengan frekuensi sebesar 20 – 20.000 Hz. Bunyi bising ini sebagai sinyal bising. Penggunaan rekaman bising juga dimaksudkan untuk mendekati kondisi bising yang sesungguhnya.

Eksperimen ini ditujukan untuk mengetahui manfaat kendali bising aktif yang dirancang dan diimplementasikan dengan menggunakan DSP. Analisis DSP diwujudkan dengan memanfaatkan prinsip kerja dari suatu *soundcard device*.

Rangkaian alat eksperimen terdiri dari seperangkat *Pc* yang sudah dimodifikasi, perangkat alat dua buah *speaker* (keluaran) dan dua buah *microphone* (perekaman *noise*), pipa PVC sebagai media simulasi aliran bising (pipa ini bercabang sehingga dapat dikatakan memiliki dua saluran yaitu saluran primer dan saluran sekunder), perangkat *pre amp* dan *power supply*, serta pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak Cool Edit Pro.



Gambar 4.16. Media simulasi aliran bising dari bahan PVC.

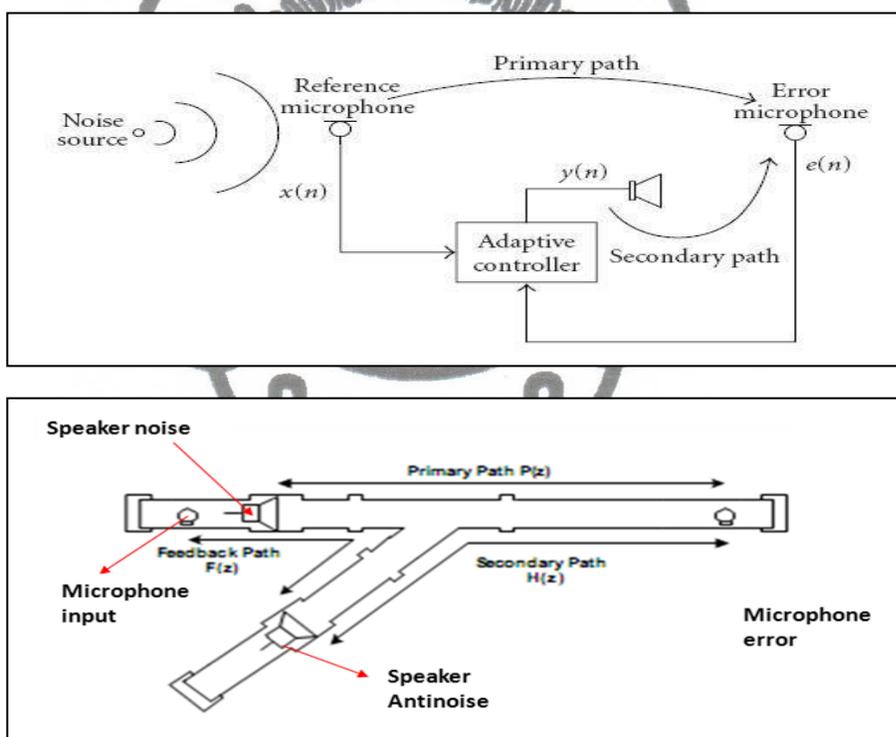
Cara kerja dari eksperimen ini sendiri adalah sebagai berikut : sinyal bising yang ditangkap dari mikrofon diberikan ke *pre-amplifier* untuk dikuatkan. Sinyal yang dikuatkan ini diberikan ke *anti-aliasing filter* dan selanjutnya menjadi masukan bagi konverter analog-ke-digital dengan perioda pencuplikan 2 KHz. Selanjutnya sinyal digital yang dihasilkan tersebut diolah secara adaptif di DSP. Sinyal yang diperoleh dari hasil pengolahan *soundcard device* diberikan ke konverter digital-ke-analog. Setelah itu sinyal analog yang dihasilkan dilewatkan pada *low-pass filter* dan skemudian dilakukan penguatan sinyal dengan *power amplifier* sehingga dihasilkan sinyal anti bising melalui *speaker*. Pemilihan *speaker* dilakukan sedemikian sehingga *speaker* tersebut memiliki karakteristik yang mampu memberikan eksitasi pada frekuensi cukup rendah.

4.2. Pengujian Dengan Algoritma LMS

Kontribusi penelitian ini menunjukkan asal usul FXLMS struktur untuk implementasi pada suatu titik yang tetap menjalankan pada tekanan induksi rata-rata pada sebuah suara. Implementasi dievaluasi dengan keadaan online dan dicapai pada

titik tetap FXLMS adalah 20dB ke 30dB pada interval frekwensi 60Hz ke 660Hz karena lebar *bandwith* kebisingan 60dB dan *distorsi* suara (sinusoidal 200Hz).

Implementasi alat digunakan untuk mengatasi tekanan suara tinggi. Penerapan algoritma dilakukan dalam Sistem kendali bising aktif akustik. Kemudian diperoleh dari aplikasi untuk Sistem kendali bising aktif tentang kebisingan dengan media pipa PVC. Di dalam adaptip *feedback* alat ini tetap pada titik FXLMS (Filtered-X LMS). Penelitian ini juga menarik untuk lebih lanjut diuraikan dengan menggunakan kombinasai digital dan analog pada pengendalian kedua daerah yang utama.



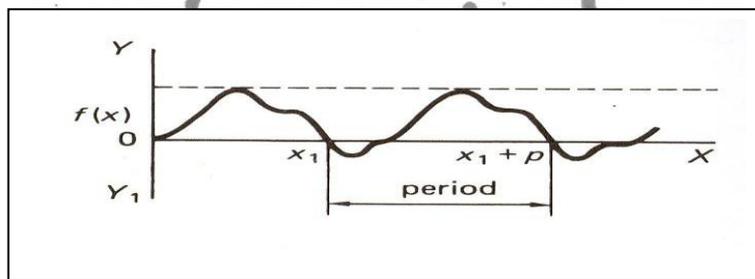
Gambar 4.17 Single Channel Adaptive Kontrol

Ekspirimen ini mempunyai dua penerapan yang nantinya akan bermanfaat. Penerapan tersebut yaitu penerapan secara *single-channel* dan *multiple-channel*. Sebagai contoh dari penerapan dalam *single-channel* ialah peredaman bunyi pada pipa saluran udara (ventilasi), baik untuk pendingin maupun penghangat ruangan. Pipa atau saluran ini dikenal dengan nama saluran HVAC (*Heating, Ventilating and Air Conditioning*). Sedangkan untuk penerapan pada *multiple-channel* contohnya

ialah peredaman bunyi pada suatu ruangan terbuka. Dalam eksperimen ini lebih menganalisis untuk peredaman yang bersifat *single-channel*.

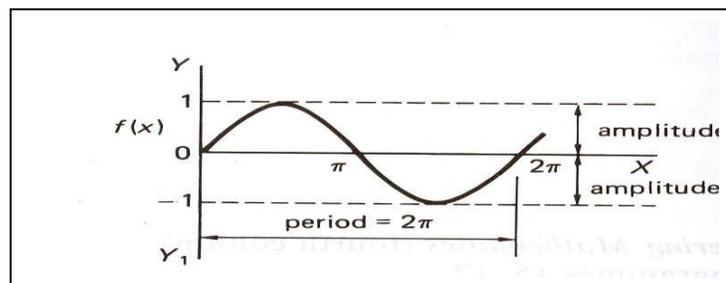
Teori FFT (*Fast Fourier Transform*) yang digunakan dalam Pemrosesan Sinyal ini adalah sebagai berikut:

Fungsi $f(x)$ adalah merupakan fungsi periodik jika nilai fungsinya berulang pada waktu tertentu dengan variabel tunggal. Pengulangan waktu tertentu ini merupakan perioda dalam suatu getaran dapat dilihat pada Gambar berikut:



Gambar 4.18. Fungsi dari suatu sinyal dengan perioda.

Terbukti bahwa $y = \sin nx$ adalah merupakan fungsi periodik, dimana jarak nilai x naik dari 0^0 sampai 360^0 . Periode 360^0 dikatakan 2π radians dan maksimum pergeseran amplitudo dari posisi sandaran, lihat Gambar (4.19).



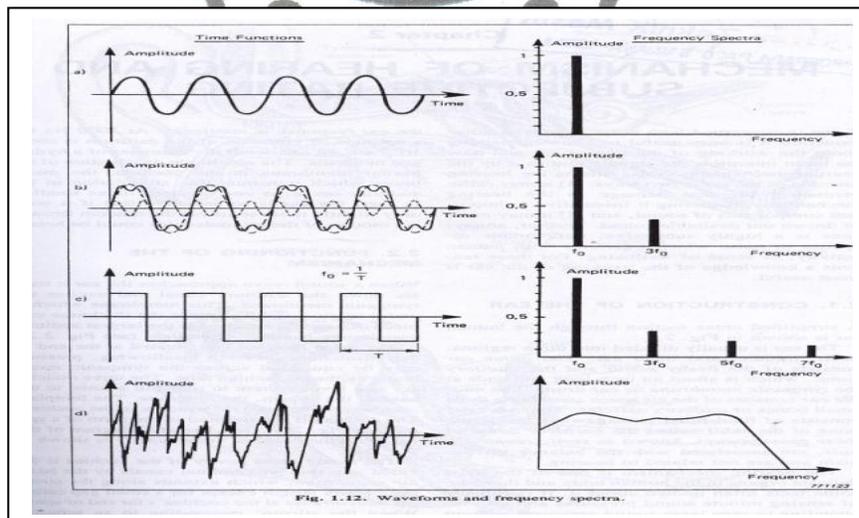
Gambar 4.19. Amplitudo

4.3. Pengujian Sistem

Bunyi merupakan gelombang atau dalam istilah tekniknya kita menyebutkan sinyal. Sinyal bunyi tersebut dapat kita lihat seperti Gambar (4.20). Sinyal bunyi merupakan gelombang sinusoidal. Kemudian jika sinyal bunyi itu didiskritkan maka tampaklah sinyal tersebut seperti yang tertera pada Gambar (4.20) sebelah kanan dimana terlihat sinyal sudah berupa garis-garis dan ini yang dinamakan pengolahan sinyal bunyi yaitu dengan mendiskretkan sinyal tersebut.

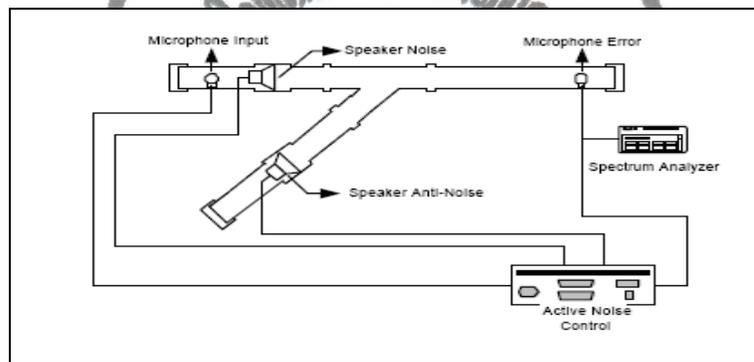
Tahapan *diskret* sinyal tersebut dapat dilihat pada Gambar (4.20) terlihat bahwa tahapan pertama adalah sinyal berbentuk sinusoidal yang kemudian beralih kepada sinyal berbentuk eksponensial dan dilanjutkan kepada sinyal *square* dan diakhiri dengan sinyal sinusoidal yang tereksponensial yang begitu berfluktuasi dengan amplitudo yang sangat acak.

Dari semua sinyal tersebut dapat dicuplik atau disamplingkan atau dalam istilah matematikanya pendiskretan sinyal. Pendiskretan ini bertujuan untuk mempermudah pemrosesan sinyal tersebut.



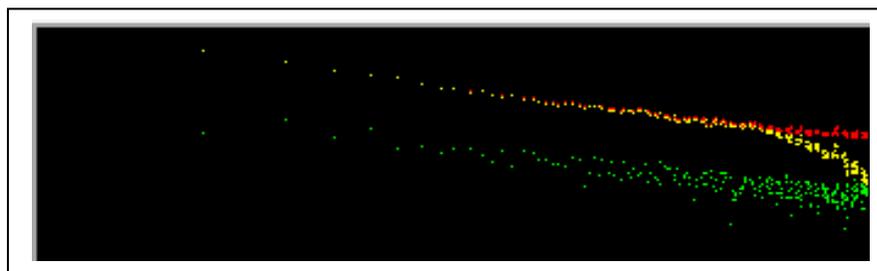
Gambar 4.20. Sinyal suara dan sinyal *diskret* atau dalam istilah pemrosesan sinyal di samplingkan.

Pengujian sistem ANC ini dilakukan dengan menggunakan sinyal *noise* berupa gelombang sinus yang diperoleh dari function generator. Konfigurasi uji yang dipakai adalah seperti Gambar (4.22). Pengujian ini dilakukan dengan frekuensi input berubah-ubah dan parameter-parameter dari filter digital. Hasil keluaran (*output*) dari sistem ini akan diamati pada FFT Spectrum Analyzer, yang dilengkapi dengan kemampuan untuk menyimpan data pada *diskette*. Data ini selanjutnya dapat diolah dan ditampilkan pada komputer dalam bentuk grafik. Dimana konfigurasi pengujian digambarkan berikut ini:



Gambar 4.21. Konfigurasi Pengujian Sistem.

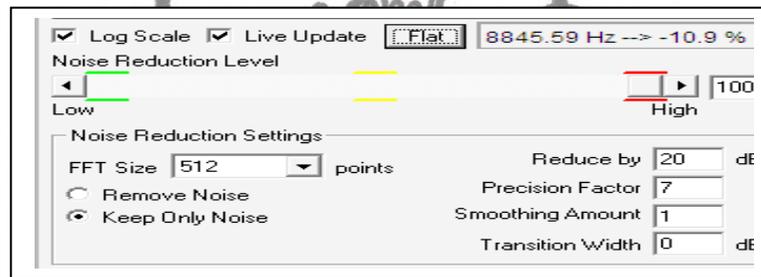
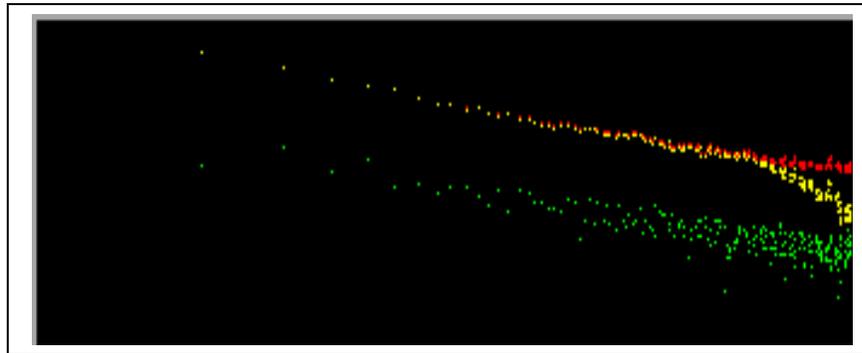
Hasil eksperimen menggunakan Algoritma LMS dengan metode Fast Fourier Transform (FFT) :



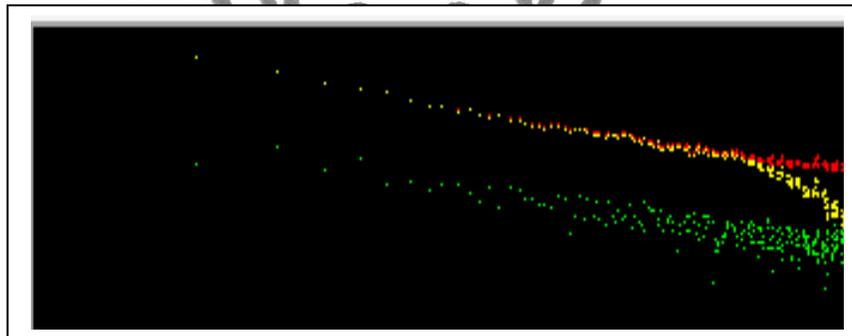
Keterangan:

<input checked="" type="checkbox"/> Log Scale	<input checked="" type="checkbox"/> Live Update	22050 Hz --> -97.6 %
Noise Reduction Level		
Low		High
Noise Reduction Settings		
FFT Size	512 points	Reduce by
<input type="radio"/> Remove Noise		Precision Factor
<input checked="" type="radio"/> Keep Only Noise		Smoothing Amount
		Transition Width

Gambar 4.22. hasil 1.



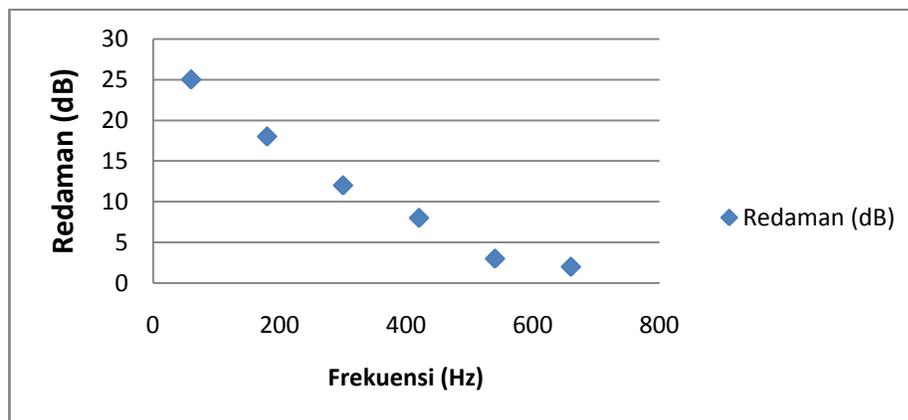
Gambar 4.23 hasil 2.



Gambar 4.24. hasil 3.

commit to user

Berikut ini adalah efisiensi peredaman sistem kendali bising aktif pada frekuensi rendah:



Gambar 4.25. Grafik efisiensi peredaman bising dengan media PVC

Penerapan peredaman noise secara aktif (Active Noise Control) ini efektif untuk frekuensi rendah untuk sinyal noise *logs sine sweep*. Dalam implementasi pada eksperimen ini, frekuensi yang optimal yang dapat diredam ialah sinyal dengan frekuensi-frekuensi: 60, 180, 300, 420, 540, 660 Hz. Dari nilai nilai tersebut, diperoleh nilai reduksi yang optimal sebesar 25 dB, pada frekwensi noise 60 Hz.

Eksperimen ini dilakukan di ruangan terbuka. Secara umum terjadi perambatan gelombang bunyi/bunyi pada setiap masing-masing percabangan saluran pipa PVC. Dan tentu saja dalam perambatan gelombang bunyi ini terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi, diantaranya:

1. Kondisi keadaan sekitar pipa PVC.

Dalam hal ini, berarti pipa PVC (sebagai media tertutup) di dalamnya terdapat perambatan gelombang datar (*plane waves*) dan *cross mode wave (higher order acoustic modepropagation)*. Perambatan gelombang datar diwujudkan dengan arah rambatan paralel atau searah dengan pipa (saluran PVC). Sehingga tekanan akustik yang terjadi pada penampang melintang dari pipa saluran bernilai nilai yang konstan di sepanjang pipa. Sedangkan pada perambatan di saluran kedua (percabangan dari saluran utama) terjadi perambatan gelombang yang

membentuk sudut akibat adanya percabangan pipa (tekanan akustik pada penampang melintang dari pipa tidaklah konstan, karena merupakan fungsi dari jarak pipa dan posisi sudut dari penampang melintang dari pipa).

2. Frekuensi gelombang akustik.

Dalam eksperimen ini digunakan rekaman bunyi bising *logs sine sweep* sepanjang enam detik dengan frekuensi sebesar 20 – 20.000 Hz. Bunyi bising ini sebagai sinyal bising. Penggunaan rekaman bising ini juga dimaksudkan untuk menciptakan penggambaran kondisi bising yang mendekati kondisi sesungguhnya.

Mikrofon sumber bising ditempatkan dengan jarak 10 cm dari speaker sumber bising dan mikropon *error* ditempatkan 100 cm dari speaker anti bising. Saat menempatkan *microphone* sekunder harus memperhatikan jarak yang tidak terlalu jauh dari sumber bising sehingga dapat meredam bising pada frekuensi yang cukup tinggi.

Setelah sumber bising disimulasikan ke dalam alat kemudian dilakukan olah data dengan *software Cool Edit Pro*. Pencacahan sample dari sumber bunyi dilakukan dari 400483 hingga 699349 atau dengan kata lain lebar sampelnya adalah mencapai 298867. Pengaturan *noise reduction* dengan batasan FFT 512 titik, sehingga terjadi peredaman bunyi sebesar 20 dB pada frekuensi sebesar : 22050 Hz, 2291 Hz, dan 8845.59 Hz (Gambar 4.22, 4.23 dan 4.24).

Untuk hasil peredaman bunyi yang terjadi dapat dilihat pada Gambar (4.25), tampak bahwa untuk sumber bising 20-20.000 Hz ini intensitas bising menurun seiring dengan meningkatnya nilai frekuensi bising.

Berdasarkan Grafik peredaman bising dari eksperimen ini menunjukkan bahwa redaman bising dapat dilakukan secara aktif dengan memanfaatkan *Digital Signal Processor* (DSP) dalam hal ini pemanfaatan mekanisme *soudcard device*.



BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

1. Prinsip kerja kendali bising aktif meliputi sistem elektro-akustik atau elektromekanik yang menghilangkan bising primer (yang tidak diinginkan) berdasarkan prinsip interferensi destruktif. Secara spesifik, sinyal anti bising (bising sekunder) dari sumber sekunder yang memiliki amplitudo yang sama dan fasa yang berlawanan dikombinasikan dengan bising primer, sehingga dapat dihasilkan sinyal residu minimum.
2. Penerapan peredaman noise secara aktif (Active Noise Control) ini efektif untuk frekuensi rendah untuk sinyal noise *logs sine sweep*. Dalam implelementasi pada tugas akhir ini, frekuensi yang optimal yang dapat diredam ialah sinyal dengan frekuensi-frekuensi: 60, 180, 300, 420, 540, 660 Hz. Dari nilai nilai tersebut, diperoleh nilai reduksi yang optimal sebesar 25 dB, pada frekwensi noise 60 Hz. Dengan demikian, hubungan antara frekuensi noise (frekuensi input) terhadap reduksi noise tidak linier. Hal ini disebabkan karena kemampuan ANC untuk meredam noise pada suatu range frekuensi bergantung pada parameter akustik yang ada (sifat-sifat perambatan gelombang suara) dan diameter dari pipa PVC yang digunakan.sebagai media simulasi.

3. Peredaman bising yang dapat dilakukan dengan sumber bising *logs sine sweep* sepanjang enam detik dengan frekuensi sebesar 20 – 20.000 Hz adalah sebesar 20 dB.

5.2. Saran

Dalam penelitian berikutnya terkait analisis redaman bising ini sebaiknya dilakukan tambahan variasi lain dalam pengambilan data. Variasi yang dapat ditambahkan misalnya memperbanyak variasi jarak antara *microphone error* dan *microphone reference*, kemudian memperbanyak variasi diameter pipa PVC, serta memperbanyak variasi panjang pipa PVC. Dalam hal ini mungkin akan memberikan efek yang lebih akurat pada hasil data yang diperoleh, sehingga dapat diketahui perbandingan (perbedaan ukuran yang dibuat pada bagian utama penelitian yaitu bagian pipa PVC sebagai media simulasi aliran gelombang bunyi bising).