



**DESAIN DAN ANALISIS SISTEM KENDALI BISING  
(*NOISE*) AKTIF DENGAN ALGORITMA *FILTERED-X*  
*LMS* MENGGUNAKAN SIMULASI MATLAB**

**Skripsi**

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Sarjana Pendidikan Program Studi Pendidikan Teknik Elektro**

**Oleh**

**Mazid Jamaluddin Kaffah**

**NIM.5301412047**

**PENDIDIKAN TEKNIK ELEKTRO**

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2019**



### PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Mazid Jamaluddin Kaffah

NIM : 5301412047

Program Studi : S – 1 Pendidikan Teknik Elektro

Judul Skripsi : DESAIN DAN ANALISIS SISTEM KENDALI BISING  
(NOISE) AKTIF DENGAN ALGORITMA *FILTERED-X LMS*  
MENGUNAKAN SIMULASI MATLAB

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian skripsi Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Elektro Jurusan Teknik Elektro FT. UNNES.

Semarang, Agustus 2019

Pembimbing 1,



Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T. IPM

NIP. 196605051998022001

## PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Desain Dan Analisis Sistem Kendali Bising (*Noise*) Aktif Dengan Algoritma *Filtered-X Lms* Menggunakan Simulasi Matlab telah dipertahankan di depan sidang Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada:

Hari : Senin  
Tanggal : 02 September 2019  
Nama : Mazid Jamaluddin Kaffah  
NIM : 5301412047  
Program Studi : Pendidikan Teknik Elektro,S1

### Panitia Ujian

Ketua



Drs. Agus Suryanto M.T.  
NIP. 196708181992031004

Sekretaris



Drs. Agus Suryanto M.T.  
NIP. 196708181992031004

Penguji 1



Dr.-ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T.  
NIP. 197805312005011002

Penguji 2



Dr. Ir. Subiyanto, S.T., M.T.  
NIP. 197411232005011001

Penguji 3 / Pembimbing Utama



Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T. IP!  
NIP. 196605051997022001

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik UNNES



D. Nur Qudus M.T  
9691301994031001

## PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi/TA ini, adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Negeri Semarang (UNNES) maupun di perguruan tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Semarang.

Yang membuat pernyataan,



Mazid Jamaluddin Kaffah  
5301412047

## **MOTTO DAN PERSEMBAHAN**

### **MOTTO:**

- ❖ “Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari sesuatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.” (QS. Al-Insyirah, 6-8)
- ❖ “Jangan Pernah Meninggalkan Ibadah di mana pun kamu berada”
- ❖ “Pendidikan merupakan senjata paling ampuh yang bisa kamu gunakan untuk merubah dunia” (Nelson Mandela)

### **PERSEMBAHAN:**

Skripsi ini peneliti persembahkan kepada,

1. Bapak (Yusuf Nur Syahid Alm.) dan ibu (Sholihah) tercinta yang senantiasa mendoakan dan memberikan motivasi utuk anak-anaknya.
2. Kakak-kakak kebanggan saya yang selalu memberikan semangat doa dan dukungan.
3. Pasangan saya Yuni Komariyah yang selalu memberikan semangat.
4. Kepada seluruh teman-teman PTE angkatan 2012 yang selalu menginspirasi dan memotivasi.
5. rekan keluarga besar green house dan kos batosai.
6. Semua pihak yang telah membantu atas terselesainya skripsi ini.

## ABSTRAK

**Mazid.**2019. Desain Dan Analisis Sistem Kendali Bising (*Noise*) Aktif Dengan Algoritma *Filtered-X Lms* Menggunakan Simulasi Matlab. Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas teknik, Universitas Negeri Semarang. Pembimbing: Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T. IPM

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui kemampuan kendali bising aktif menggunakan algoritma Filtered x least mean square pada sinyal sinusoidal dan sinyal random.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Metode penelitian ini dipilih karena relevan dengan tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menggambarkan hasil penelitian secara sistematis, grafik dan karakteristik sinyal pada proses filtering dengan adaptive filter. Hasil penelitian tersebut akan dideskripsikan sesuai hasil pada keluaran sistem yang digunakan di MATLAB.

Hasil penelitian ini berupa analisis power pada sinyal noise sebelum di filter dan sesudah di filter, perubahan karakteristik sinyal berupa data atau grafik pada perubahan frekuensi (Hz), power (dB), kecepatan respon filter, serta analisis nilai MSE ( Mean Square Error ) dan SNR (Signal to Noise). Hasil penelitian yang telah dilakukan adalah perbedaan efisiensi kendali bising aktif yang menggunakan algoritma Filtered X Least Mean Square antara pengolahan sinyal sinusoidal dan sinyal random terdapat perbedaan yang signifikan. Sistem kendali bising yang diberimaskan Sinyal sinusoidal 8000 Hz dapat diredam sampai 60 dB dan saat masukan berupa sinyal random sistem mereda hanya 10 dB.

*Kata kunci: kendali bising aktif, metode filtered x-lms, simulink matlab.*

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT dan mengharapkan ridho yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “desain dan analisis sistem kendali bising (*noise*) aktif dengan algoritma *filtered-x lms* menggunakan simulasi matlab”.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Pendidikan pada Program Studi S-1 Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang. Shalawat dan salam disampaikan kepada junjungan alam Nabi Muhammad SAW, mudah-mudahan kita semua mendapatkan safaat Nya di yaumul akhir nanti, Amin.

Penelitian ini diangkat sebagai upaya untuk meningkatkan hasil belajar penunjang mata kuliah Pengolahan sinyal digital dalam materi Filter digital secara teori pada mahasiswa Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Penyelesaian karya tulis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk menempuh studi di Universitas Negeri Semarang.
2. Dr. Nur Qudus, M.T, Dekan Fakultas Teknik, Dr.-Ing. Dhidik Prastiyanto, S.T., M.T., ketua Jurusan sekaligus ketua program studi Pendidikan Teknik Elektro



yang telah memberi bimbingan dan menerima kehadiran penulis setiap saat disertai kesabaran, ketelitian, masukan-masukan yang berharga untuk menyelesaikan karya ini.

3. Ir. Ulfah Mediaty Arief, M.T. IPM Pembimbing yang penuh perhatian dan atas perkenaan memberi bimbingan dan dapat dihubungi sewaktu-waktu disertai kemudahan dalam memberikan bahan dan menunjukkan sumber-sumber yang relevan sangat membantu penulisan karya ini
4. Semua dosen Teknik Elektro FT. Unnes yang telah memberi bekal pengetahuan yang berharga.
5. Mahasiswa Pendidikan Teknik Elektro yang mengambil mata kuliah pengolah sinyal digital ansemester gasal tahun ajaran 2019 atas kerjasama dan bantuannya selama penelitian.
6. Teman-teman Pendidikan Teknik Elektro angkatan 2012 yang telah memberikan masukan dan semangat dalam penyusunan skripsi.
7. Semua pihak yang telah memberi bantuan hingga terselesaikannya skripsi ini, baik material maupun spiritual yang tidak bisa peneliti sebutkan atu persatu.

Penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat untuk pelaksanaan pembelajaran di kampus dan dimasyarakat.

Semarang, Agustus 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

|  |             |
|--|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                                 | <b>i</b>    |
| <b>PERSETUJUAN PEMBIMBING .....</b>                        | <b>ii</b>   |
| <b>PENGESAHAN .....</b>                                    | <b>iii</b>  |
| <b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>                            | <b>iv</b>   |
| <b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....</b>                          | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRAK .....</b>                                       | <b>vi</b>   |
| <b>KATA PENGANTAR.....</b>                                 | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                                     | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR.....</b>                                  | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>                               | <b>xiii</b> |
| <b>BAB I.....</b>  | <b>1</b>    |
| <b>PENDAHULUAN.....</b>                                    | <b>1</b>    |
| 1.1.    LATAR BELAKANG .....                               | 1           |
| 1.2.    RUMUSAN MASALAH .....                              | 6           |
| 1.3.    TUJUAN PENELITIAN .....                            | 6           |
| 1.4.    MANFAAT PENELITIAN .....                           | 6           |
| 1.5.    BATASAN MASALAH.....                               | 7           |
| <b>BAB II .....</b>  | <b>8</b>    |
| <b>KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....</b>              | <b>8</b>    |
| 2.1.    PENGENALAN POLA BUNYI.....                         | 8           |
| 2.2.    SINYAL .....                                       | 10          |
| 2.3.    NOISE .....  | 11          |
| 2.4.    KONVERSI SINYAL ANALOG MENJADI SINYAL DIGITAL..... | 14          |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 2.5.   | REDUKSI <i>NOISE</i> .....                                      | 15        |
| 2.6.   | FILTER DIGITAL .....  | 16        |
| 2.7.   | FILTER FIR .....  | 17        |
| 2.8.   | FILTER WIENER .....   | 18        |
| 2.9.   | ALGORITMA LEAST MEAN SQUARE (LMS) .....                         | 19        |
| 2.10.  | ALGORITMA FILTERED-X LEAST MEAN SQUARE (FXLMS) .....            | 22        |
| 2.11.  | ADAPTIF FILTER .....  | 24        |
| 2.12.  | MATLAB .....  | 26        |
| <b>BAB III.....</b>                          |   | <b>29</b> |
| <b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>           |   | <b>29</b> |
| 3.1.   | METODE PENELITIAN .....   | 29        |
| 3.2.   | OBYEK PENELITIAN .....  | 29        |
| 3.3.   | LOKASI PENELITIAN .....   | 29        |
| 3.4.   | ALAT DAN BAHAN .....  | 29        |
| 3.5.   | PERANCANGAN SISTEM .....  | 30        |
| 3.6.   | TEKNIK ANALISI DATA .....                                       | 31        |
| <b>BAB IV .....</b>                          |   | <b>34</b> |
| <b>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b> |   | <b>34</b> |
| 4.1.   | SUMBER DERAU .....  | 34        |
| 4.2.   | PEMODELAN FILTER FIR .....                                      | 35        |
| 4.3.   | PERANCANGAN KENDALI DERAU AKTIF .....                           | 37        |
| 4.4.   | SISTEM ANC DENGAN MASUKAN SINYAL SINUSOIDAL .....               | 39        |
| 4.5.   | SISTEM UJI ANC DENGAN MASUKAN SINYAL SINUSOIDAL DAN RANDOM .... | 42        |
| 4.6.   | ANALISIS SNR DNAN MSE DARI HASIL UJI SISTEM .....               | 45        |
| <b>BAB V.....</b>                            |   | <b>48</b> |

|                                 |           |
|---------------------------------|-----------|
| <b>SIMPULAN DAN SARAN .....</b> | <b>48</b> |
| 5.1. SIMPULAN .....             | 48        |
| 5.2. SARAN .....                | 48        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>     | <b>49</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>            | <b>50</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| Gambar 2.1. Signal.....   | 10 |
| Gambar 2.2. Sinyal Suara Yang Telah Terganggu Oleh Derau.....       | 12 |
| Gambar 2.5. Active Noise Control.....                               | 15 |
| Gambar 2.6. Reduksi Noise .....                                     | 16 |
| Gambar 2.7. Blok Diagram Implementasi Algoritma Fxlms.....          | 23 |
| Gambar 2.8. Diagram Adaptive Filter.....                            | 25 |
| Gambar 2.9. Tampilan Antar Muka Matlab 2019a .....                  | 28 |
| Gambar 2.10. Tampilan Antar Muka Simulink Matlab 2019a .....        | 28 |
| Gambar 3.1. Diagram Alur Penelitian.....                            | 31 |
| Gambar 4.1. Sinyal Sinusoidal 8000 Hz .....                         | 34 |
| Gambar 4.2. Sinyal Sinusoidal Dan Random Gaussian.....              | 35 |
| Gambar 4.3. Analisis Welch Pada Sinyal Sinusoidal .....             | 35 |
| Gambar 4.4. Filter Fir Bandpass Orde 20 .....                       | 36 |
| Gambar 4.5. Analisis Welch Pada Sinyal Sinusoidal Dan Random .....  | 36 |
| Gambar 4.6. Kendali Derau Aktif Filtered-X Least Mean Square .....  | 37 |
| Gambar 4.7. Simulasi Anc Dengan Sinyal Sinusoidal.....              | 39 |
| Gambar 4.8. Simulasi Sinyal Uji Sinusoidal.....                     | 40 |
| Gambar 4.9. Error Sinyal Uji Sinusoidal .....                       | 40 |
| Gambar 4.10. Analisis Spektra Sinyal Uji Sinusoidal .....           | 41 |
| Gambar 4.11. Simulasi Anc Dengan Sinyal Sinusoidal Dan Random ..... | 42 |
| Gambar 4.12. Hasil Uji Sinyal Sinusoidal Dan Random.....            | 43 |
| Gambar 4.13. Error Uji Sinyal Sinusoidal Dan Random.....            | 43 |
| Gambar 4.14. Analisis Spektra Sinyal Uji Sinusoidal Dan Random..... | 44 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Lampiran 1.</b> Surat Usulan Topik .....                          | <b>51</b> |
| <b>Lampiran 2.</b> Usulan Pembimbing Skripsi .....                   | <b>52</b> |
| <b>Lampiran 3.</b> Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik UNNES ..... | <b>53</b> |
| <b>Lampiran 4.</b> Surat Izin Penelitian.....                        | <b>54</b> |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Kebisingan pada abad ini sudah menjadi problem cukup besar pada keseluruhan masyarakat maju. Dimana faktor kebisingan ini semakin meningkat hampir menyeluruh di berbagai sektor, diantaranya lingkungan dan tempat-tempat industri. Penyebab semua ini adalah kemajuan teknologi yang semakin meningkat sejak dimulainya revolusi industri pada abad 17 terciptanya mesin-mesin industri yang hampir rata-rata menimbulkan kebisingan (Alfisyahrin, 2008).

Saat ini banyak sistem statis untuk menepis suara gaduh atau bising. Konsep yang digunakan misalnya penggunaan suatu "anti sinyal" yang dapat dipakai untuk menghapus 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 (Ahmad, 2011).

Dalam beberapa situasi dalam sistem telekomunikasi, jumlah noise yang merusak sinyal lebih besar daripada jumlah sinyal yang diinginkan. Sinyal akustik dapat dirusak oleh noise atau terdistorsi oleh gelombang komunikasi, atau dilemahkan oleh percakapan yang lain, dan hasil yang diterima adalah sinyal diinginkan yang tercampur dengan noise. Hal ini bisa saja diselesaikan dengan filter lowpass, highpass atau bandpass untuk mendapatkan sinyal yang

diinginkan, tetapi metode ini jarang mendapatkan hasil optimum. Salah satu alternatif penyelesaian masalah sinyal terdistorsi oleh noise dapat diselesaikan dengan filter adaptif (Nardiana & Sumaryono, 2011).

Teknik active noise cancellation (ANC), yang menggunakan sinyal artificial untuk membatalkan kebisingan yang tidak diinginkan, ANC telah menerima banyak perhatian beberapa dekade terakhir karena kemajuan terbaru dalam elektronik dan mikrokomputer. Konvensional metode, yang disebut pasif noise control (PNC), memiliki kemampuan untuk menekan frekuensi yang kebisingan akustik lebih tinggi daripada suara frekuensi rendah, sebagaimana dibuktikan oleh beberapa peneliti dibanyak *paper*. Namun, industri akustik noise sering memiliki kekuatan utama pada frekuensi yang lebih rendah, dimana panjang gelombang suara begitu lama sampai teknik pasif tidak lagi efektif karena itu membutuhkan bahan yang terlalu besar dan berat, seperti peredam dalam mobil (Chang & Shyu, 2003).

Kebisingan pada earphone berbeda-beda, baik karena sumber kebisingan telah berubah, atau karena transfer akustik handset telah berubah. Sistem ANC harus mampu beradaptasi dengan perubahan ini, akibatnya memodifikasi sinyal anti-noise yang dihasilkan. Akhir-akhir ini ANC menggunakan perbedaan antara sinyal yang dihasilkan dan diinginkan (*noise cancelling*) dengan memodifikasi fungsi tersendiri dan mentransfer ke beberapa algoritma yang sesuai, Kemudian mempelajari kesalahannya. Filter sistem ANC adaptif biasanya dilakukan dengan filter FIR (Finite Impulse Response) karena lebih mudah untuk dioperasikan dan tanpa syarat stabil, berbeda dengan filter



IIR (terbatas Impulse Response). IIR memerlukan modifikasi fungsi transfer kemudian dilakukan secara otomatis memodifikasi koefisien filter. filter FIR memerlukan lebih banyak jumlah koefisien daripada IIR, tetapi dengan munculnya DSP (Digital Signal Prosesor), kapasitas pengolahan besar, dan adaptasi dari koefisien sebagai input sinyal proses ANC dapat dilakukan secara real time (Gonzalez, Rossi, Molina, & Parlanti, 2011).

Dalam sistem komunikasi, operasi transformasional umumnya berbeda dilakukan pada sinyal selama transmisi informasi. Dalam pemrosesan sinyal, sinyal yang berisi informasi yang berguna dilewatkan melalui sistem (misal filter, modulator, penguat dll) untuk memproses sinyal. Dalam membatalkan kebisingan, pemrosesan sinyal berkaitan dengan menyaring suara dari sinyal noise untuk memulihkan sinyal informasi. Statistik dari kebisingan yang merusak sinyal tidak diketahui dalam banyak situasi dan perubahan waktu. Selain itu, kekuatan noise mungkin lebih besar daripada kekuatan sinyal yang diinginkan atau sedang dikirim. Dalam keadaan ini, filter digital adaptif konvensional mungkin tidak menunjukkan performa yang memuaskan dan membatalkan kebisingan harus menjadi proses adaptif yaitu peredam kebisingan harus mampu menyesuaikan diri dengan perubahan lingkungan. ANC menekan kebisingan latar belakang dari sinyal yang berguna yang dikendalikan secara adaptif untuk mendapatkan peningkatan SNR (Signal to Noise Ratio) pada akhir penerimaan. (Afroz, Huq, Ahmed, & Sandrasegaran, 2015).

Filter digital adalah jenis sistem digital yang menyaring sinyal diskrit dan bertujuan menangani penyaringan domain frekuensi dengan mengolah data

sampel. Hal ini dapat dibagi menjadi dua kategori sesuai dengan fitur domain waktu dari fungsi respon impulse satuan: Infinite Impulse Response (IIR) dan Finite Impuls response (FIR) .Dibandingkan dengan filter IIR, FIR memiliki akses ke karakteristik fase linier yang ketat sekaligus memenuhi respon frekuensi amplitudo. Oleh karena itu, banyak digunakan dalam pemrosesan sinyal akurasi tinggi, seperti audio digital, pengolahan gambar, transmisi data, biomedis dan bidang lainnya. SIMULINK adalah paket perangkat lunak di MATLAB yang khusus digunakan untuk pemodelan sistem dinamis, simulasi dan analisis. Kita bisa melihat hasil simulasi langsung secara virtual diwujudkan dengan menggunakan Signal Processing Box built-in MATLAB yang memungkinkan MATLAB untuk menggunakan teknologi grafik (Sun, Yu, & He, 2012).

Sistem kontrol bising aktif membatalkan kebisingan yang tidak diinginkan dengan menghasilkan suara sekunder, amplitudo yang sama dan fase berlawanan dari kebisingan utama untuk pembatalan kebisingan berdasarkan pada prinsip superposisi. sistem anc sangat efektif untuk mengurangi suara frekuensi rendah dimana metode pasif yang mahal dan tidak efektif. kebanyakan sistem anc praktis menggunakan filter adaptif untuk secara otomatis melacak variasi sifat di kebisingan yang tidak diketahui karakteristiknya. Filter adaptive yang paling umum digunakan adalah finite impulse response (FIR) dengan algoritma filtered-X least-mean-square (FXLMS). FXLMS tersedia secara komersial, algoritma digital signal proccesor yang sederhana dan real-time

eksperimen algorithms anc, sehingga memajukan pengembangan dan penerapan sistem anc (Kuo, Kuo, & Gan, 2010).

Berangkat dari uraian diatas, Pada zaman ini teknologi Noise Canceller sangat dibutuhkan karena sumber bising yang semakin banyak mulai dari Knalpot Motor sampai Mesin Pabrik, bahkan derau yang destruktif dapat berbahaya bagi kesehatan pendengarnya, mengingat derau ini pasti terdengar oleh telinga manusia jika telinga tidak dilindungi. Terutama derau yang memiliki frekuensi rendah, metode *earmuff* pada headphone belum mampu meredam derau dengan baik. Sehingga sistem *active noise cancelling* (ANC), dimana mampu melemahkan derau yang memiliki frekuensi rendah, menjadi salah satu teknik yang sering digunakan untuk melindungi pendengaran dari bahaya derau.

Perubahan Algoritma ANC terhitung sangat pesat karena banyak penelitian mengenai topik ini, mulai dari algoritma dasar LMS dan MSE. Tetapi nyatanya setiap algoritma masih punya kelebihan dan kekurangan masing-masing, sehingga masih banyak yang perlu dipelajari tentang karakteristik algoritma Peredam Noise.

Dengan Demikian Penulis ingin mengkaji tentang dasar dan perkembangan Algoritma ANC khususnya algoritma FXLMS yang digunakan untuk mem-filter sinyal sinusoidal dan sinyal random.

Selain itu penelitian ini bertujuan untuk memperdalam ilmu tentang aktive noise canceller dengan simulasi menggunakan MATLAB sehingga dari hasil kajian tersebut dapat dimanfaatkan untuk penelitian lebih lanjut dari ANC

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan dalam latar belakang ada beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan dalam penelitian ini:

1. Apakah metode kendali bising aktif menggunakan algoritma *Filtered-X Least Mean Square* dapat meredam sumber derau berupa sinyal sinusoidal dan sinyal random?

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Penelitian ini antara lain:

1. Mengetahui prinsip kerja Active Noise Control.
2. Mengetahui kemampuan sistem kendali aktif menggunakan algoritma FXLMS

## 1.4. Manfaat Penelitian

Skripsi ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang karakteristik performansi sistem kendali bising aktif, sehingga dapat mengurangi polusi bising.

Penelitian ini merupakan simulasi yang memanfaatkan program komputer, sehingga diharapkan dapat memberikan informasi mengenai proses dan hasil analisis sistem kendali bising pada industri menggunakan algoritma *filtered-x least mean square*.

### **1.5. Batasan Masalah**

Sesuai dengan tujuan penelitian ini, pembahasan dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Simulasi Kendali bising aktif menggunakan algoritma Filtered-X LMS.
2. Frekuensi sampling yang digunakan yaitu 32000 Hz
3. Simulasi diimplementasikan menggunakan software Matlab dan Simulink.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1. Pengenalan Pola Bunyi

Pengenalan pola dapat diartikan sebagai proses klasifikasi dari objek atau pola menjadi beberapa kategori atau kelas. Dan bertujuan untuk pengambilan keputusan (Alfisyahrin, 2008).

*Voice/Speech recognition* atau biasa kita kenal dengan pengenalan pola suara adalah suatu pengembangan teknik dan sistem yang memungkinkan komputer untuk menerima masukan berupa kata atau yang diucapkan. Teknologi ini memungkinkan suatu perangkat untuk mengenali dan memahami kata-kata yang diucapkan dengan cara digitalisasi kata dan mencocokkan sinyal digital tersebut dengan suatu pola tertentu yang tersimpan dalam suatu perangkat. Kata-kata yang diucapkan diubah bentuknya menjadi sinyal digital dengan cara mengubah gelombang suara menjadi sekumpulan angka yang kemudian disesuaikan dengan kode-kode tertentu untuk mengidentifikasi kata-kata tersebut.

Hasil dari identifikasi kata yang diucapkan dapat ditampilkan dalam bentuk tulisan atau dapat dibaca oleh perangkat teknologi sebagai sebuah komando untuk melakukan suatu pekerjaan, misalnya penekanan tombol pada telepon genggam yang dilakukan secara otomatis dengan komando suara. Alat pengenalan ucapan, yang sering disebut dengan *speech recognizer*, membutuhkan sampel kata sebenarnya yang diucapkan dari pengguna. Sampel kata akan didigitalisasi, disimpan dalam komputer, dan kemudian digunakan sebagai basis

data dalam mencocokkan kata yang diucapkan selanjutnya. Sebagian besar alat pengenalan ucapan sifatnya masih tergantung kepada penguasara suara. Alat ini hanya dapat mengenal kata yang diucapkan dari satu atau dua orang saja dan hanya bisa mengenal kata-kata terpisah, yaitu kata-kata yang dalam penyampaiannya terdapat jeda antar kata. Hanya sebagian kecil dari peralatan yang menggunakan teknologi ini yang sifatnya tidak tergantung pada penguasara suara. Alat ini sudah dapat mengenal kata yang diucapkan oleh banyak orang dan juga dapat mengenal kata-kata kontinu, atau kata-kata yang dalam penyampaiannya tidak terdapat jeda antar kata.

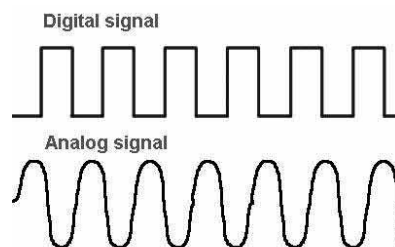
Pengenalan ucapan dalam perkembangan teknologinya merupakan bagian dari pengenalan suara (proses identifikasi seseorang berdasarkan suaranya). Pengenalan suara sendiri terbagi menjadi dua, yaitu pengenalan pengguna (identifikasi suara berdasarkan orang yang berbicara) dan pengenalan ucapan (identifikasi suara berdasarkan kata yang diucapkan) (Alfisyahrin, 2008).

Metode klasifikasi yang digunakan pada sistem pengenalan pola memiliki dua jenis pendekatan. Pendekatan statistik dan pendekatan struktural atau sintatik. Pengenalan pola statistik berdasarkan pada karakteristik statistikal dari pola-pola yang ada dengan asumsi bahwa pola-pola tersebut dihasilkan oleh sebuah sistem probabilistik. Pengenalan pola struktural berdasarkan pada hubungan struktural dari fitur setiap pola. Sebuah sistem pengenalan pola terdiri dari sensor yang mengumpulkan pola yang akan diproses dan mengukur variabel dari setiap pola, pre-processing yang menghilangkan *Noise* dalam data, mekanisme ekstraksi fitur untuk mendapatkan informasi numeric atau simbolik

dari pola-pola tersebut, model pembelajaran yang mempelajari pemetaan antara fitur dan kelompok pola, metode klasifikasi yang memisah – misahkan pola-pola tersebut ke dalam kategori berdasarkan fitur dan model pembelajaran, dan post-processing yang mengevaluasi benar atau tidaknya hasil yang didapat. Pengenalan pola merupakan bidang dalam pembelajaran mesin dan dapat diartikan sebagai tindakan mengambil data mentah dan bertindak berdasarkan klasifikasi data. Dengan demikian, hal tersebut merupakan himpunan kaidah bagi pembelajaran yang diawasi (*supervised learning*).

## 2.2. Sinyal

Sebuah sinyal adalah variasi dari variable seperti gelombang tekanan udara dari suara, warna dari gambar, kedalaman sebuah permukaan, temperature dari tubuh, tegangan atau arus dari konduktor atau sitem biologis, cahaya, sinyal elektromagnetik radio, atau volume dan berat dari suatu objek. Sebuah sinyal membawa informasi mengenai satu atau lebih atribut mengenai status, komposisi, dan arah pergerakan (Ahmad, 2011). Dapat dikatakan, sebuah sinyal adalah sebuah media untuk membawa informasi mengenai keadaan masa lalu, masa sekarang, dan masa yang akan datang dari suatu variable



**Gambar 2.1.** Sinyal

Pada umumnya variabel independen untuk sinyal satu dimensi adalah waktu. Jika variable independennya kontinu, maka sinyal tersebut disebut



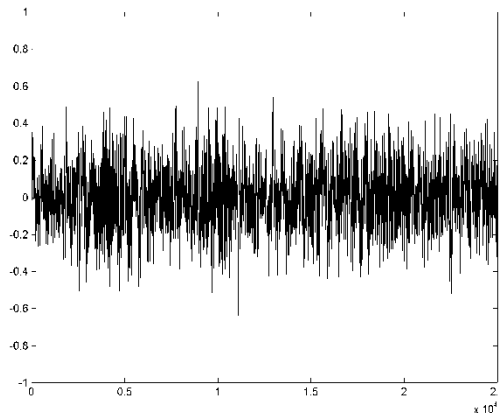
sebagai sinyal waktu kontinu ( *continuous-time signal* ). Jika variable independennya diskrit, maka sinyal tersebut disebut sebagai sinyal waktu diskrit ( *discrete-time signal* ) (Smith, 1999). Sinyal waktu kontinu didefinisikan setiap suatu waktu (  $t$  ) dalam sebuah interval yang biasanya tidak terbatas, sedangkan sinyal waktu diskrit didefinisikan pada waktu diskrit, dan biasanya berupa urutan angka. Sinyal waktu kontinu dengan amplitude kontinu biasanya disebut sebagai sinyal analog seperti sinnyal suara sebagai contohnya. Sinyal waktu diskrit dengan amplitude bernilai diskrit yang direpresentasikan oleh digit angka yang terbebas (*finite*) biasanya disebut sebagai sinyal digital.

### 2.3. Noise

*Noise* (kebisingan), dalam pengertian umum, adalah suatu gangguan yang "didengar" orang, tetapi dalam telekomunikasi kata *Noise* juga dipakai sebagai suatu istilah untuk gangguan listrik yang menimbulkan kebisingan yang dapat didengar dalam suatu sistem (Smith, 1999). *Noise* dapat timbul dengan berbagai cara. Satu contoh jelas adalah waktu adanya sambungan yang salah dalam suatu alat yang jika itu adalah pesawat penerima radio, menghasilkan tipe kebisingan yang terputus-putus atau trackling (gemercak) pada keluarannya. *Noise* juga terjadi apabila hubungan listrik yang pembawa arus dibuat nyala mati, misalnya pada brusher tipe motor tertentu. Sumber kebisingan semacam itu pada pokoknya dapat dihilangkan.

Gejala alam yang menimbulkan kebisingan itu termasuk badai listrik, kobaran matahari (solar flares), dan sabuk radiasi tertentu yang ada di ruang angkasa. Kebisingan yang timbul dari sumber tersebut mungkin lebih sulit

dilemahkan, dan seringkali yang merupakan satu-satunya solusi ialah merubah posisi antenna penerimanya untuk memperkecil kebisingan yang diterima, sambil menjamin bahwa penerimaan sinyal yang diinginkan itu tidak rusak berat.



**Gambar 2.2.** Sinyal Suara Yang Telah Terganggu Oleh Derau

Kebisingan itu, yang terutama dimasalahkan didalam sistem penerimaan, dimana menurunkan batas guna ukuran sinyal yang dapat diterima. Walaupun kehati-hatian dilakukan untuk menghilangkan kebisingan dari sambungan yang buruk atau yang timbul dari sumber luar, terbukti bahwa sumber kebisingan fundamental tertentu hadir didalam perlengkapan elektronik yang membatasi kepekaan penerima. Penambahan amplifier pada sistem penerima juga menambah kebisingan dan rasio sinyal terhadap kebisingan (*signal-to-Noise ratio*), yang merupakan kuantitas penting, bisa mengalami penurunan dengan penambahan amplifier. Jadi, studi sumber kebisingan fundamental dalam peralatan penting jika kita ingin memperkecil efek kebisingan itu.

Tabel 2.1 menjelaskan hubungan antara intensitas suara dan kenyaringan suara. Secara umum intensitas suara diekspresikan melalui skala

logaritma, atau biasa disebut dengan decibel SPL (*Sound Power Level*). Pada skala ini, 0 dB SPL adalah daya gelombang suara sebesar  $10^{-16}$  watts/cm<sup>2</sup>, intensitas suara terkecil yang dapat didengae oleh telinga manusia. Percakapan manusia adalah berkisar 60 dB SPL, sedangkan intensias suara menyakiti telinga manusia adalah 140 dB SPL. Pendengar dapat merasakan perubahan dari kenyaringan suara jika kenyaringan suara bertambah atau berkurang sebesar 1dB. Dengan kata lain ada 120 tingkat kenyaringan suara yang dapat diterima oleh manusia (Smith, 1999).

**Table 2.1** Satuan dari Intensitas Suara (Smith, 1999)

| Watts/cm <sup>2</sup> | Decibles<br>SPL | Keterangan                               |
|-----------------------|-----------------|--|
| $10^{-2}$             | 140             | Menyakitkan                              |
| $10^{-3}$             | 130             |  |
| $10^{-4}$             | 120             | Tidak nyaman                             |
| $10^{-5}$             | 110             | Konser                                   |
| $10^{-6}$             | 100             |  |
| $10^{-7}$             | 90              | Derau dari industri                      |
| $10^{-8}$             | 80              |  |
| $10^{-9}$             | 70              |  |
| $10^{-10}$            | 60              | Percakapan normal                        |
| $10^{-11}$            | 50              |  |
| $10^{-12}$            | 40              | Dapat didengar sekurang-kurangnya 100 Hz |
| $10^{-13}$            | 30              |  |
| $10^{-14}$            | 20              | Dapat didengar sekurang-kurangnya 10 kHz |
| $10^{-15}$            | 10              |  |
| $10^{-16}$            | 0               | Dapat didengar sekurang-kurangnya 3 kHz  |
| $10^{17}$             | -10             |  |
| $10^{18}$             | -20             |  |

#### 2.4. Konversi Sinyal Analog Menjadi Sinyal Digital

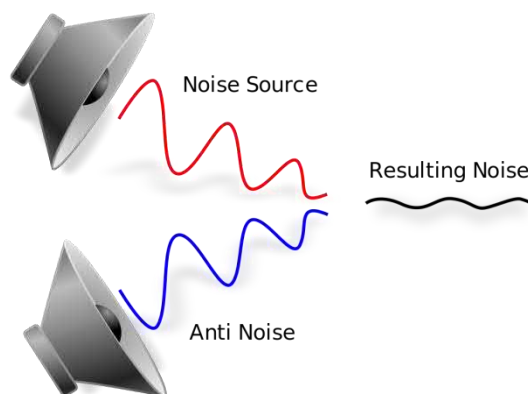
Sinyal – sinyal yang natural pada umumnya seperti sinyal suara merupakan sinyal continue dimana memiliki nilai yang tidak terbatas. Sedangkan pada computer, semua sinyal yang dapat diproses oleh computer hanyalah sinyal discrete atau sering dikenal sebagai istilah sinyal digital. Agar sinyal natural dapat diproses oleh computer, maka harus dirubah dahulu dari data sinyal continue menjadi sinyal discrete. Hal itu dapat dilakukan melalui 3 proses, diantaranya adalah proses sampling data, proses kuantisasi, dan proses pengkodean (G.Lyons, 2010).

Proses sampling adalah suatu proses untuk mengambil data signal continue untuk setiap periode tertentu. Dalam melakukan proses sampling data berlaku aturan *nyquist*, yaitu bahwa frekuensi sampling minimal harus 2 kali lebih tinggi dari frekuensi maksimum yang akan disampling. Jika signal sampling kurang dari 2 kali frekuensi maksimum signal yang akan disampling, maka akan imbul efek aliasing. Aliasing adalah suatu efek dimana sinyal yang dihasilkan memiliki frekuensi yang berbeda dengan sinyal aslinya.

Proses kuantisasi adalah proses untuk membulatkan nilai data kedalam bilangan-bilangan tertentu yang telah ditentukan terlebih dahulu. Semakin banyak level yang dipakai maka semakin akurat pula data sinyal yang disimpan, tetapi akan menghasilkan ukuran data besar dan proses yang lama. Proses pengkodean adalah proses pemberian kode untuk tiap-tiap data sinyal yang telah terkuantisasi berdasarkan level yang ditempati (G.Lyons, 2010).

## 2.5. Reduksi *Noise*

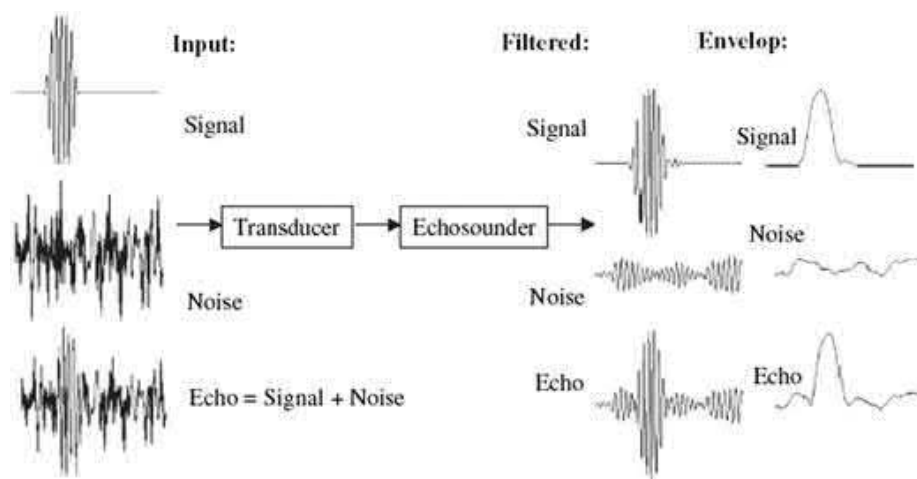
Pada pengenalan suara, diperlukan kondisi lingkungan sekitar yang bersih dan bebas dari segala macam sinyal pengganggu yang tidak diinginkan seperti derau. Untuk itu diperlukan suatu perangkat atau alat tambahan yang dinamakan *Filter*. Salah satu *Filter* yang dapat digunakan untuk menekan derau dari sinyal suara adalah *Filter* adaptif. *Filter* adaptif merupakan *Filter* digital yang menggunakan umpan balik untuk menentukan nilai dari koefisien *Filter* terbaik yang dipakai untuk memperoleh sinyal yang diinginkan. *Filter* adaptif dapat ditambahkan pada system pengenalan suara untuk menekan derau yang menyertai suara masukan yang akan dikenali.



**Gambar 2.5.** Active Noise Control

Kebisingan merupakan salah satu bentuk derau yang sering mengganggu proses komunikasi, sehingga harus ditekan. Pada proses pengolahan suara, lingkungan sekitar yang benar-benar bersih (clean) dan bebas dari segala bentuk derau adalah salah satu yang sangat dibutuhkan untuk

memperoleh sinyal yang benar-benar sesuai dengan sinyal aslinya. Salah satu bentuk dari pengolahan sinyal suara yang sangat rentan dengan derau adalah pengenalan ucapan (speech recognition) karena derau dapat mempengaruhi keakuratan dalam proses pengenalannya. Pada proses pengenalan ucapan, *Filter* adaptif merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menekan derau yang berasal dari lingkungan sekitar (John G. Proakis, 2006).



**Gambar 2.6.** Reduksi Noise

## 2.6. Filter Digital

Filter sendiri memiliki dua peranan penting dalam pemrosesan sinyal, yakni pemisahan sinyal dan pemulihan sinyal. Pemisahan sinyal digunakan ketika sinyal informasi terkontaminasi oleh interferensi, derau, atau sinyal yang lain. Sedangkan pemulihan sinyal digunakan ketika sinyal terdistorsi dengan cara yang sama.

Filter digital sangat penting peranannya dalam pemrosesan sinyal digital. Salah satu alasan kenapa filter digital populer dikarenakan performa dari filter digital yang luar biasa baik. Filter digital mampu melakukan operasi matematik

pada sinyal yang telah dicuplik (discrete time). Filter digital biasanya terdiri dari analog to digital converter (ADC) untuk mencuplik sinyal masukan, diteruskan oleh mikroprosesor dan beberapa komponen lainnya seperti penyimpanan data dan koefisien filter hingga yang terakhir digital to analog converter (DAC).

Setiap filter linier memiliki respon impuls, respon step, dan respon frekuensi. Setiap respon mengandung informasi lengkap dari filter, namun dalam bentuk yang berbeda. Jika salah satu respon telah diketahui spesifikasinya maka respon yang lain dapat dicari dan dihitung. Ketiga respon ini penting dalam representasi filter, mengingat respon dapat menjelaskan bagaimana filter beroperasi pada beberapa keadaan yang berbeda.

Filter dapat diimplementasikan melalui dua cara yakni secara langsung dan secara rekursif. Implementasi filter secara langsung dapat dilakukan dengan mengkonvolusi sinyal masukan dengan respon impuls dari filter digital. Hampir semua filter digital dapat diimplementasikan melalui cara ini. Filter rekursif biasa disebut dengan Infinite Impulse Response (IIR) sedangkan filter yang diimplementasikan melalui proses konvolusi biasa disebut dengan Finite Impulse Response (FIR) (R., 2012)

## 2.7. Filter FIR

Finite Impuse Response (FIR) filter, seperti yang disebutkan oleh namanya, memiliki respon impuls yang terhingga. Karakteristik filter dituliskan melalui Persamaan (2.1) dan Persamaan (2.2).

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \quad (2.1)$$

$$H(z) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)z^{-k} \quad (2.2)$$

Di mana  $h(k)$ ,  $k = 0, 1, \dots, N-1$ , adalah koefisien respon impuls dari filter,  $H(z)$  adalah fungsi alih dari filter dan  $N$  adalah jumlah koefisien dari filter, biasa disebut dengan panjang filter (length). Persamaan (2.1) adalah persamaan beda filter FIR. Persamaan tersebut menjelaskan filter pada bentuk nonrekursifnya, yakni keluaran  $y(n)$ , di mana tidak terpengaruh oleh nilai sebelumnya dari keluaran  $y(n)$ .

ketika diimplementasikan pada bentuk nonrekursifnya, filter akan selalu stabil. Persamaan (2.2) adalah fungsi alih dari filter. Persamaan memungkinkan analisis dari filter dapat dilakukan..

## 2.8. Filter Wiener

Filter wiener adalah filter untuk estimasi statistik dari sinyal yang tidak diketahui. Untuk sistem waktu diskrit, keluaran  $y(n)$  dapat diekspresikan melalui Persamaan (2.3).

$$y(n) = \sum_{k=0}^{L-1} w(n)x(n-k) \quad (2.3)$$

Atau dapat diekspresikan melalui persamaan (2.4)

$$y(n) = \bar{w}(n)^T \bar{x}(n) \quad (2.4)$$

Pada Persamaan (2.3),  $x(n-k)$  adalah sinyal masukan dan  $w$  adalah koefisien filter, sedangkan pada Persamaan (2.4),  $\bar{w}(n)$  dan  $\bar{x}(n)$  adalah vektor



kolom dari  $x(n)$  dan  $w(n)$ . pada Persamaan (2.5),  $e(n)$  merepresentasikan perbedaan antara respon  $d(n)$  dan sinyal keluaran  $y(n)$ .

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

Fungsi biaya dapat didefinisikan melalui nilai ekspektasi dari kuadrat dari sinyal error  $e(n)$  yang diekspresikan melalui Persamaan (2.6).

$$J = E[e(n)e(n)] = E[e(n)^2] \quad (2.6)$$

Untuk mencari koefisien filter optimum yang meminimalkan fungsi biaya, gradien dari fungsi biaya diekspresikan melalui Persamaan (2.7) dengan memperhatikan koefisiennya dan disamakan dengan nol.

$$\nabla J = -2[\bar{x}(n)e(n)] \quad (2.7)$$

$$E[\bar{x}(n)e_*(n)] = 0 \quad (2.8)$$

Di mana  $e_*$  adalah notasi dari error minimum. Substitusi Persamaan (2.3) dan Persamaan (2.4) dengan Persamaan (2.8) menghasilkan Persamaan (2.10).

$$\bar{w}(n)_*^T E\{\bar{x}(n)^T \bar{x}(n)\} = E\{\bar{x}(n)d(n)\} \quad (2.9)$$

Di mana  $w$ , menotasikan vektor bobot optimum. Persamaan (2.9) dapat ditulis ulang melalui Persamaan (2.10).

$$R\bar{w}(n) = \bar{p} \quad (2.10)$$

Di mana  $R$  adalah matriks otokorelasi dari sinyal masukan dan  $\bar{p}$  adalah vektor korelasi silang dari sinyal masukan dan respon yang diinginkan. Persamaan (2.12) dikenal dengan persamaan Wiener-Hopf.  $\bar{w}(n)_*$  adalah vektor dari filter koefisien optimum yang meminimalkan nilai ekspektasi dari kuadrat dari sinyal error atau mean squared error (MSE).

## 2.9. Algoritma Least Mean Square (LMS)

Algoritma LMS merupakan algoritma yang sangat populer dan sangat sederhana serta dapat digunakan untuk beberapa aplikasi pemrosesan sinyal, antara lain masalah penghapusan derau, gema, dan interferensi (John G. Proakis, 2006). Penelitian ini menggunakan metode algoritma LMS (*Least Mean Square*) untuk *Filter Finite Impulse Response* (FIR). Algoritma LMS seringkali digunakan untuk beberapa aplikasi yang berbeda pada pemrosesan sinyal adaptif.

Ada beberapa alasan yang mendasari hal tersebut, antara lain: komputasi yang mudah dan sederhana, tidak ada pengulangan data, dan tanpa peramalan gradien. Algoritma Least Mean Square (LMS) ini termasuk algoritma yang menggunakan operator gradien  $\Delta$  dalam proses adaptasinya. Proses adaptasi dari tap-weight (bobot koefisien filter) ini berlangsung secara rekursif, dimulai dengan suatu nilai awal (initial value). Oleh karena itu hasil yang diperoleh akan semakin baik bila jumlah iterasinya semakin besar.

Hasil akhir yang diharapkan dari proses iterasi ini ialah suatu nilai yang konvergen terhadap solusi dari metode filter Wiener. Proses rekursi yang biasa digunakan ialah steepest descent yang bentuknya adalah :

$$w(n+1) = w(n) + \frac{1}{2} m[-\Delta(J(n))] \quad (2.11)$$

Untuk dapat mengembangkan perkiraan vector gradien  $\Delta(J(n))$ , strategi yang paling tepat ialah dengan mensubstitusikan matriks korelasi  $R$  dan vektor korelasi silang pada persamaan :

$$\Delta(J(n)) = -2p + 2Rw(n) \quad (2.12)$$

Pilihan estimator yang paling sederhana untuk  $R$  dan  $p$  adalah dengan menggunakan perkiraan, berdasarkan pada besaran sampel vektor tap input  $\{u(n)\}$  dan respon yang diinginkan  $\{d(n)\}$ , seperti yang ditentukan oleh :

$$R(n) = d(n)x(n); p(n) = x(n)x^T(n)w(n) \quad (2.13)$$

Parameter  $H$  tersebut menyatakan nilai matriks Hermitian (kompleks - conjugate). Untuk nilai vektor gradien, diperoleh dengan mensubstitusikan persamaan diatas:

$$\Delta(J(n)) = -2(x(n)x^T(n)w(n)) + 2(d(n)x(n))w(n) \quad (2.14)$$

Setelah memperoleh nilai dari masing-masing parameter, maka dapat ditentukan suatu nilai update dari tap-weight (bobot dari koefisien filter) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$w(n + 1) = w(n) + \mu(p(n) - R(n)w(n)) \quad (2.15)$$

Dari keseluruhan rumus yang diturunkan, maka untuk algoritma LMS dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Output filter :  $y(n) = w(n) x(n)$
- b. Error estimasi:  $e(n) = d(n) - y(n)$
- c. Adaptasi tap - weight :  $w(n+1) = w(n) + \mu d(n)e(n)$

Algoritma LMS ini tidak memerlukan proses perhitungan yang rumit karena tidak membutuhkan perhitungan fungsi korelasi maupun perhitungan invers matriks (Nardiana & Sumaryono, 2011). Sifat-sifat perhitungan yang

sederhana ini akan dapat dengan mudah diterapkan dalam bentuk program komputer. Karena kemudahannya inilah algoritma sering digunakan dalam perhitungan filter adaptif.

### 2.10. Algoritma Filtered-X Least Mean Square (FXLMS)

Terdapat beberapa macam struktur dan algoritma yang telah dikembangkan untuk sistem kendali bising aktif, diantaranya struktur FIR dengan algoritma FxLMS. Algoritma FxLMS didasarkan pada pendekatan *steepest descent* [1,4,6], dimana penyesuaian koefisien filter dilakukan dengan arah gradien negatif dari permukaan galat pada setiap iterasi. Gambar 2.3. memperlihatkan blok diagram implementasi algoritma FxMS pada sistem kendali bising aktif. Dalam gambar ini  $x(n)$ ,  $d(n)$ ,  $u(n)$ , dan  $e(n)$  berturut-turut menyatakan sinyal referensi (dari sumber bising), sinyal gangguan (sinyal bising yang telah melewati jalur primer), sinyal kendali (dihasilkan dari aktuator/*speaker*) dan sinyal galat (diperoleh dari sensor galat/mikrofon).

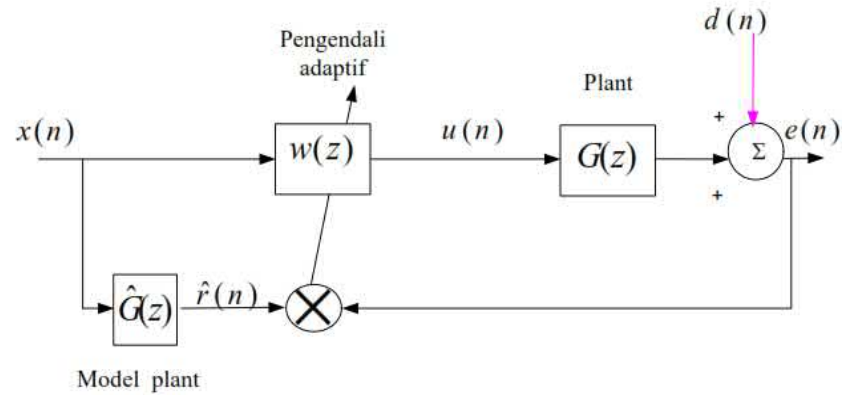
Berdasarkan Gambar 2.3. sinyal keluaran pengendali dapat dirumuskan sebagai

$$u(n) = \sum_{i=0}^{I-1} w_i(n)x(n-i) \quad (2.16)$$

$$u(n) = w^T(n)x(n) \quad (2.17)$$

Sinyal galat dapat ditulis sebagai

$$e(n) = d(n) + \sum_{j=0}^{J-1} g_j u(n-j) \quad (2.18)$$



**Gambar 2.7.** Blok diagram implementasi algoritma FxLMS

Sinyal galat dapat juga ditulis dalam bentuk

$$e(n) = d(n) + \sum_{i=0}^{I-1} \sum_{j=0}^{J-1} g_j w_i x(n-i-j) \quad (2.19)$$

Sedangkan sinyal referensi yang terfilter berbentuk

$$\hat{r}(n) = \sum_{j=0}^{J-1} \hat{g}_j x(n-j) \quad (2.19)$$

dimana

$$w = [w_0 \ w_1 \ \dots \ w_{I-1}]^T \quad (2.20)$$

Merupakan vektor koefisien pengendali dan

$$r(n) = [r(n) \ r(n-1) \ \dots \ r(n-I+1)]^T \quad (2.21)$$

Merupakan sinyal referensi yang terfilter. Vektor  $w$  berubah terhadap waktu sehingga nilainya tergantung pada waktu  $n$ . Sinyal referensi dalam bentuk vektor dapat juga ditulis sebagai

$$x(n) = [x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-I+1)]^T \quad (2.22)$$

Dengan mengambil bentuk algoritma LMS, algoritma adaptasi dapat ditulis sebagai

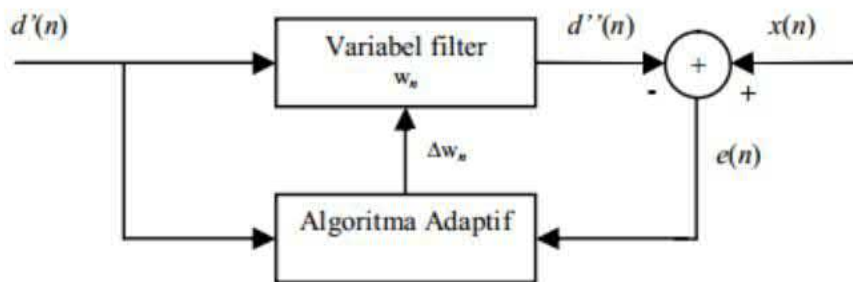
$$w(n+1) = w(n) - \alpha \hat{r}(n)e(n) \quad (2.23)$$

Dimana  $\alpha$  merupakan koefisien konvergensi,  $I$  dan  $J$  berturut-turut menyatakan orde pengendali adaptif dalam bentuk filter FIR dan orde model plant (Husnaini & Anil, 2009).

### 2.11. Adaptif filter

Semua *Filter Adaptive* memakai *Filter Wiener* sebagai realisasi *Filter* optimum yaitu dengan kriteria mean square error minimum. Semua Algoritma dengan sejalannya waktu berusaha untuk konvergen mendekati kondisi ini (Sun, Yu, & He, 2012). Seperti pada prediksi linier, *Filter adaptive* juga didasari oleh *Filter Wiener*. Semua kaidah dan sifat-sifat yang berlaku pada *Filter Wiener* tetap berlaku untuk aplikasi adaptive ini Orde *Filter* dibatasi oleh *mean square error* yang diinginkan, dan kecepatan processing yang harus dicapai. Dengan makin besarnya orde *Filter* tentu mean square error semakin kecil tetapi kecepatan processing makin lambat. Jadi trade-off harus dilakukan dalam penentuan orde *Filter* ini. *Filter* adaptif merupakan *Filter* digital yang bekerja dalam pemrosesan sinyal digital yang dapat

menyesuaikan kinerjanya berdasarkan sinyal masukannya. *Filter* adaptif mempunyai pengatur koefisien yang dapat beradaptasi dengan keadaan lingkungan sekitar maupun perubahan sistem.



**Gambar 2.8.** Diagram adaptive filter

Sinyal masukan  $x(n)$  adalah penjumlahan dari sinyal suara  $s(n)$  dengan derau yang menyertai sinyal suara tersebut  $d(n)$ .

$$x(n) = s(n) + d(n) \quad (2.24)$$

Sinyal masukan pada *Filter* adaptif  $d'(n)$  adalah sinyal derau yang dicuplik dari sumber derau yang menginterferensi sinyal suara. Pada *Filter* adaptif digunakan umpan balik untuk menentukan nilai koefisien *Filter* setiap ordenya. *Filter* mempunyai struktur FIR dengan tanggapan impuls sama dengan koefisien *Filt*ernya. Koefisien pada *Filter* adaptif untuk orde- $p$  didefinisikan sebagai berikut :

$$w(n) = [w_n(0), w_n(1), \dots, w_n(p)]^T \quad (2.25)$$

Pada variabel *Filter* selalu dilakukan up-date untuk koefisien *Filt*ernya sebagai berikut:

$$w_{n+1} = w_n + \Delta w_n \quad (2.26)$$

$$w_{n+1} = w_n + 2\mu \epsilon_k x_k \quad (2.27)$$

dengan  $\Delta w_n$  merupakan faktor koreksi dari koefisien *Filter* dan  $\epsilon$  merupakan nilai mean square error.

$$e(n) = x(n) - y(n) \quad (2.28)$$

dengan:

$$y(n) = x(n) \cdot w(n) \quad (2.29)$$

$$y(n) = \sum_{i=0}^L x(n) \cdot w(n) \quad (2.30)$$

*Filter* adaptif biasanya menggunakan algoritma LMS (Least Mean Square) untuk mencari nilai MSE (Mean Square Error) pada sistem yang kemudian digunakan untuk menentukan koefisien *Filter*. Penghitungan koefisien *Filter* pada *Filter* adaptif dengan menggunakan nilai MSE adalah sebagai berikut :

$$w(n + 1) = w(n) + \mu e(n) d(n) \quad (2.31)$$

## 2.12. MATLAB

MATLAB (Matrix Laboratory) adalah sebuah program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks.

Pada awalnya, program ini merupakan interface untuk koleksi rutin numerik dari proyek LINPACK dan EISPACK, dan dikembangkan

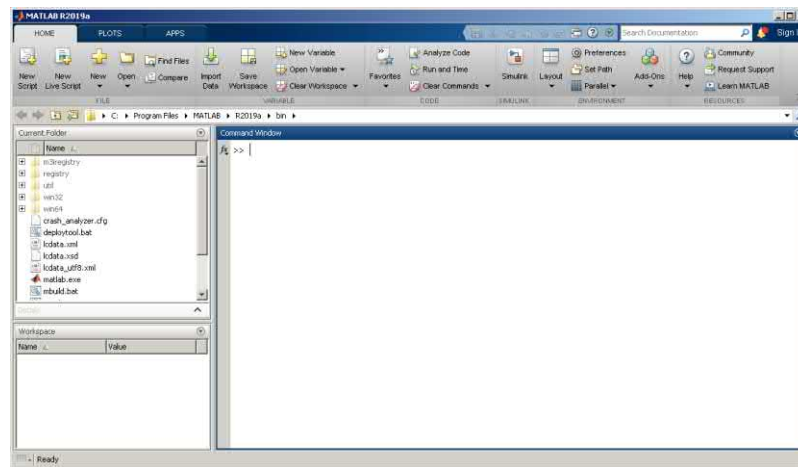


menggunakan bahasa FORTRAN namun sekarang merupakan produk komersial dari perusahaan Mathworks, Inc. yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan assembler (utamanya untuk fungsi-fungsi dasar MATLAB).

MATLAB telah berkembang menjadi sebuah environment pemrograman yang canggih yang berisi fungsi-fungsi built-in untuk melakukan tugas pengolahan sinyal, aljabar linier, dan kalkulasi matematis lainnya. MATLAB juga berisi toolbox yang berisi fungsi tambahan untuk aplikasi khusus.

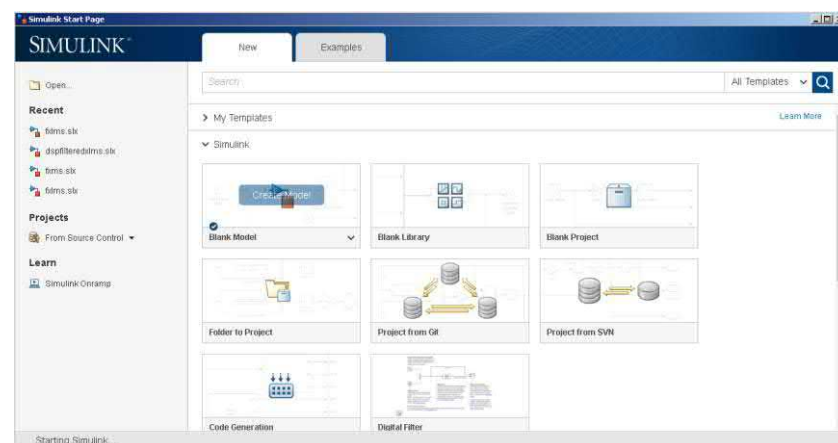
MATLAB bersifat extensible, dalam arti bahwa seorang pengguna dapat menulis fungsi baru untuk ditambahkan pada library ketika fungsi-fungsi built-in yang tersedia tidak dapat melakukan tugas tertentu. Kemampuan pemrograman yang dibutuhkan tidak terlalu sulit bila seseorang telah memiliki pengalaman dalam pemrograman bahasa lain seperti C, PASCAL, atau FORTRAN.

MATLAB merupakan merk software yang dikembangkan oleh Mathworks, Inc. MATLAB merupakan software yang paling efisien untuk perhitungan numeric berbasis matriks. Dengan demikian jika di dalam perhitungan kita dapat menformulasikan masalah ke dalam format matriks maka MATLAB merupakan software terbaik untuk penyelesaiannya. Sehingga MATLAB merupakan salah satu program perhitungan yang paling sering digunakan oleh seluruh dunia baik dalam bidang akademik maupun praktis.



**Gambar 2.9.** Tampilan Antar Muka MATLAB 2019a

Simulink merupakan bagian tambahan dari software MATLAB (Mathworks Inc.). Simulink dapat digunakan sebagai sarana pemodelan, simulasi dan analisis dari sistem dinamik dengan menggunakan antarmuka grafis (GUI). Simulink terdiri dari beberapa kumpulan toolbox yang dapat digunakan untuk analisis sistem linier dan nonlinier. Beberapa library yang sering digunakan dalam sistem kontrol antara lain math, sinks, dan sources. Pada tugas akhir selain melalui command window, program ANC dijalankan dan disimulasikan melalui model yang dibuat di Simulink.



**Gambar 2.10.** Tampilan Antar Muka Simulink MATLAB 2019a

## BAB V

### SIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1.Simpulan

Berdasarkan hasil simulasi kendali derau aktif dengan algoritma FxLMS pada penelitian ini, dapat disimpulkan:

1. Sistem ANC yang dirancang mampu meredam derau dari sinyal sinusoidal maupun sinyal random yang berubah-ubah amplitudo dan frekuensinya (tidak konstan).
2. Error mencapai nilai konstan pada detik ke 0.002 dengan orde filter 64 dan step size 0,0003
3. Pemilihan faktor konvergen dan orde filter yang tepat sangat menentukan kinerja kendali bising aktif karen mempengaruhi stabilitas dan kecepatan konvergensi.
4. Kendali derau aktif dengan FxLMS mampu meredam sinyal sinusoidal frekuensi 8000 Hz sebesar 200 dB dan sinyal sinusoidal 8000 Hz yang ditambah sinyal random sebesar 30 dB. Jadi algoritma FxLMS bekerja dengan lebih optimal pada sinyal derau sinuosidal dibanding sinyal random.

#### 5.2. Saran

Diharapkan untuk penelitian selanjutnya algoritma FxLMS dapat diterapkan secara nyata pada kendali bising aktid untuk meredam. Sebab keberhasilan meredam sinyal dalam simulasi akan terlihat dalam implementasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Afroz, F., Huq, A., Ahmed, F., & Sandrasegaran, K. (2015). Performance Analysis of Adaptive Noise Canceller Employing NLMS Algorithm. *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)*, 45-58.
- Ahmad, F. (2011, Juli). *Pengembangan ANC dengan Modifikasi Soundcard PC sebagai Substitusi DSP Card Komersial*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret. Dipetik Januari 26, 2016, dari e-repository: <http://digilib.uns.ac.id>
- Alfisyahrin. (2008). *Simulasi Pemrosesan Sinyal Untuk Sistem Aktif Kendali Kebisingan pada Knalpot (Noise Silencer)*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- G.Lyons, R. (2010). *Understanding Digital Signal Processing*. Saddle River: Prentice Hall.
- Gonzalez, F. A., Rossi, R., Molina, G. R., & Parlanti, G. (2011). Adaptive Narrowband ANC, Design and Implementation Issues. *IEEE Latin America Transactions*, 438-444.
- Husnaini, I., & Anil. (2009). SISTEM KENDALI BISING AKTIF MENGGUNAKAN MODIFIKASI FILTER LATICE DENGAN ADAPTIVE LATTICE PREDICTOR (ALP) DAN ALGORITMA FXLMS. *Jurnal Teknik Energi*, 108-118.
- John G. Proakis, D. K. (2006). *Digital Signal Processing*. London: Pearson.
- Kuo, S. M., Kuo, K., & Gan, W. S. (2010). *Active Noise Control: Open Problems and Challenges*. IEEE.
- Nardiana, A., & Sumaryono, S. S. (2011). Adaptive Noise Canceling Menggunakan Algoritma Least Mean Square (LMS). *Jurnal Teknik Elektro*, 65-75.
- R., M. A. (2012). *Adaptive Filtering Algrithm for Noise Cancellation*. Porto: University of Porto.
- Smith, S. W. (1999). *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*. San Diego: California Technical Publishing.
- Sun, Z., Yu, W., & He, C. (2012). FIR Digital Filter Design and MATLAB Simulation. *International Conference on Measurment, Information and Control*, 677-680.