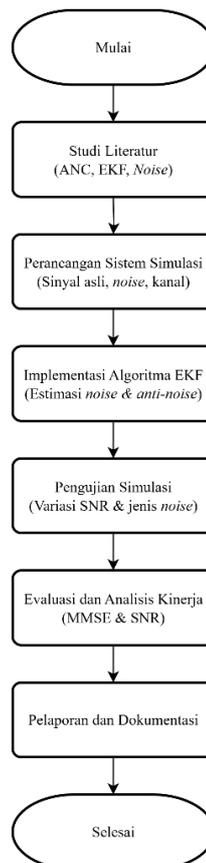


## BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metodologi yang digunakan dalam pengembangan dan simulasi sistem *Active Noise Control* (ANC) berbasis *Extended Kalman Filter* (EKF). Uraian mencakup tahapan studi literatur, konfigurasi sistem simulasi di MATLAB, desain filter FIR, pemodelan kanal, serta prosedur pengujian terhadap jenis noise menggunakan parameter evaluasi MMSE dan SNR.

### 3.1 Alur Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan utama yang terstruktur untuk mencapai tujuan pengembangan dan evaluasi sistem *Active Noise Control* (ANC) berbasis *Extended Kalman Filter* (EKF) dalam lingkungan simulasi MATLAB. Berikut diagram alur penelitian.



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

1. Pengumpulan dan Pemahaman Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memahami konsep dasar ANC, algoritma EKF, dan karakteristik *noise* yang umum ditemukan dalam lingkungan nyata, seperti *white noise* dan *pink noise*.

2. Perancangan Sistem Simulasi

Sistem simulasi dikembangkan dengan membangun model sinyal asli, model *noise*, serta kanal propagasi *noise* yang dimodelkan menggunakan filter *Finite Impuls Response* (FIR).

3. Implementasi Algoritma EKF

Algoritma EKF diimplementasikan dalam MATLAB untuk memperkirakan sinyal *noise* dan menghasilkan sinyal *anti-noise* secara adaptif. Parameter EKF disesuaikan agar mampu mereduksi *noise* secara adaptif.

4. Pengujian Simulasi

Simulasi dilakukan dengan memasukkan sinyal asli yang dicampur dengan *noise* pada berbagai tingkat *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) untuk mengevaluasi performa sistem. *Noise* yang diuji meliputi *white noise* dan *pink noise*.

5. Evaluasi dan Analisis Kinerja

Hasil simulasi dievaluasi menggunakan metrik *Minimum Mean Square Error* (MMSE) dan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) untuk menilai kinerja algoritma EKF dalam mereduksi *noise*.

6. Pelaporan dan Dokumentasi

Seluruh proses penelitian didokumentasikan dan hasilnya disusun dalam bentuk laporan skripsi yang sistematis dan ilmiah.

### 3.1.1 Studi Literatur

Objek penelitian ini adalah penerapan algoritma *Extended Kalman Filter* (EKF) pada sistem *Active Noise Control* (ANC) yang beroperasi dalam kondisi kanal akustik nonlinier dan bersifat *time-varying*. EKF merupakan pengembangan dari *Kalman Filter* yang dirancang untuk menangani sistem nonlinier melalui

pendekatan *local linearization* pada setiap iterasi estimasi. Dalam konteks ANC, EKF berfungsi sebagai algoritma inti yang melakukan estimasi *real-time* terhadap komponen *noise* sehingga dapat menghasilkan sinyal *anti-noise* yang optimal. Keunggulan utama EKF dibandingkan algoritma adaptif konvensional, seperti *Least Mean Square* (LMS), terletak pada kemampuannya memodelkan dinamika sistem dalam kerangka *state-space* serta mempertahankan stabilitas estimasi meskipun terjadi perubahan karakteristik kanal.

Pada penelitian ini, EKF diimplementasikan dalam simulasi MATLAB: R2024a untuk mengevaluasi kemampuannya mereduksi *noise* pada kanal yang dimodelkan secara nonlinier dan *time-varying*. Pengujian dilakukan terhadap dua jenis *noise* yang umum ditemukan di lingkungan nyata, yaitu *white noise*, yang bersifat acak dengan spektrum energi merata di seluruh frekuensi, dan *pink noise*, yang memiliki distribusi energi lebih dominan pada frekuensi rendah. Analisis performa dilakukan menggunakan metrik kuantitatif *Minimum Mean Square Error* (MMSE) dan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) guna menilai efektivitas EKF dalam mereduksi *noise* pada berbagai kondisi kanal dan spektrum.

### 3.1.2 Spesifikasi Perangkat Pengujian

Penelitian ini menggunakan perangkat pendukung yang mencakup perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras (*hardware*). Perangkat lunak yang digunakan meliputi MATLAB sebagai lingkungan utama untuk simulasi dan pemrosesan sinyal digital. Adapun perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini berupa satu unit laptop, dengan spesifikasi teknis yang dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 *Environment*

| No | Item                   | Spesifikasi           |
|----|------------------------|-----------------------|
| 1. | <i>Device Name</i>     | Lenovo Ideapad Slim 3 |
| 2. | <i>Monitor</i>         | 1920 x 1080           |
| 3. | RAM                    | 8 GB                  |
| 4. | SSD                    | 512 GB                |
| 5. | <i>Processor (CPU)</i> | Intel Core i3-1115G4  |

|    |                           |                      |
|----|---------------------------|----------------------|
| 6. | <i>Graphic Card</i> (GPU) | Intel UHD Graphics   |
| 7. | <i>Operating System</i>   | Microsoft Windows 11 |

### 3.1.3 Konfigurasi Sistem

Penelitian ini dilaksanakan dalam lingkungan simulasi MATLAB untuk mengembangkan sistem *Active Noise Control* (ANC) berbasis algoritma *Extended Kalman Filter* (EKF). Sistem dirancang untuk mereduksi *noise* dalam sinyal secara simulatif tanpa melibatkan perangkat keras fisik seperti mikrofon atau speaker. Seluruh proses difokuskan pada pengujian kinerja algoritma EKF dalam menghadapi kondisi *noise* yang menyerupai lingkungan nyata.

Pada tahap awal, sistem menghasilkan sinyal asli berupa sinyal sinusoidal dan *noise* sebagai *input* untuk simulasi. *Noise* yang digunakan terdiri dari *white noise* dan *pink noise*. *White noise* memiliki distribusi energi merata di seluruh frekuensi, sedangkan *pink noise* memiliki distribusi energi yang lebih besar pada frekuensi rendah. Pemilihan kedua jenis *noise* ini bertujuan untuk menguji kemampuan sistem dalam menghadapi variasi karakteristik *noise*.

Sinyal *noise* yang telah dihasilkan kemudian diproses melalui filter *Finite Impulse Response* (FIR) untuk mensimulasikan kanal akustik yang bersifat linier dan *time-varying*. Filter FIR ini berfungsi untuk merepresentasikan kondisi saluran akustik yang mempengaruhi karakteristik *noise*, sehingga sinyal yang dihasilkan menjadi lebih realistis sesuai dengan kondisi lingkungan sebenarnya. Hasil keluaran dari filter FIR kemudian digunakan sebagai *input* ke dalam proses estimasi oleh algoritma EKF.

*Extended Kalman Filter* (EKF) berfungsi untuk melakukan estimasi adaptif terhadap *noise* dengan memanfaatkan model prediksi dan pembaruan berbasis pengukuran yang tersedia. Dari proses estimasi tersebut dihasilkan sinyal *anti-noise* yang memiliki fase berlawanan dengan *noise*, sehingga ketika dikombinasikan dengan sinyal *noisy* akan terjadi interferensi destruktif yang dapat mereduksi *noise*.

Evaluasi performa sistem dilakukan dengan menggunakan parameter *Minimum Mean Square Error* (MMSE) untuk mengukur selisih rata-rata kuadrat antara *noise*

aktual dan hasil estimasi EKF, serta *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) untuk menilai peningkatan kualitas sinyal setelah proses pengurangan *noise*. Dengan konfigurasi ini, penelitian dapat mengevaluasi efektivitas algoritma EKF dalam mereduksi *noise* pada berbagai skenario kondisi *noise* yang disimulasikan.

#### 3.1.4 Desain Filter

Dalam sistem *Active Noise Control* (ANC) berbasis *Extended Kalman Filter* (EKF), filter memainkan peran penting dalam memodifikasi karakteristik *noise* yang diterima sebelum diproses oleh algoritma EKF. Sistem ini menggunakan dua jenis filter utama yaitu, *Finite Impulse Response* (FIR) dan *InFinite Impulse Response* (IIR). Filter FIR dipilih karena kestabilannya dan kemampuannya untuk memodifikasi *noise* tanpa bergantung pada nilai sebelumnya. Filter ini digunakan untuk memodifikasi *noise*, baik *white noise* atau *pink noise* yang diterima oleh sistem sebelum diteruskan ke EKF. Filter FIR bertugas untuk memodifikasi *noise* yang diterima agar sesuai dengan model estimasi yang digunakan dalam EKF, mempersiapkan *noise* untuk diproses lebih lanjut oleh algoritma tersebut.

Untuk menghasilkan *pink noise*, digunakan filter IIR yang memiliki karakteristik distribusi energi menurun pada frekuensi tinggi, sesuai dengan spektrum *pink noise* yang dominan pada frekuensi rendah. Filter IIR dipilih karena kemampuannya untuk menghasilkan *noise* dengan distribusi energi yang sesuai dengan lingkungan nyata. *Noise* ini digunakan untuk menguji kemampuan EKF dalam mengatasi *noise* nonstasioner. Filter IIR ini mengubah *white noise* menjadi *pink noise* yang lebih kompleks, kemudian diproses oleh EKF.

Kedua filter tersebut desain EKF memiliki peran penting karena filter FIR dan IIR bertugas untuk memodifikasi karakteristik *noise* sebelum dikirim ke EKF. Setelah *noise* diproses oleh filter, EKF digunakan untuk memperkirakan *noise* berdasarkan model dan menghasilkan estimasi *noise* yang lebih akurat. EKF kemudian menghasilkan sinyal *anti-noise* yang memiliki fase berlawanan dengan *noise* untuk mengurangi *noise* secara destruktif. Dengan demikian, filter FIR dan

IIR berfungsi untuk memastikan bahwa *noise* yang diproses oleh EKF dalam kondisi yang optimal untuk estimasi pengurangan *noise* lebih lanjut.

### 3.1.5 Implementasi Filter

Pada penelitian ini, implementasi filter dilakukan secara bertahap dalam lingkungan MATLAB, dengan algoritma *Extended Kalman Filter* (EKF) sebagai fokus utama untuk peredaman *noise* dalam sistem *Active Noise Control* (ANC). Filter berfungsi untuk memodifikasi karakteristik *noise* yang diterima oleh sistem agar dapat diproses lebih lanjut oleh algoritma EKF.

Langkah pertama adalah generasi *noise* yang digunakan dalam sebagai *input* gangguan dalam sistem. Dalam penelitian ini, *white noise* dan *pink noise* digunakan untuk mensimulasikan gangguan yang sering dijumpai dalam kondisi nyata. *White noise* dihasilkan menggunakan distribusi acak dengan spektrum frekuensi yang merata, sedangkan *pink noise* dihasilkan melalui filter IIR yang memberikan distribusi energi lebih banyak pada frekuensi rendah.

Setelah *noise* dihasilkan, filter FIR digunakan untuk memodifikasi *noise* sebelum diteruskan ke algoritma EKF. Filter FIR dipilih karena kestabilannya dan kemampuannya untuk memodifikasi *noise* tanpa bergantung pada keadaan sebelumnya. Filter FIR ini diimplementasikan untuk mengubah *white noise* dan *pink noise* agar dapat diproses lebih baik oleh EKF.

Setelah filter FIR diterapkan, *noise* yang dimodifikasi diteruskan ke algoritma EKF, yang kemudian akan memperkirakan *noise* yang ada dan menghasilkan sinyal *anti-noise*. Sinyal *anti-noise* ini memiliki fase berlawanan dengan *noise* asli dan akan digunakan untuk mengurangi *noise* dalam sinyal yang diterima.

Proses ini dilakukan secara berulang dengan parameter dan skenario yang sama untuk kedua jenis *noise* untuk menguji kemampuan sistem ANC berbasis EKF dalam mereduksi *noise* dan meningkatkan kualitas sinyal.

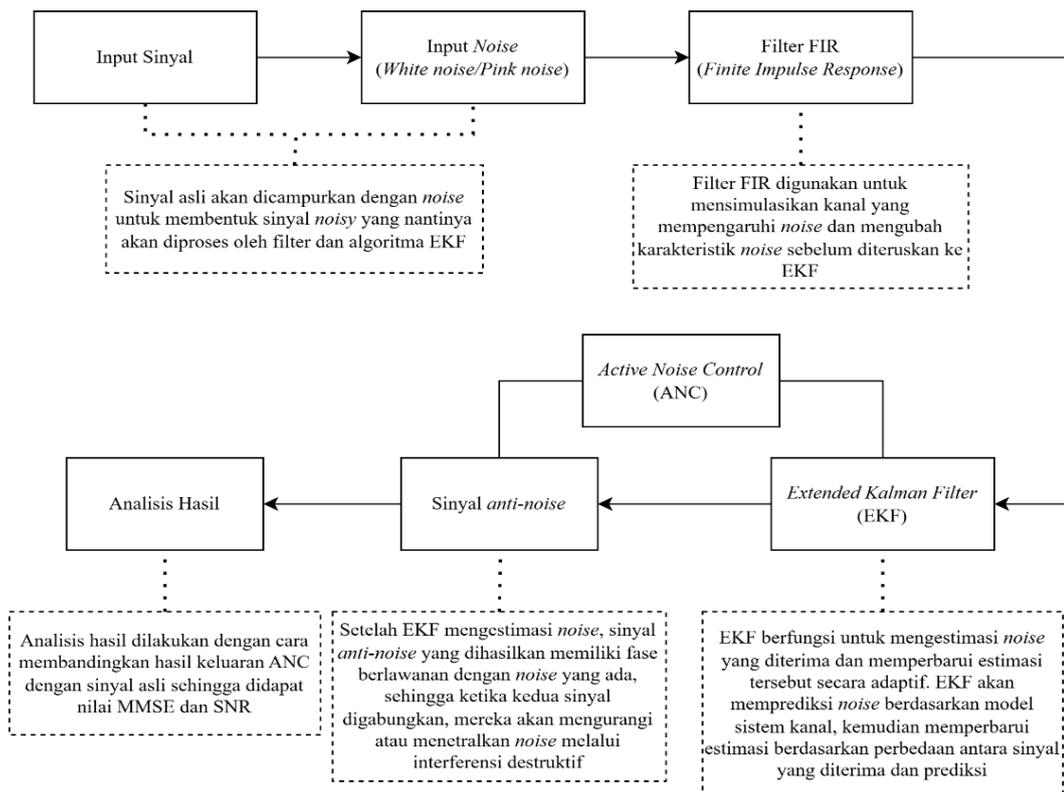
## 3.2 Metode Pengujian

Metode pengujian dalam penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem *Active Noise Control* (ANC) berbasis *Extended Kalman Filter*

(EKF) dalam mereduksi *noise* yang ada pada sinyal. Pengujian ini dilakukan dengan simulasi menggunakan MATLAB, dimana algoritma EKF digunakan untuk memproses *noise* dan menghasilkan sinyal *anti-noise* yang bertujuan mengurangi gangguan dalam sinyal asli.

Metode pengujian ini dilakukan secara bertahap, dimulai dengan pembuatan sinyal dan *noise*, dilanjutkan dengan implementasi filter dan EKF, dan berakhir pada evaluasi performa sistem menggunakan metrik seperti *Minimum Mean Square Error* (MMSE) dan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR).

Untuk memudahkan pemahaman alur pengujian, diagram blok berikut akan menunjukkan urutan dalam sistem ANC berbasis EKF yang diuji dalam penelitian ini. Diagram blok ini menggambarkan proses secara keseluruhan, mulai dari *input noise* hingga analisis hasil.



Gambar 3. 2 Diagram Blok Sistem

### 3.2.1 Generasi dan Karakteristik Sinyal

Pada penelitian ini, sinyal yang digunakan terdiri dari sinyal asli yang ingin dipertahankan kualitasnya dalam sistem *Active Noise Control* (ANC) berbasis *Extended Kalman Filter* (EKF). Sinyal asli yang dipilih adalah sinyal sinusoidal dengan frekuensi 440Hz yang sering digunakan pada simulasi ANC karena bentuknya yang sederhana dan karakteristiknya yang mudah dianalisis. Sinyal sinusoidal ini merepresentasikan sumber suara yang bersih, yang akan dicampurkan dengan *noise* untuk membentuk sinyal *noisy* yang akan diuji.

Sinyal asli ini akan menjadi sinyal acuan yang ingin dipertahankan kualitasnya setelah diproses oleh sistem ANC berbasis EKF. Dengan menggunakan sinyal sinusoidal ini, penelitian dapat menguji sejauh mana sistem ANC berbasis EKF dapat mengurangi *noise* yang tercampur dalam sinyal asli.

### 3.2.2 Pembangkitan *Noise*

*Noise* merupakan salah satu komponen utama dalam *Active Noise Control* (ANC) berbasis *Extended Kalman Filter* (EKF). Dalam penelitian ini, dua jenis *noise* digunakan untuk menguji kinerja sistem ANC berbasis EKF, yaitu *white noise* dan *pink noise*. Kedua jenis *noise* ini dipilih karena karakteristiknya yang berbeda dan dapat memberikan gambaran yang lebih lengkap mengenai kemampuan sistem dalam menangani *noise* dengan spektrum frekuensi yang berbeda.

*White noise* dihasilkan menggunakan fungsi distribusi acak normal pada MATLAB, dengan spektrum energi yang merata di seluruh rentang frekuensi. *White noise* digunakan untuk mensimulasikan kondisi *noise* stasioner dalam eksperimen. Di sisi lain, *pink noise* dipilih untuk mewakili *noise* yang lebih nyata, dimana energi lebih dominan pada frekuensi rendah dan menurun pada frekuensi tinggi. *Pink noise* dihasilkan dengan cara memfilter *white noise* menggunakan filter IIR (*InFinite Impulse Response*), yang memberikan distribusi energi yang menurun sebesar 3 dB per oktaf pada frekuensi tinggi, sesuai dengan karakteristik *pink noise*. Ini merupakan hasil dari metode standar yang diambil dari karya Julius O. Smith dari *Center for Computer Research in Music and Acoustic* (CCRMA), Stanford

University, yang banyak dijadikan rujukan dalam pemrosesan sinyal audio. Filter ini telah digunakan secara luas dalam penelitian sinyal dan merupakan pendekatan umum dalam simulasi *pink noise*. Dengan menghasilkan kedua jenis *noise* ini, penelitian dapat menguji dan membandingkan kinerja sistem ANC berbasis EKF dalam kondisi *noise* yang berbeda baik stasioner maupun nonstasioner.

### 3.2.3 Konfigurasi Model Kanal *Finite Impuls Responce* (FIR)

Dalam penelitian ini, kanal akustik dimodelkan menggunakan filter *Finite Impulse Response* (FIR) berbasis fungsi `fir1` pada MATLAB. Filter FIR yang digunakan merupakan filter low-pass dengan orde 32 dan frekuensi *cutoff* sebesar 0,4 (dalam skala ternormalisasi terhadap frekuensi sampling). Pemilihan orde 32 dilakukan untuk mencapai keseimbangan antara kompleksitas komputasi dan akurasi representasi kanal.

Untuk meningkatkan realisme simulasi, filter FIR dikembangkan menjadi *time-varying*, yaitu koefisien filter mengalami fluktuasi secara acak pada setiap sampel waktu. Fluktuasi ini dikendalikan oleh parameter *variabilitas kanal* sebesar 0,1, yang dapat diubah untuk mensimulasikan kondisi kanal ringan hingga berat. Variasi kanal ini mencerminkan ketidakpastian kondisi propagasi akustik dalam lingkungan nyata, seperti pantulan, gangguan objek, atau pergerakan sumber *noise*.

Selain itu, untuk memberikan tantangan tambahan terhadap performa sistem ANC, kanal FIR juga diberi efek *nonlinearitas* berupa penambahan komponen kuadrat dari *output* linier filter. Penambahan nonlinearitas ini bertujuan untuk mensimulasikan karakteristik fisik kanal akustik yang tidak sepenuhnya linier.

Dengan konfigurasi tersebut, model kanal dalam penelitian ini memberikan kondisi simulasi yang lebih mendekati skenario lingkungan nyata, sehingga pengujian algoritma *Extended Kalman Filter* (EKF) dalam sistem *Active Noise Control* (ANC) menjadi lebih representatif terhadap kondisi sebenarnya.

### 3.2.4 Implementasi Algoritma *Extended Kalman Filter* (EKF)

Algoritma *Extended Kalman Filter* (EKF) diterapkan untuk memperkirakan *noise* yang tercampur dalam sinyal dan menghasilkan sinyal *anti-noise* yang akan

digunakan untuk mengurangi *noise* dalam sinyal yang diterima. Proses EKF terdiri dari dua tahap utama yaitu, EKF memprediksi *noise* berdasarkan estimasi sebelumnya. Kemudian EKF memperbarui estimasi tersebut berdasarkan perbedaan antara prediksi dan pengukuran actual dari sinyal *noisy noisy* yang diterima.

Pada implementasi EKF, sinyal *noise* yang telah diproses oleh filter FIR digunakan sebagai *input* untuk EKF. EKF berfungsi untuk memprediksi karakteristik *noise* yang lebih akurat dengan memodelkan sistem *state space* dan mengupdate estimasi dengan menggunakan *Kalman Gain*.  $\Theta$  adalah vektor estimasi *noise* yang diperbarui setiap iterasi berdasarkan prediksi dan inovasi. *Kalman Gain* ( $K$ ) digunakan untuk menyesuaikan seberapa besar pembaruan estimasi yang dilakukan berdasarkan inovasi yang ada.

*Output* dari EKF adalah estimasi *noise* yang akan digunakan untuk menghasilkan sinyal *anti-noise* dengan fase berlawanan. Proses ini berlangsung secara adaptif, dimana estimasi terus diperbarui berdasarkan pengukuran *noise* yang diterima.

### 3.2.5 Pembuatan Sinyal *Anti-noise*

Sinyal *anti-noise* dihasilkan oleh EKF setelah proses estimasi *noise* dilakukan. EKF berfungsi untuk memperkirakan karakteristik *noise* yang ada dalam sinyal *noisy* berdasarkan model sistem yang ada, kemudian menghasilkan sinyal yang berfase berlawanan dengan *noise* tersebut.

Proses pembuatan sinyal *anti-noise* dimulai dengan pengolahan sinyal *noise* melalui EKF yang melakukan dua tahap utama yaitu, prediksi dan pembaruan estimasi *noise*. Pada tahap prediksi, EKF memprediksi *noise* yang ada berdasarkan estimasi sebelumnya. Kemudian pada tahap pembaruan, EKF memperbarui estimasi berdasarkan perbedaan antara sinyal yang diterima dan prediksi yang dihasilkan. Estimasi *noise* yang dihasilkan inilah yang digunakan untuk membentuk sinyal *anti-noise*.

Sinyal *anti-noise* ini kemudian dipasang pada sinyal *noisy*, sehingga kedua sinyal tersebut saling bertemu dengan fase berlawanan. Melalui prinsip interferensi destruktif, sinyal *anti-noise* mengurangi atau menghilangkan *noise* yang ada dalam sinyal *noisy* sehingga menghasilkan *output* ANC yang lebih bersih dan mendekati sinyal asli.

Proses ini memungkinkan sistem ANC berbasis EKF untuk beradaptasi secara dinamis dengan *noise* yang ada. Sistem ini akan memperbarui estimasi *noise* secara terus menerus dan menghasilkan sinyal *anti-noise* yang semakin baik dalam mengurangi *noise*.

### 3.2.6 Evaluasi Kinerja Sistem

Evaluasi dilakukan dengan menggunakan dua metrik utama, yaitu *Minimum Mean Square Error* (MMSE) dan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR). Kedua metrik ini digunakan untuk menilai sejauh mana sistem berhasil mereduksi *noise* dan mempertahankan kualitas sinyal asli.

#### 1. *Minimum Mean Square Error* (MMSE)

MMSE digunakan untuk mengukur seberapa baik sistem dalam memprediksi dan memperkirakan *noise* yang ada. MMSE dihitung dengan mengukur perbedaan rata-rata kuadrat antara sinyal asli dan sinyal hasil proses EKF. Nilai MMSE yang rendah menunjukkan bahwa estimasi *noise* yang dihasilkan oleh EKF sangat mendekati *noise* yang sebenarnya, yang berarti sistem ANC berbasis EKF bekerja dengan baik dalam mengestimasi dan mereduksi *noise*.

#### 2. *Signal-to-Noise Ratio* (SNR)

SNR digunakan untuk mengukur kualitas sinyal dengan membandingkan daya sinyal yang bersih (sinyal asli) terhadap daya *noise* yang tersisa setelah proses pengurangan *noise*. SNR yang lebih tinggi menunjukkan bahwa sistem berhasil mengurangi *noise* dengan efektif, meningkatkan kualitas sinyal yang diterima.

### 3. Proses Evaluasi

Pengujian dilakukan pada berbagai tingkat SNR *input*, dengan *white noise* dan *pink noise* yang digunakan untuk menguji kinerja sistem dalam mereduksi *noise*. SNR dihitung sebelum dan setelah proses ANC untuk menilai sejauh mana sistem berhasil meningkatkan kualitas sinyal. Hasil MMSE dan SNR dibandingkan untuk berbagai level SNR *input* untuk mengevaluasi efektifitas sistem ANC berbasis EKF dalam mengurangi *noise* pada berbagai kondisi gangguan.

#### 3.2.7 Penyimpanan Data Hasil Pengujian

Hasil evaluasi yang diperoleh dari simulasi sistem *Active Noise Control* (ANC) berbasis *Extended Kalman Filter* (EKF) disimpan dalam format CSV untuk memudahkan analisis dan perbandingan lebih lanjut. Penyimpanan hasil evaluasi ini dilakukan tanpa mengubah data hasil yang telah dihitung agar data tetap utuh.

Proses penyimpanan dilakukan dengan menyimpan nilai-nilai *Minimum Mean Square Error* (MMSE) dan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) untuk setiap kondisi SNR *input* yang diuji. Data disimpan dalam format CSV menggunakan fungsi *writetable* di MATLAB, yang memungkinkan seluruh hasil evaluasi ditulis dalam satu file yang dapat diakses dan diproses lebih lanjut.

Dengan menggunakan kode diatas, seluruh hasil pengujian akan tersimpan dalam file `hasil_evaluasi_anc.csv`. Data ini kemudian dapat dianalisis atau dibuka menggunakan perangkat lunak lain seperti Microsoft Excel untuk analisis lebih lanjut atau pembuatan grafik perbandingan.

Untuk grafik hasil yang diperoleh dari pengujian, seperti grafik MMSE terhadap SNR *input* disimpan dalam format gambar. Dengan format tersebut akan memudahkan dalam menyertakan hasil grafik visual dalam laporan tanpa mengubah data numerik yang ada, untuk penyimpanan grafik menggunakan kode.

Dengan demikian, hasil evaluasi numerik disimpan dalam format CSV untuk memudahkan analisis data, sementara grafik hasil disimpan dalam format gambar untuk digunakan dalam laporan.

### 3.2.8 Analisis Data

Setelah hasil evaluasi diperoleh dan disimpan dalam format *Comma Separated Values* (CSV), langkah selanjutnya adalah melakukan analisis data untuk mengevaluasi performa sistem *Active Noise Control* (ANC) berbasis *Extended Kalman Filter* (EKF). Analisis data bertujuan untuk memahami seberapa efektif sistem dalam mereduksi *noise* serta meningkatkan kualitas sinyal asli. Selain itu, analisis juga dilakukan untuk menilai dampak variasi jenis *noise* terhadap performa sistem. Proses analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan dua pendekatan utama, yaitu:

1. Analisis Pengaruh EKF dalam Sistem ANC

Pengujian dilakukan dengan membandingkan performa sistem ANC yang menggunakan algoritma EKF dengan kondisi baseline tanpa EKF. Perbandingan dilakukan menggunakan dua parameter utama, yaitu *Minimum Mean Square Error* (MMSE) dan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR). Dengan analisis ini diharapkan dapat diketahui sejauh mana kontribusi EKF dalam meningkatkan performa sistem ANC.

2. Analisis Pengaruh Jenis *Noise* terhadap Performa Sistem

Pengujian dilakukan dengan membandingkan performa sistem ANC berbasis EKF terhadap dua jenis *noise* yang berbeda, yaitu *white noise* dan *pink noise*. Perbandingan dilakukan untuk melihat bagaimana karakteristik masing-masing *noise* mempengaruhi efektivitas ANC dalam mereduksi *noise* dan meningkatkan kualitas sinyal.