

Analisis Perbandingan Kinerja Sinkronisasi OFDM Antara Metode Konvensional dengan Statistik Korelator Simetris

Shelvi Eka Tassia¹

¹Fakultas Teknik, Teknik Informatika, Universitas Pamulang, Jl. Raya Puspiptek No. 46,
Kel. Buaran, Kec. Serpong, Kota Tangerang Selatan. Banten 15310, Indonesia
Email: dosen01768@unpam.ac.id

Abstrak—OFDM merupakan salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan dalam berbagai system komunikasi jarak jauh yang sedang banyak berkembang saat ini, baik pada LAN, WLAN, 3G, ataupun 4G, bahkan 5G. Salah satu masalah yang dihadapi oleh teknologi OFDM yang merupakan kelemahan dari sistem OFDM itu sendiri yaitu sensitif terhadap *carrier frequency offset* (CFO) dan sulitnya sinkronisasi sinyal pada OFDM. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis beberapa perbandingan antara sinkronisasi OFDM metode konvensional yang dipakai disini dengan training symbol, kemudian dibandingkan dengan metode statistic korelator simetris. Dari hasil penelitian didapatkan *mean square error* (MSE) yang cukup bagus, yakni berkisar adalah 9.3×10^{-3} pada SNR masukan 0 dB dan pada SNR masukan 30 dB dengan MSE 1.68×10^{-5} . Dimana semakin besar *Signal to Noise Ratio*, maka semakin kecil nilai dari *mean square error* (MSE). Posisi korelator simetris yang digunakan juga mempengaruhi hasil sinkronisasi yang dilakukan. Akurasi sinkronisasi akan maksimal ketika menggunakan korelator maksimum.

Kata Kunci: OFDM, Korelator Simetris, Sinkronisasi OFDM, *Training Symbol*, *Mean Square Error*, *Signal to Noise Ratio*

Abstract—OFDM is a technology that can be used in various long-distance communication systems that are currently being developed, both on LAN, WLAN, 3G, or 4G, even 5G. One of the problems faced by OFDM technology is the weakness of the OFDM system itself, namely sensitivity to carrier frequency offset (CFO) and the difficulty of signal synchronization in OFDM. This study aims to analyze several comparisons between the conventional OFDM synchronization method used here and symbol training, then compared with the symmetric correlator statistical method. From the research results, the mean square error (MSE) is quite good, which ranges from 9.3×10^{-3} at an input SNR of 0 dB and at an input SNR of 30 dB with an MSE of 1.68×10^{-5} . Where the greater the Signal to Noise Ratio, the smaller the value of the mean square error (MSE). The position of the symmetrical correlator used also affects the results of the synchronization performed. Synchronization accuracy will be maximized when using the maximum correlator.

Keywords: OFDM, Korelator Simetris, OFDM Synchronization, *Training Symbol*, *Mean Square Error*, *Signal to Noise Ratio*

1. PENDAHULUAN

Modulasi adalah satu teknologi yang berperan penting dalam teknologi komunikasi jarak jauh. Berbagai teknologi modulasi menawarkan kelebihan dan kekurangan masing-masing. Salah satu sistem modulasi yang berkembang saat ini adalah Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Prinsip utama dari OFDM adalah pembagian aliran data kecepatan tinggi kedalam aliran data kecepatan rendah kemudian dikirimkan secara simultan melalui beberapa *subcarrier* (N.K.W. Trisnawati, N.M.A.E.D. Wirastuti & I.G.A.K.D.D Hartawan). OFDM adalah teknik modulasi yang diterapkan terhadap sinyal yang telah termodulasi dengan modulasi BPSK/QAM/QPSK/dll. Caranya yaitu dengan membagi data secara paralel pada sejumlah subkanal pita sempit, lalu masing-masing data pada subkanal tersebut dimodulasikan dengan subfrekuensi pembawa yang saling orthogonal, selanjutnya ditransmisikan secara simultan (Kumaran V., Manikan & Murugesapandian, 2009).

Prinsip dasar OFDM adalah memecah data serial dengan *bitrate* tinggi (*wideband*) menjadi beberapa data paralel yang memiliki *bitrate* rendah (*narrowband*), kemudian data paralel tersebut dimodulasi oleh masing-masing *subcarrier* (Y.H. Cho, 2010). OFDM menggunakan *subcarrier* yang

secara matematis bersifat saling orthogonal satu dengan yang lain sehingga informasi bisa dikirim pada *subcarrier- subcarrier* paralel yang saling overlapping. Oleh karena itu, sistem yang berbasis OFDM memiliki efisiensi spektrum yang lebih tinggi dari pada sistem MCM tradisional semisal FDM.

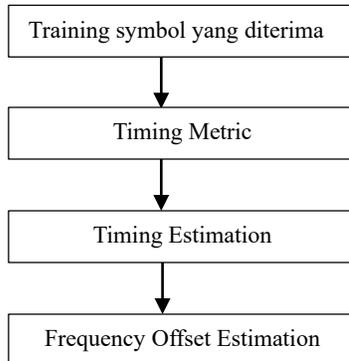
OFDM (*Orthogonal Frquency Division Multiplexing*) adalah salah satu skema MCM (*Multicarrier modulation*) dengan menggunakan beberapa *subcarrier* secara paralel. Dengan sifat orthogonalitas ini maka antar *subcarrier* dapat dibuat overlap. *Orthogonal Frequency Division Mulplexing* (OFDM) adalah sistem yang mempunyai kapasitas tinggi dan tahan terhadap fading, tetapi rentan terhadap adanya *Carrier Frequency Offset* (CFO) yang diakibatkan oleh efek Doppler. Selain rentan terhadap CFO, permasalahan yang sering timbul dalam sistem OFDM adalah sulitnya sinkronisasi pada simbol OFDM.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merancang dan mensimulasikan estimasi offset frekuensi pada sinkronisasi OFDM. Perangkat lunak yang digunakan dalam simulasi ini adalah Matlab 2009 (Matlab 7.8.0.). Data masukan berupa sinyal OFDM dengan spesifikasi secara umum sebagai berikut:

1. Jumlah FFT: 1024
2. Jumlah *Subcarrier*: 64
3. Modulasi: QAM
4. Bandwidth sinyal OFDM dinormalisasi terhadap jarak antar *subcarrier*
5. Disimulasikan pada profil kanal *vehicular* dengan kecepatan 120 km/h
6. 12,5% *guard interval*

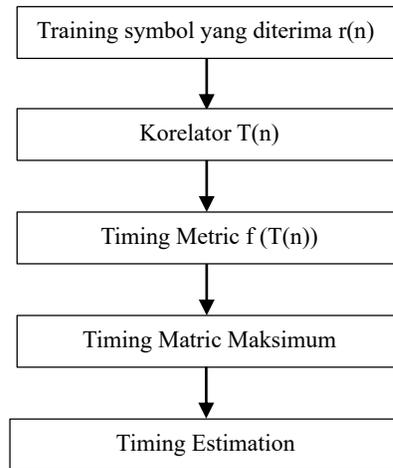
Adapun blok diagram perancangan dan simulasi pada estimasi *carrier frequency offset* adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Tahapan Perancangan dan Simulasi pada Estimasi *Carrier Frequency Offset*

Secara keseluruhan blok diagram terdiri dari input data, konversi data input dari serial ke parallel, modulasi data, IFFT, penambahan *cyclic prefix*, penambahan *training symbol*, konversi data dari parallel ke serial dan kemudian dikirimkan melalui kanal. Sedangkan pada penerima, terdapat proses data yang diterima diubah dari serial ke parallel, menghapus *cyclic prefix* dan *training symbol*, proses FFT, demodulasi, mengubah data hasil demodulasi dari parallel ke serial, dan data dikembalikan ke bentuk data informasi semula. Penelitian ini merancang dan mensimulasikan estimasi offset frekuensi dengan menggunakan karakteristik pada *timing metric* dalam sinkronisasi OFDM.

Perancangan sistem *timing metric* hingga *timing estimation* dapat dilihat pada gambar blok diagram 2. dibawah ini. *Training symbol* yang diterima diproses di korelator untuk mendapatkan *timing metric*. Korelator yang digunakan adalah korelator simetris dengan karakteristik statistic. Setelah didapatkan timing matrik, digunakan timing matrik maksimum yang merupakan estimasi dari timing offset.



Gambar 2. Blok Diagram Perancangan Timing Estimation

Sebuah sistem OFDM dengan panjang FFT adalah N_f , dimana sebanyak $N_u (< N_f)$ *subcarrier* digunakan untuk modulasi data. Untuk tujuan sinkronisasi, satu atau lebih *trainingsymbol* dikirimkan. Rumusan korelasi simetris *training symbol* dinyatakan dalam (Yong-Ho Cho & Dong-Jo Park, 2013)

$$x_p \left(\frac{N_f}{2} - k \right) = x_p^* \left(\frac{N_f}{2} + k \right), 1 \leq k \leq \frac{N_f}{2} - 1 \quad (1)$$

Dimana $x_p(n)$, $0 \leq n \leq N_f - 1$ adalah sinyal *training symbol* pada domain waktu. *Training symbol* ini memenuhi rumusan korelasi simetris yang bisa dibangkitkan dengan mengalokasikan PN *sequence* pada setiap *subcarrier* ke- Q pada domain frekuensi.

$$X_p(k) = \begin{cases} \pm 1, & \text{mod}(k, Q) = 0 \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2)$$

$X_p(k)$ adalah sinyal *training symbol* pada *subcarrier* ke- k pada domain frekuensi, dan $\text{mod}(\cdot)$ adalah fungsi modular ketika $Q > 1$, hasil dari *training symbol* memiliki fungsi berulang pada domain waktu sehingga terdiri dari bagian identik Q dengan panjang $L_r (= N_f/Q)$ sampel. Sebelum pengiriman *training symbol*, *cyclic prefix* dengan panjang N_g disisipkan. Setelah kanal *multipath*, sinyal yang diterima adalah

$$r(n) = e^{j \frac{2\pi s n}{N_f}} \sum_{m=0}^{L_{ch}} h(m) x_p(n - m) + w(n) \quad -N_g \leq n \leq N_f - 1 \quad (3)$$

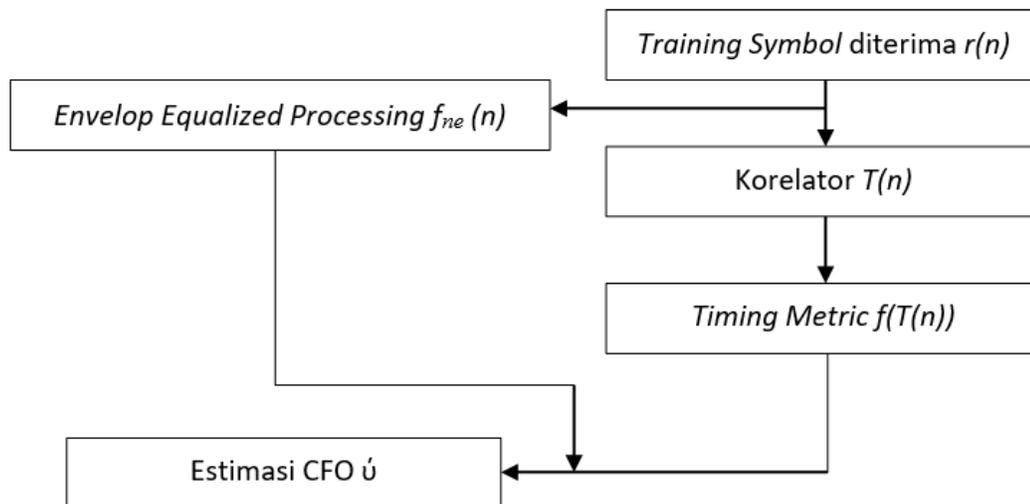
Berdasarkan persamaan (3.1), korelator simetris $T(n)$ bisa didefinisikan sebagai berikut :

$$T(n) = \left| \sum_{k=1}^{\frac{N_F}{2}-1} r\left(n + \frac{N_F}{2} - k\right) r\left(n + \frac{N_F}{2} + k\right) \right|$$

(4)

Pada kanal *multipath* dimana jalur pertama yang datang bukan jalur yang paling kuat, puncak maksimum (Tn) tertunda terhadap jalur yang paling kuat, yang akan menyebabkan error waktu. Untuk menentukan jalur kedatangan pertama secara tepat, digunakan *timing metric* berdasarkan karakteristik statistik pada korelator simetris.

Untuk mengukur offset frekuensi berdasarkan data pada domain waktu, dibutuhkan identifikasi dan mengukur kemiringan fasa. Dengan struktur replikasi *training symbol*, segmen perulangan waktu dalam domain waktu dapat digunakan untuk memperkirakan faktorfasa. Gambar 3 dibawah ini adalah blok diagram perancangan estimasi *carrier frequency offset*



Gambar 3. Blok Diagram Perancangan Estimasi CFO

Pada sistem OFDM, *training symbol* digunakan untuk sinkronisasi waktu dan estimasi kanal yang dibangkitkan melalui DFT dalam bilangan kompleks (Guangliang Ren et al, 2013).

$$X_T \begin{bmatrix} T,0 & T,1 & \dots & T,N-1 \end{bmatrix} = X$$

(5)

Banyak Algoritma yang digunakan untuk estimasi offset frekuensi ini, kebanyakan dengan memakai periodogram. Berdasarkan algoritma pada penelitian (V.M.Baronkin et. Al) dan (E.Abountanios & B. Mulgrew), dipakai algoritma periodogram baru.

Perancangan dan simulasi *timing metric* dengan karakteristik statistik sesuai langkah dan mendapat *estimasi carrier frequency offset* dengan menghitung dan mengakumulasi estimasi nilai integer dari *frequency offset*, estimasi nilai fraksional dari *frequency offset*, dan estimasi nilai residu dari *frequency offset* dengan memakai faktor *envelop equalized processing* (EEP).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

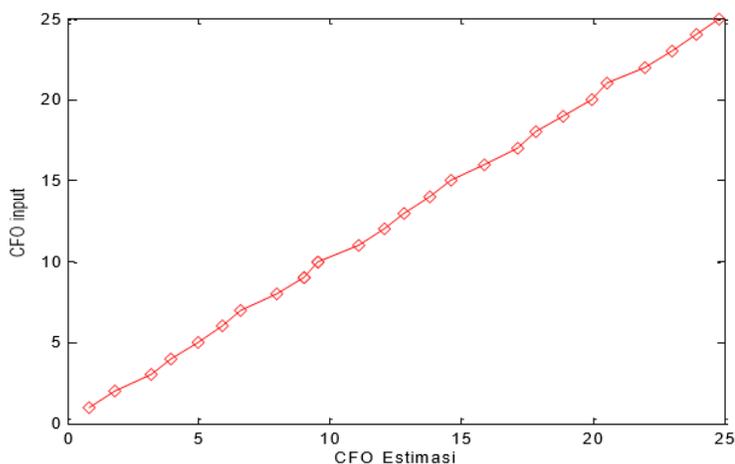
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisis dari hasil simulasi yang telah dirancang pada metodologi.

3.1 Simulasi Estimasi *Carrier Frequency Offset* pada *Korelator simetris yang Tepat*

Pada bagian ini merupakan hasil simulasi estimasi offset frekuensi pada *timing metric* maksimum (tanpa pergeseran *timing metric*) yakni pada titik 1154 dengan berbagai nilai SNR dan *range* offset frekuensi input dari 0 sampai 23

3.1.1 Simulasi Sinkronisasi dengan SNR = 30 dB

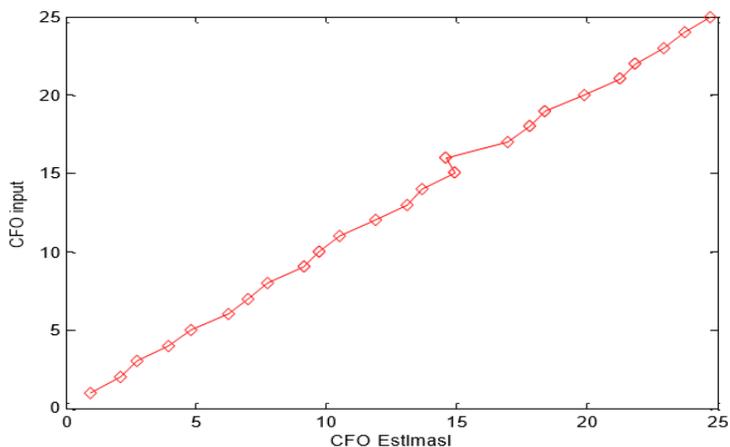
Pada gambar 4 di bawah ini adalah grafik hasil simulasi pada *timing metric* maksimum dengan SNR = 30 dB. titik titik estimasi sudah mendekati stabil, hanya terdapat sedikit error yang pada system.



Gambar 4. Simulasi Sinkronisasi pada SNR = 30 dB

3.1.2 Simulasi Estimasi *Carrier Frequency Offset* dengan SNR = 23 dB

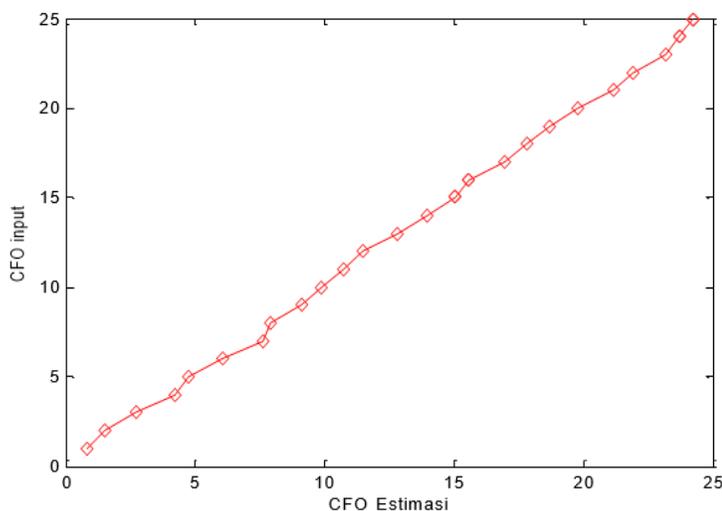
Pada gambar 5 di bawah ini adalah grafik hasil simulasi pada *timing metric* maksimum dengan SNR = 23 dB. Terdapat penurunan ketepatan sinkronisasi dibandingkan ketika SNR masukan = 30 dB.



Gambar 5. Simulasi Sinkronisasi pada SNR = 23 dB

3.1.3 Simulasi Estimasi Carrier Frequency Offset dengan SNR = 17 dB

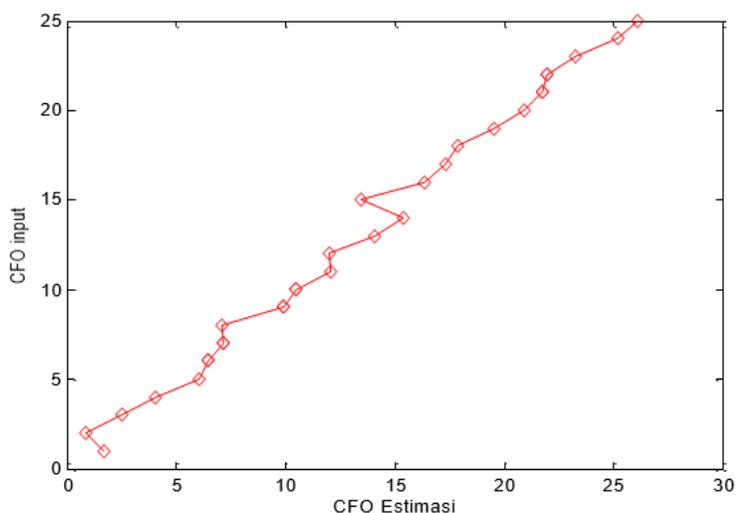
Pada gambar 6 di bawah ini adalah grafik hasil simulasi pada *timing metric* maksimum dengan SNR = 17 dB. Titik titik estimasi CFO terhadap CFO masukan cukup stabil. Hanya ada beberapa error yang tidak terlalu *significant*. Terdapat penurunan ketepatan sinkronisasi dibandingkan ketika SNR masukan = 30 dB dan SNR = 23 dB.



Gambar 6. Simulasi Sinkronisasi pada SNR = 17 dB

3.1.4 Simulasi Estimasi Carrier Frequency Offset dengan SNR = 7 dB

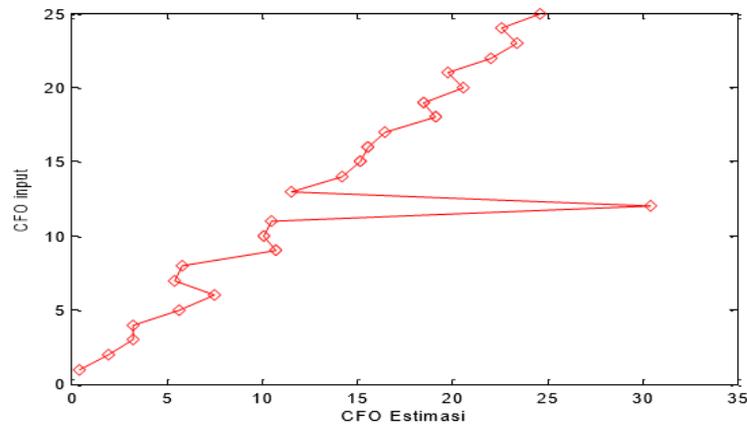
Pada gambar 7 di bawah ini adalah grafik hasil simulasi pada *timing metric* maksimum dengan SNR = 7 dB. Terjadi penurunan dari estimasi sebelumnya dimana SNR = 30 dB , SNR = 25 dB, SNR = 20 dB, SNR = 15 dB, SNR = 10 dB, dimana terdapat banyak kesalahan dalam estimasi offset frekuensi karena nilai SNR yang rendah.



Gambar 7. Simulasi Sinkronisasi pada SNR = 7 dB

3.1.5 Simulasi Estimasi Carrier Frequency Offset dengan SNR = 0 dB

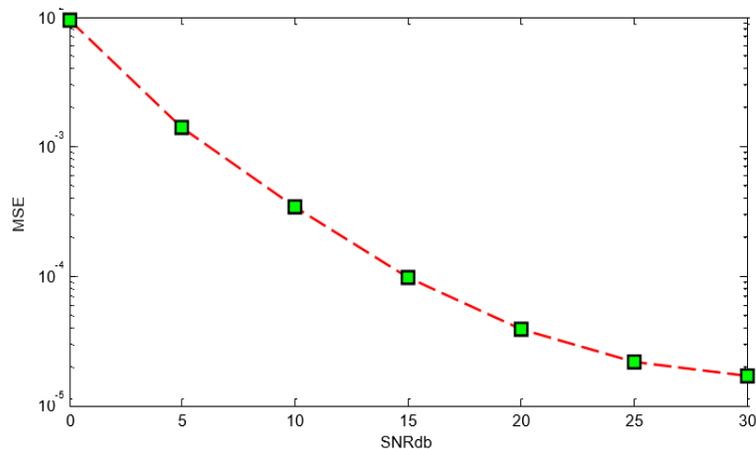
Pada gambar 8 di bawah ini adalah grafik hasil simulasi pada *timing metric* maksimum dengan SNR = 0 dB. Terjadi penurunan dari estimasi sebelumnya dimana SNR = 30 dB, SNR = 25 dB, SNR = 20 dB, SNR = 15 dB, SNR = 10 dB, SNR = 5 dB, dimana terdapat banyak kesalahan dalam estimasi offset frekuensi karena nilai SNR yang rendah.



Gambar 8. Simulasi Sinkronisasi pada SNR = 0 dB

3.2 Perbandingan nilai MSE Carrier Frequency Offset Terhadap nilai SNR

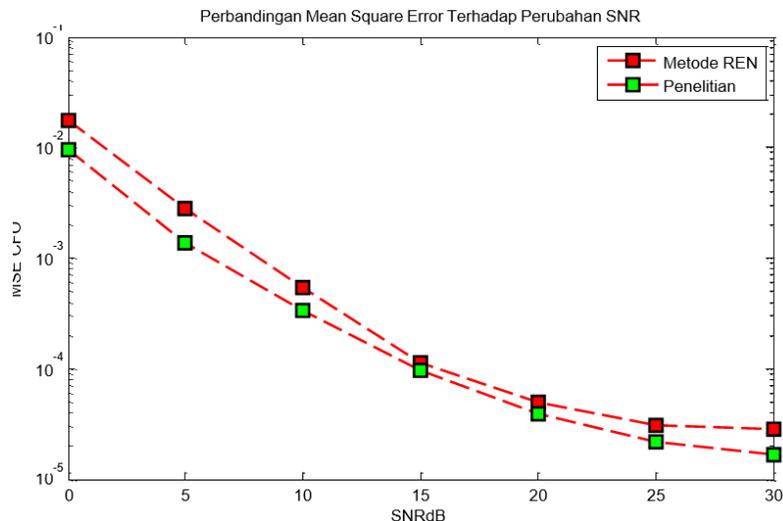
Gambar 9 di bawah ini adalah grafik hasil simulasi perbandingan nilai *mean square error* (MSE) terhadap nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR).



Gambar 9. Perbandingan *Mean Square Error* Terhadap Perubahan SNR

Pada grafik dapat dilihat bahwa nilai MSE ketika SNR = 0 dB sampai SNR = 30 dB mengalami penurunan nilai secara bertahap. Dimana ketika SNR diatas 25 dB maka MSE mendekati 10⁻⁵. Dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai SNR, maka semakin kecil nilai MSE yang didapat.

Gambar 12 di bawah ini adalah grafik hasil perbandingan nilai MSE dari estimasi sinkronisasi OFDM erhadap perubahan nilai SNR antara metode konvensional training symbol. Ada sedikit peningkatan yang ada dalam metode korelator simetris, *timing estimation* dianggap sempurna, tidak memiliki error waktu. Sedangkan pada korelator simetris *timing estimation* menggunakan metode korelator simetris statistik dimana penentuan *timing metric* menggunakan persamaan statistik.



Gambar 10. Perbandingan *Mean Square Error* Terhadap Perubahan SNR Metode Konvensional *Training Symbol* (merah) dengan Korelator Simetris (Hijau)

4. KESIMPULAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan yang diperoleh berdasarkan sistem yang telah dirancang pada Metode penelitian serta hasil simulasi dan hasil analisis.

1. Sinkronisasi OFDM menggunakan korelator simetris statistik lebih baik daripada metode konvensional biasa dipakai training symbol dapat dilihat dari error yang dihasilkan dalam system dan juga *signal to noise ratio*
2. *Range Mean Square Error* (MSE) yang didapatkan dengan memakai korelator simetris adalah 9.3×10^{-3} pada SNR masukan 0 dB sampai 1.6×10^{-5} pada SNR masukan 30 dB, lebih baik dari metode konvensional training symbol dengan MSE $3,5 \times 10^{-2}$

REFERENCES

- N.K.W. Trisnawati, N.M.A.E.D. Wirastuti, I.G.A.K.D.D. Hartawan (2022). "UNJUK KERJA SISTEM OFDM DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA VFFT PADA KANAL AWGN". *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 9, No. 3
- Srikanth, Kumaran V., Manikan and C., Murugesapandian. (2009). *Orthogonal frequency division multiple access*. India: Anna University Press
- Y.H. Cho, (2010), *MIMO_OFDM Wireless Communication with MATLAB*. Singapore: John Willey & Sons
- Yong-Ho Cho, and Dong-Jo Park (2013), "Timing Estimation Based on Statistical Change of Symmetric Correlator for OFDM Systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, No. 2, pp. 397-00
- Guangliang Ren, Yilin Chang, Huining Zhang, and Hui Zhang (2007). "An Efficient Frequency Offset Estimation Method with a Large Range for Wireless OFDM Systems" *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 56, no. 4.
- V. M. Baronkin, Y. V. Zakharov, and T. C. Tozer (2001). "Maximum likelihood single tone frequency estimation in a multipath channel," *Proc. Inst. Electr. Eng.—Commun.*, vol. 148, no. 6, pp. 400–404.
- E. Aboutanios and B. Mulgrew (2005). "Iterative frequency estimation by interpolation on Fourier coefficients," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 53, no. 4, pp. 1242–1272