

Perbandingan Estimasi Derau Tanpa Informasi Sinyal Transmisi Dengan Masukan Sinyal DVB-T Pada Sistem Radio Kognitif

Dzata Farahiyah

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia

Jl. Kaliurang km 14.5, Sleman, Yogyakarta

Email korespondensi : dzata.farahiyah@uii.ac.id

Dikirim 30 Oktober 2016, Direvisi 20 November 2016, Diterima 26 November 2016

Abstrak - Tiga algoritma estimasi derau tanpa informasi sinyal transmisi dibandingkan hasil performanya. Ketiga algoritma estimasi tersebut yaitu *Maximum Likelihood Estimator*, algoritma estimasi berdasarkan *Cyclic Prefix* dan algoritma estimasi dengan metode *Forward Consecutive Mean Excision (FCME)*. Perbandingan dilakukan dengan menggunakan masukan sinyal *Digital Video Broadcasting – Terrestrial (DVB-T)* dan dengan melakukan variasi nilai *signal-to-noise-ratio (SNR)* dan jumlah simbol *Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)*. Performa dari ketiganya diukur dengan pengukuran error yang lazim digunakan, yaitu *Normalized-Mean-Square-Error (NMSE)*. *Cyclic Prefix-Estimator* dan *Maximum Likelihood-Estimator* memiliki performa yang stabil terhadap perubahan SNR, sedangkan *FCME-estimator* memiliki performa yang berfluktuasi terhadap perubahan SNR. Penambahan jumlah simbol juga menghasilkan performa yang membaik pada ketiganya. Performa dari ketiganya menunjukkan bahwa *Maximum Likelihood-Estimator* memiliki NMSE yang paling kecil. Artinya bahwa *estimator* ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

Kata kunci – Estimasi, derau, DVB-T, tanpa sinyal tambahan

Abstract - The comparison of the performance of three algorithms of blind noise estimation without a priori information about transmitted signal is conducted in this research. The three estimators are maximum likelihood estimator, estimator based on cyclic prefix and estimator based on Forward consecutive mean excision (FCME). The comparison is done with the input DVB-T signal and with varied SNR and time observation. The performance of the three estimators are measured with NMSE. Cyclic prefix-estimator and Maximum likelihood-estimator has a stable performance against SNR, while FCME estimator has a fluctuative result. The number of simbol has an impact for three estimators, thus the performances are getting better as the number of simbol is in Cognitive Radio easing. The comparison shows that maximum likelihood-estimator has the best performances of all. It means that this estimator has high accuracy.

Keywords - Blind, noise, estimation, DVB-T

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi yang semakin cepat menyebabkan produsen peralatan komunikasi dan penyedia layanan komunikasi berlomba-lomba untuk memberikan teknologi yang terbaru kepada penggunanya. Khususnya untuk komunikasi seluler, pengguna teknologi ini tidak hanya berkomunikasi dengan menggunakan suara saja, akan tetapi mereka juga memanfaatkan untuk bertukar informasi melalui data, gambar, video dan lainnya. Hal ini menyebabkan permintaan akan laju data meningkat. Peningkatan ini tidak diimbangi dengan ketersediaan spektrum pada sistem komunikasi nirkabel. Alokasi spektrum frekuensi dibatasi dan telah ditetapkan oleh regulasi.

Salah satu solusi untuk tingginya kebutuhan laju data adalah dengan mengeksplorasi spektrum yang

ada. Hal ini dapat dilakukan dengan suatu konsep sistem radio kognitif. Sistem radio kognitif atau yang umumnya lebih dikenal dengan *Cognitive Radio (CR)* diperkenalkan pertama kali oleh Joseph Mitola di artikelnya [1] pada tahun 1998. *Cognitive Radio* berkembang dari suatu konsep radio yang disebut *Software-Defined Radio (SDR)*. *Cognitive Radio* dikembangkan untuk mengeksplorasi penggunaan spektrum secara efisien dengan mendeteksi adanya spektrum yang sedang tidak digunakan dalam jangka waktu pendek [2].

Cognitive Radio dapat mendeteksi spektrum yang sedang tidak digunakan dengan bantuan suatu komponen yang dinamakan *spectrum sensing (SS)*. *Spectrum sensing* memiliki kemampuan untuk mengukur, merasakan, mempelajari dan mengetahui apa yang terjadi pada lingkungan sekitarnya.

Spectrum sensing berada pada pengguna kedua yang ingin memanfaatkan spektrum yang sedang tidak digunakan oleh pengguna utama. Oleh karenanya, *spectrum sensing* tidak hanya mendeteksi spektrum yang sedang kosong, akan tetapi juga mendeteksi keberadaan pengguna utama dari spektrum tersebut. *spectrum sensing* akan memutuskan hubungan pengguna kedua dan mencari spektrum kosong lainnya, ketika pengguna utama ingin menggunakan spektrum tersebut.

Salah satu contoh *spectrum sensing* yang umum digunakan adalah *energy detection*. *Energy detection* menggunakan suatu perbandingan dengan suatu nilai ambang batas (*threshold*) untuk pengambilan keputusan. *Energy detection* merupakan metode deteksi yang dapat mendeteksi dengan cepat, akan tetapi menjadi kurang akurat apabila tidak ada informasi tentang daya derau (*noise power*). Terlebih lagi pada *Cognitive Radio* tidak diketahui informasi tentang sinyal utama yang dikirimkan, sehingga sinyal dari pengguna utama sering dianggap sebagai derau atau gangguan oleh *energy detection* pada deteksi dengan tingkat *signal-to-noise ratio* (SNR) yang rendah. Oleh karenanya, daya derau perlu diketahui di awal dengan mengestimasi terlebih dahulu.

Beberapa estimasi derau untuk OFDM telah banyak diajukan, yang dapat diklasifikasikan menjadi dua. Yang pertama adalah estimasi derau dengan menggunakan bantuan data atau *data-aided* [3] dan yang kedua adalah estimasi derau tanpa bantuan data atau *non data-aided* [4-5]. Estimasi derau dengan bantuan data artinya adalah algoritma estimasi derau ini membutuhkan bantuan data tambahan seperti sinyal transmisi ataupun urutan data *pilot* yang dikirimkan di awal transmisi. Estimasi ini menghasilkan hasil yang akurat, akan tetapi kekurangannya mereka membutuhkan data tambahan yang tidak bisa didapatkan apabila kita ingin melakukan deteksi pada radio kognitif. Sehingga, dibutuhkan suatu algoritma yang tidak membutuhkan data tambahan. Estimasi derau tanpa bantuan data artinya algoritma derau ini tidak membutuhkan bantuan data tambahan. Mereka menggunakan algoritma untuk mengestimasi derau hanya menggunakan data sinyal pada penerima.

Beberapa algoritma estimasi derau tanpa bantuan data telah banyak diteliti. Contohnya seperti pada [6], estimasi derau berdasarkan nilai eigen (*eigenvalue*) telah dilakukan. Begitu juga pada penelitian yang dilakukan oleh [5], estimasi derau dengan memanfaatkan *cyclic prefix* menjadi pilihan. Selain itu ada juga yang menggunakan algoritma *maximum-likelihood* untuk mengestimasi derau seperti pada [4]. Perbandingan algoritma estimasi derau akan dilakukan guna memilih estimasi mana yang paling baik dan sesuai untuk diaplikasikan pada sistem radio kognitif.

Menemukan suatu konsep estimasi daya derau dengan ketentuan tanpa adanya tambahan informasi tentang sinyal yang dikirimkan menjadi fokus utama pada penelitian ini. Estimasi daya derau nantinya digunakan untuk menentukan nilai ambang batas pada *energy detection*, sehingga dapat menghasilkan deteksi yang lebih akurat dan kesalahan deteksi dapat dihindari.

Pada penelitian ini akan dipilih tipe estimasi tanpa menggunakan bantuan data, yaitu algoritma *Maximum-Likelihood* pada *guard band* dan algoritma estimasi derau yang berbasis pada pemanfaatan *Cyclic Prefix*. Karena penelitian ini nantinya bertujuan untuk menunjang sistem radio kognitif, dimana kondisinya tidak diketahui sinyal awal transmisi ataupun sinyal *pilot*. Algoritma-algoritma ini tidak dapat ditentukan mana yang paling bagus dikarenakan tidak adanya parameter yang sama dalam pengujiannya. Oleh karenanya, beberapa estimasi derau tanpa bantuan data akan dibandingkan dengan masukan sinyal yang sama dan menggunakan variasi parameter yang sama. Sehingga didapatkan algoritma mana yang lebih optimal dalam melakukan estimasi. Berdasarkan hasil tinjauan pustaka, belum ada yang membahas tentang perbandingan ini pada literatur.

Estimasi derau ini nantinya diharapkan dapat digunakan pada sistem radio kognitif, dimana pengguna kedua membutuhkan daya derau yang akurat sehingga dapat mendeteksi adanya spektrum yang kosong dan adanya user utama. Penelitian yang telah ada tentang algoritma estimasi derau tanpa bantuan data tambahan tidak memiliki input dan parameter yang seragam. Oleh karenanya, sulit untuk menentukan algoritma mana yang paling baik. Pada penelitian ini, beberapa algoritma estimasi derau tanpa bantuan data tambahan yang telah ada akan dievaluasi dan dibandingkan.

Perbandingan dilakukan dengan simulasi menggunakan masukan sinyal berbasis *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) yaitu *Digital Video Broadcasting – Terrestrial* (DVB-T). Parameter yang digunakan juga divariasikan dengan cara yang sama. Sehingga, pertanyaan yang akan muncul dalam penelitian ini adalah.

1. Bagaimana cara mengukur performa algoritma estimasi derau tanpa bantuan data tambahan menggunakan masukan sinyal DVB-T dengan parameter SNR dan jumlah *simbol* yang bervariasi.
2. Algoritma manakah yang memiliki performa paling baik dan nantinya dapat diaplikasikan bersama dengan *spectrum sensing* pada sistem radio kognitif.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, yang pertama-tama dilakukan adalah mengumpulkan dan mempelajari literatur sehubungan dengan permasalahan yang dihadapi. Dalam hal ini, fokusnya adalah mencari algoritma-algoritma estimasi derau tanpa bantuan data yang telah ada pada *paper* atau jurnal. Setelah dipilih algoritma yang dikehendaki, langkah kedua adalah merancang program dari algoritma-algoritma pilihan tersebut dengan menggunakan matlab. Selain itu, program untuk membangkitkan sinyal DVB-T sebagai masukan atau *input* juga dibuat. Selanjutnya, simulasi dilakukan dengan menjalankan ketiga *estimator* dengan parameter SNR dan jumlah simbol yang berbeda.

A. Estimasi Derau Dengan Algoritma Maximum-Likelihood Pada Guard Band

Estimasi derau dengan menggunakan algoritma *Maximum Likelihood* mengeksplorasi spektrum yang terletak di *guard band* sinyal OFDM. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa *guard band* di sinyal OFDM mengandung *subcarrier* yang tidak berisi sinyal informasi ataupun sinyal kosong. Setelah sinyal transmisi melewati kanal informasi, sinyal tersebut dikorupsi oleh derau. Apabila *subcarrier* tidak berisi sinyal informasi, maka *subcarrier* tersebut hanya berisi derau saja.

Maximum Likelihood-estimator ini merupakan algoritma yang efisien yang mencakup *Cognitive Radio amer-Rao lower bound* untuk estimasi *error* variansi [7]. *Maximum Likelihood-estimator* langsung mengambil sampel dari *subcarrier* yang ada di *guard band*, sesuai dengan persamaan (1) [4],

$$\hat{\sigma}_z^2 = \frac{1}{2N_G} \sum_{i=1}^{N_G} |R_i|^2, \quad (1)$$

di mana $\hat{\sigma}_z^2$ adalah daya derau hasil estimasi atau daya derau terestimasi, N_G adalah jumlah total *subcarrier* yang kosong pada *guard band* dan R_i adalah *subcarrier* pada domain frekuensi dengan $i = 1, 2, \dots, L$. Daya derau bernilai kompleks, sehingga untuk total daya pada komponen riil dan imajiner bernilai $2\hat{\sigma}_z^2$.

B. Estimasi Derau Dengan Algoritma Berbasis Cyclic Prefix

Algoritma berbasis *Cyclic Prefix* ini memanfaatkan *guard interval* atau *Cyclic Prefix* pada sinyal OFDM. Seperti dijelaskan sebelumnya, *Cyclic Prefix* merupakan salinan dari bagian akhir simbol. Ketika sinyal transmisi tersebut melewati kanal transmisi, *guard interval* berisi sinyal dan derau. Karena bagian akhir simbol dan *Cyclic Prefix* sama, maka akan dilakukan pengurangan pada bagian tersebut, sehingga didapatkan hanya sinyal derau saja. Panjang dari *guard interval* harus lebih besar atau sama dengan jumlah kanal *multipath*.

Persamaan dari algoritma berbasis *Cyclic Prefix* diambil dari *paper* [5] seperti pada persamaan (2),

$$s(m(N + N_{CP}) + u) = s(m(N + N_{CP}) + N + u), \quad (2)$$

dengan $\forall m \in \mathbb{Z}$ dan $\forall u \in \{0, \dots, N_{CP} - 1\}$. N adalah jumlah total *subcarrier*, N_{CP} adalah panjang *Cyclic Prefix*, m merepresentasikan jumlah simbol OFDM. Algoritma ini mengasumsikan sinkronisasi sempurna [5]. Artinya, sinkronisasi sempurna memastikan bahwa *timing offset* dan *frequency carrier offset* tidak muncul. Apabila kanal memproduksi *delay* dan *carrier frequency offset*, proses sinkronisasi harus dilakukan dengan sinkronisasi sempurna untuk mengkompensasi dan membenarkan *delay* dan *frequency carrier offset*.

Daya derau diestimasi dengan memanfaatkan *redundancy* pada *Cyclic Prefix*. Hal ini sesuai dengan yang dinyatakan pada [5]. Apabila jumlah total dari simbol OFDM adalah m , dan panjang *impulse channel response* adalah $L + 1$ dengan $L + 1 < N_{CP}$ maka sinkronisasi sempurna diasumsikan pada penerima untuk mendapatkan $(N_{CP} - L)$. Sehingga daya derau dapat diestimasi seperti pada persamaan (3).

$$\hat{\sigma}_z^2 = F(u), \quad L \leq u \leq N_{CP} - 1, \quad (3)$$

dengan

$$F(u) = \frac{1}{2m(N_{CP} - u)} \sum_{j=0}^{m-1} \sum_{l=u}^{N_{CP}-1} |r(l(N + N_{CP}) + j) - r(l(N + N_{CP}) + N + j)|^2. \quad (4)$$

Jika jumlah kanal *multipath* tidak diketahui sebelumnya, maka L harus ditentukan atau diestimasi terlebih dahulu. L dihitung dengan menggunakan fungsi *likelihood* $f(\mathbf{X}_u | L = u)$ dengan \mathbf{X}_u adalah variabel observasi yang didefinisikan dengan $\mathbf{X}_u = (\xi(u), \xi(u + 1), \dots, \xi(N_{CP} - 1))$, dimana $\xi(u)$ adalah variabel acak yang mengikuti distribusi *chi-square* untuk $L \leq u \leq N_{CP} - 1$.

Untuk jumlah simbol OFDM yang besar, distribusi dapat disederhanakan,

$$\xi(u) \sim \mathcal{N} \left(\frac{\sigma_{z,m}^2}{N_{CP} - u}, \frac{\sigma_{z,m}^4}{M(N_{CP} - u)^2} \right) \quad (5)$$

Kemudian $f(\mathbf{X}_u | L = u)$ dihitung dengan menggunakan pendekatan $\sigma_z^2 = F(u)$. $\xi(u)$ dapat diperoleh dengan mengekspresikan $J(u)$ dari persamaan di atas,

$$F(u) = \left(1 - \frac{1}{N_{CP} - u} \right) F(u + 1) + \xi(u). \quad (6)$$

Sehingga, estimasi kanal \hat{L} dapat dihitung dari,

$$\hat{L} = \underset{u}{\operatorname{argmax}} \left[\prod_{k=u}^{N_{CP}-1} f(\xi(k)|L = u) \right]^{\frac{1}{N_{CP}-u}} \quad (7)$$

C. Estimasi Derau Dengan Menggunakan Forward Consecutive Mean Excision (FCME)

Estimasi derau tanpa menggunakan informasi tambahan sinyal transmisi terinspirasi pada metode estimasi SNR pada *paper* [8]. Pada penelitian tersebut menggunakan suatu algoritma dengan lokalisasi sinyal berdasarkan metode LAD (*Localization algorithm based on double thresholding*) untuk mengestimasi SNR tanpa mengetahui sinyal *narrowband* di domain frekuensi. Pada dasarnya, metode ini digunakan untuk memisahkan antara sinyal *narrowband* dari sinyal *wideband* dan interferensi dengan bantuan dua nilai ambang (*threshold*). Keuntungan dari metode ini adalah dapat digunakan tanpa membutuhkan informasi sebelumnya tentang sinyal yang akan diobservasi.

Terinspirasi dari metode LAD, estimasi derau dengan satu nilai ambang dipilih. Nilai ambang ditentukan dengan metode *Forward Consecutive Mean Excision* (FCME) [8-9]. Algoritma FCME awalnya didesain untuk menekan interferensi, mendeteksi sinyal *narrowband* dan estimasi SNR. FCME menghitung nilai ambang secara otomatis dan melakukan iterasi. Nilai ambang memisahkan sinyal menjadi 2 kelompok *cluster*. *Cluster* yang di bawah nilai ambang diasumsikan mengandung derau.

Nilai ambang dihitung dengan menggunakan parameter nilai ambang yang dilambangkan dengan T_{CME} . Parameter nilai ambang dihitung dengan karakteristik statistik pada kasus sinyal derau dan peluang alarm nilai error yang diinginkan $P_{FA,DES}$, yang dapat diketahui dari persamaan (8).

$$T_{CME} = -\ln(P_{FA,DES}). \quad (8)$$

Pada sisi penerima, algoritma ini dieksekusi setelah proses *Fast Fourier Transform* (FFT). Algoritma ini dimulai dengan mengurutkan sampel sinyal dari yang paling besar nilai energinya hingga yang paling kecil. Selanjutnya, untuk membandingkan sinyal sampel, maka sampel dibagi menjadi kelompok-kelompok kecil sejumlah n . Kelompok observasi pertama merupakan kelompok dengan nilai energi yang paling kecil diasumsikan memiliki sejumlah Q sampel dan disebut "*initial*". Selanjutnya, nilai ambang dihitung dengan menggunakan Q seperti pada persamaan (9).

$$T_h = \frac{1}{Q} \sum_{i=1}^Q |R_i|^2 \cdot T_{CME}, \quad (9)$$

dimana T_h merupakan nilai ambang untuk deteksi, Q adalah jumlah kelompok pertama, dan R_i adalah sampel pada domain frekuensi. Selanjutnya, nilai

energi dari sampel dibandingkan dengan nilai ambang T_h . Sampel R_i ditambahkan dengan $i = \{Q + 1, \dots, N\}$ ke kelompok Q jika $|R_i|^2 < T_h$. Kemudian kelompok sampel Q akan bertambah dan nilai ambang akan dihitung kembali, dan berulang seperti itu seterusnya. Proses akan berhenti berulang sampai tidak ada sampel baru di bawah nilai ambang T_h .

Nilai ambang memisahkan sinyal sampel menjadi dua bagian, yaitu bagian kelompok di bawah nilai ambang atau kelompok Q dan kelompok di atas nilai ambang. Kelompok di bawah nilai ambang diasumsikan hanya mengandung derau, sehingga estimasi daya derau dihasilkan dari sampel tersebut menggunakan persamaan (10).

$$\hat{\sigma}_z^2 = \hat{P}_w = \frac{1}{Q} \sum |Z(n)|^2, \quad (10)$$

dimana $\hat{\sigma}_z^2$ adalah daya derau terestimasi, $Z(n)$ adalah sinyal pada *cluster* bawah.

D. Persiapan Simulasi

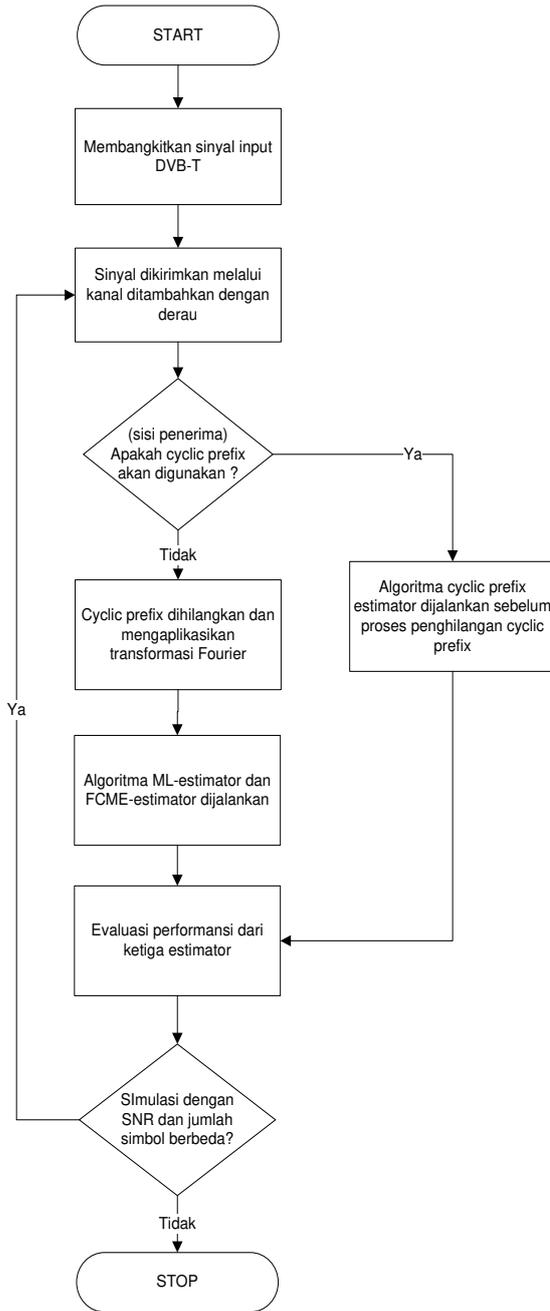
Dalam penelitian ini, ditentukan tiga pilihan algoritma derau yang akan dibandingkan. Langkah selanjutnya adalah membuat program simulasi pada matlab sesuai dengan algoritma estimasi dan untuk memunculkan sinyal DVB-T dengan parameter Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Sinyal DVB-T [10]

Parameter	Jumlah
FFT size	2048
Total subcarrier	1705
Jumlah cyclic prefix	256
Jumlah guard band	343

Pada Gambar 1 ditunjukkan diagram alur atau *flowchart* dari simulasi yang dilakukan pada penelitian ini. Simulasi dilakukan dengan melakukan variasi SNR dan jumlah simbol. Variasi SNR dimaksudkan agar sesuai dengan kondisi sesungguhnya, dimana kuat sinyal dan derau berfluktuasi tergantung kondisi lingkungan sekitarnya. SNR yang digunakan bernilai $-20\text{dB} \leq \text{SNR} \leq 20\text{dB}$. Sedangkan untuk jumlah simbol OFDM yang disimulasikan adalah $m = \{4, 8, 12, 16, 20\}$ yang berkaitan dengan lamanya waktu observasi untuk estimasi derau $T_{\text{obs}} = \{1 \text{ ms}, 2\text{ms}, 3\text{ms}, 4\text{ms}, 5\text{ms}\}$.

Di sisi penerima, estimasi derau dengan *Cyclic Prefix-estimator* dilakukan sebelum *Cyclic Prefix* dihilangkan. Sedangkan Estimasi derau dengan *Maximum Likelihood-estimator* dan FCME dilakukan setelah *Cyclic Prefix* dihilangkan.



Gambar 1. Flowchart Simulasi

Langkah terakhir yang dilakukan adalah melakukan evaluasi performa dari kedua estimator untuk tiap SNR dan simbol. Evaluasi performa dilakukan dengan menghitung NMSE sesuai dengan persamaan (11).

$$NMSE = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^J \left(\frac{\hat{\sigma}_i^2 - \sigma_i^2}{\sigma_i^2} \right)^2, \quad (11)$$

dengan J adalah jumlah pengulangan simulasi data, σ_i^2 dan $\hat{\sigma}_i^2$ masing-masing adalah daya derau yang asli dan daya derau hasil estimasi atau daya derau terestimasi. Jumlah pengulangan simulasi yang dilakukan adalah sebanyak 1000 kali. NMSE menunjukkan nilai error atau kesalahan dari hasil

estimasi dengan menghitung selisihnya dan dinormalisasi dengan dibagi oleh nilai daya derau asli.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

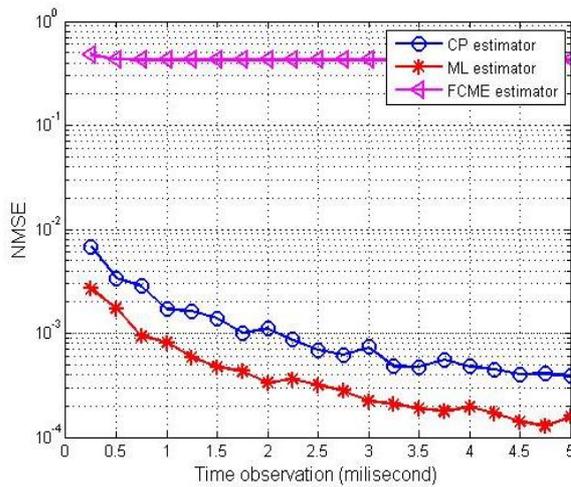
Setelah proses persiapan simulasi telah selesai, maka simulasi dilakukan dengan mempertimbangkan beberapa parameter yang bervariasi. Proses simulasi juga mempertimbangkan berapa banyak iterasi yang dilakukan. Pada penelitian ini dilakukan iterasi sebanyak lebih dari 1000 kali untuk tiap simulasi, sehingga menghasilkan hasil yang mendekati nilai yang akurat dan sebenarnya. Hasil simulasi disajikan dengan dua macam grafik. Yang pertama adalah grafik NMSE dengan waktu observasi yang bervariasi pada sumbu aksisnya. Yang kedua adalah grafik NMSE dengan variasi SNR pada sumbu aksisnya.

Pada Gambar 2 terdapat grafik dari ketiga estimator pada SNR = -20 dB. Pada *Maximum Likelihood-estimator*, semakin lama waktu observasinya, maka nilai NMSE semakin kecil. Hal ini sesuai dengan teori bahwa semakin banyak simbol, semakin banyak sampel yang dapat digunakan untuk estimasi sehingga menghasilkan estimasi daya derau yang lebih akurat. Jumlah simbol juga berhubungan dengan lama waktu observasi. Semakin lama waktu observasinya, estimasi dayanya menjadi lebih akurat dan mendekati hasil yang sebenarnya.

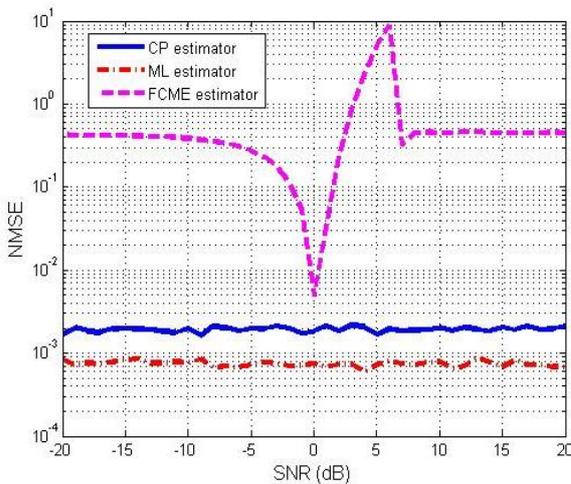
Begitu pula dengan *Cyclic Prefix-estimator*, memiliki karakteristik yang sama dengan *Maximum Likelihood-estimator* akan tetapi memiliki nilai NMSE yang sedikit lebih tinggi. Nilai NMSE untuk kedua estimator tersebut berkisar antara $10^{-4} < NMSE < 10^{-2}$. Nilai tersebut menunjukkan error yang sangat kecil sehingga dapat diartikan bahwa hasil estimasi derau kedua estimator tersebut memiliki nilai yang hampir serupa dengan nilai asli derau.

Sedangkan pada *FCME-estimator*, performanya cenderung konstan untuk semua waktu observasi. Estimator ini memiliki performa yang paling buruk diantara ketiganya, ditunjukkan dengan nilai berada di kisaran $NMSE = 0,5$.

Pada Gambar 3 ditunjukkan grafik perbandingan NMSE terhadap SNR pada waktu observasi $T_{obs} = 1$ ms. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa *Maximum Likelihood-estimator* dan *Cyclic Prefix-estimator* memiliki nilai yang cenderung konstan terhadap perubahan SNR, walaupun performa *Cyclic Prefix-estimator* sedikit lebih buruk. Sedangkan *FCME-estimator* memiliki nilai yang berfluktuasi terutama pada kisaran $-7 \text{ dB} \leq SNR < 7 \text{ dB}$.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Algoritma Estimasi Derau, NMSE Terhadap Waktu Observasi Pada SNR = -20 dB



Gambar 3. Grafik Perbandingan Algoritma Estimasi Derau, NMSE Terhadap SNR Pada $T_{obs} = 1$ ms

Hal ini menunjukkan bahwa *Maximum Likelihood-estimator* dan *Cyclic Prefix-estimator* memiliki ketahanan yang kuat terhadap segala kondisi SNR, baik pada kondisi dengan SNR yang tinggi ataupun pada kondisi SNR yang rendah dimana daya derau lebih tinggi daripada daya sinyal transmisi. Sedangkan fenomena yang terjadi pada *FCME-estimator* disebabkan oleh gagalnya *estimator* tersebut untuk membedakan antara daya derau dan daya sinyal pada kisaran SNR yang berfluktuasi. Sehingga *FCME estimator* merupakan *estimator* yang tidak memiliki ketahanan terhadap SNR.

Dari hasil grafik dapat diamati bahwa *Maximum Likelihood-estimator* memiliki performa yang paling bagus diantara ketiganya, dan *FCME-estimator* adalah yang paling buruk. Akan tetapi, *Cyclic Prefix-estimator* masih dapat diperhitungkan pula untuk diaplikasikan bersama dengan *spectrum sensing* pada sistem radio kognitif.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan estimasi derau tanpa menggunakan informasi sinyal transmisi atau disebut juga dengan *blind noise estimation*. Dari hasil tinjauan pustaka dipilih tiga *estimator*, yaitu *Maximum Likelihood-estimator*, *Cyclic Prefix-estimator*, dan *FCME-estimator*. Berdasarkan hasil simulasi yang dituangkan dalam grafik, didapatkan bahwa nilai NMSE *Maximum Likelihood-estimator* memiliki nilai yang lebih rendah dibanding yang lainnya, *Cyclic Prefix-estimator* yang kedua dan *FCME-estimator* memiliki hasil yang paling buruk. Apabila hanya membandingkan hasil performa, maka algoritma estimasi yang paling baik dan memiliki hasil yang paling akurat secara berurutan adalah *Maximum Likelihood-estimator* dan *Cyclic Prefix-estimator*. Sedangkan *FCME-estimator* tidak direkomendasikan.

B. Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk membandingkan dari sisi kompleksitasnya. Hasil perbandingan ini menghasilkan suatu rekomendasi untuk langkah selanjutnya yaitu menggabungkan algoritma estimasi derau dengan algoritma deteksi spektrum atau *spectrum sensing* pada sistem radio kognitif. Daya derau terestimasi digunakan sebagai masukan untuk menentukan nilai ambang untuk pendeteksian pada metode *energy detection*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Mitola and J. Maguire G. Q., "Cognitive radio: making software radios more personal," *IEEE Pers. Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 13–18, Aug. 1999.
- [2] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 23, no. 2, pp. 201–220, Feb. 2005.
- [3] Boumard, S. (2003). Novel noise variance and SNR estimation algorithm for wireless MIMO OFDM systems (pp. 1330–1334). IEEE. <http://doi.org/10.1109/GLOCOM.2003.1258454>
- [4] Mariani, A., Giorgetti, A., & Chiani, M. (2011). Effects of Noise Power Estimation on Energy Detection for Cognitive Radio Applications. *IEEE Transactions on Communications*, 59(12), 3410–3420. <http://doi.org/10.1109/TCOMM.2011.102011.100708>
- [5] Socheleau, F.-X., Aissa-El-Bey, A., & Houcke, S. (2008). Non data-aided SNR estimation of OFDM signals. *IEEE Communications Letters*, 12(11), 813–815. <http://doi.org/10.1109/LCOMM.2008.081134>
- [6] Sharma, S. K., Chatzinotas, S., & Ottersten, B. (2013). Eigenvalue-Based Sensing and SNR Estimation for Cognitive Radio in Presence of Noise Correlation. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 62(8), 3671–3684. <http://doi.org/10.1109/TVT.2013.2260834>

- [7] Papoulis, A., & Pillai, S. U. (2002). *Probability, Random Variables and Stochastic Processes* (4th edition). McGraw-Hill Europe.
- [8] Saarnisaari, H. (2004). Consecutive mean excision algorithms in narrowband or short time interference mitigation. In *Position Location and Navigation Symposium, 2004. PLANS 2004* (pp. 447–454). <http://doi.org/10.1109/PLANS.2004.1309028>
- [9] Vartiainen, J., Saarnisaari, H., Lehtomaki, J. J., & Juntti, M. (2006). A Blind Signal Localization and SNR Estimation Method. In *IEEE Military Communications Conference, 2006. MILCOM 2006* (pp. 1–7). <http://doi.org/10.1109/MILCOM.2006.302007>
- [10] E. Standard, “Digital Audio Broadcasting (DAB); Internet Protocol (IP) datagram tunnelling,” 2000.