DETEKSI SINYAL *SPECTRUM SENSING* MENGGUNAKAN NILAI EIGEN PADA *COGNITIVE RADIO*

SPECTRUM SENSING SIGNAL DETECTION USING EIGEN VALUE FOR COGNITIVE RADIO

Balthazar Isra [1], Dr. Ir. Rina Pudji Astuti. M.T[2], Afief Dias Pambudi, S.T., M.T[3]

[1,23]Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Bandung
[1]israbalthazar@gmail.com, [2]rinapudjiastuti@telkomuniversity.ac.id, [3] afiefdiaspambudi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Cognitive Radio adalah sebuah sistem yang dapat memahami lingkungan komunikasinya dan dapat mengatur parameternya secara optimal dalam melakukan proses komunikasi. Dengan teknologi ini *Secondary User* dapat mengisi lubang spektrum *Primary User* yang sedang tidak digunakan tanpa mengakibatkan interferensi. Salah satu fungsi utama dari *Cognitive Radio* adalah *Spectrum Sensing*. Fungsi inilah yang akan mendeteksi semua lubang spektrum agar bisa dipakai nantinya. Salah satu metode *spectrum sensing* ini adalah Deteksi Energi. Tetapi karena Deteksi Energi masih sensitif dengan ketidakpastian noise maka dibutuhkan metode lain untuk menunjang performansi metode ini, yaitu dengan menggunakan Nilai Eigen.

Pada jurnal ini akan menganalisis kinerja dan membandingkan dua metode yaitu, Deteksi Energi menggunakan Nilai Eigen. Sinyal *Primary User* akan dibangun menggunakan OFDM yang nantinya akan ditransmisikan melalui kanal yang terdistribusi oleh hamburan *Rayleigh* dan ditambahkan oleh *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Setelah itu sinyal yang diterima oleh *secondary user* (SU) denga menggunakan *single detector* yang setelahnya disampling dengan jumlah sampel untuk dihitung Nilai Eigen dari matriks tersebut tersebut. Kemudian akan dibandingkan kinerja deteksi kedua metode tersebut menggunakan Kurva *Receiver Operating Characteristic* (ROC). Kinerja dari Metode Nilai Eigen akan terus meningkat bila menggunakan jumlah antenna 16 ataupun 32. Bila Semakin besar nilai Signal-to-Noise Ratio (SNR). SNR 0 dB akan mempunyai deteksi lebih bagus dibandingkan SNR -8dB

Kata kunci **:***Cognitive Radio*, OFDM, Deteksi Energi, *Spectrum Sensing*, *Threshold*, Nilai Eigen.

Abstract

Cognitive Radio is a system that can understand the communication environment and can set parameters optimally in the communication process. With this technology Secondary Users can fill the Primary User spectrum holes that are not in use without causing interference. One of the main functions of Cognitive Radio is Spectrum Sensing. This function will detect all spectrum holes for later use. One of these spectrum sensing methods is Energy Detection. But because Energy Detection is still sensitive with noise uncertainty then another method is needed to support the performance of this method, that is by using Eigen Value.

In this journal will analyze the performance and compare the two methods namely, Energy Detection using Eigenvalues. The Primary User signal will be built using OFDM which will be transmitted via a channel distributed by Rayleigh scattering and added by Additive White Gaussian Noise (AWGN). After that the signal received by the secondary user (SU) premises using a single detector which afterwards sampled with the number of samples for the calculated Eigenvalues of the matrix. It will then compare the detection performance of both methods using the Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve. The performance of the Eigen Value Method will continue to increase when using the more antennas, like 16 or 32. If the Signal-to-Noise Ratio (SNR) value is higher, thus making the probability of detection better. SNR of 0 dB will have better detection than -8 dB.

Keyword :Cognitive Radio, OFDM, Energy Detector, Spectrum Sensing, Threshold, Eigen Value

1. Pendahuluan

Cognitive Radio adalah sebuah sistem yang dapat memahami lingkungan komunikasinya dan dapat mengatur parameternya secara optimal dalam melakukan proses komunikasi [1]. Teknologi ini memungkinkan SU untuk mendeteksi lubang spektrum dan mendudukinya secara sementara. Untuk mengatasi masalah interferensi dengan PU, sistem pada *cognitive radio* dapat mendeteksi secara periodik bila ada aktivitas PU di daerah tersebut [2].

Fungsi utama *cognitive radio* adalah *spectrum sensing*. *Spectrum sensing* berfungsi untuk mendeteksi lubang spektrum dan mendudukinya tanpa menimbulkan interferensi ke PU [2]. Salah satu metode dari *spectrum sensing* ini adalah Deteksi Energi [2]. Tetapi karena Deteksi Energi sensitif terhadap ketidak pastian *noise*, maka dibutuhkan metode yang diharapkan dapat tahan dengan ketidak pastian *noise* tersebut [3].

Pada penelitian, akan dirancang metode *spectrum sensing* yang berbabasis Nilai Eigen dari sinyal yang diterima. Pada Tugas Akhir ini akan membangkitkan sinyal PU dengan OFDM. Sinyal ini akan ditransmisikan melewati sebuah kanal Rayleigh yang ditambahkan oleh *Additive White Gaussian Noise* (AWGN). Setelah sinyal tersebut diterima di *single detector*, maka akan dibandingkan hasil deteksi sinyal dari Nilai Eigen dan Deteksi Energi dengan menggunakan Kurva *Receiver Operating Characteristic* (ROC).

2. Konsep Dasar *Spectrum Sensing* dan *Cognitive Radio*

2.1 Cognitive Radio

Cognitive Radio adalah sebuah sistem nirkabel cerdas yang dapat memahami lingkungan komunikasi dan dapat mendeteksi lingkugan spektral pada frekuensi yang luas dan dapat mengeksploitasi spektrum frekuensi yang sedang tidak dipakai agar bisa digunakan dalam waktu tertentu [4]. *Cognitive Radio*(CR) dapat mendeteksi lingkungan spektrum dari berbagai variansi *bands frequency* dan dapat menduduki kanal kosong yang tidak terpakai oleh *Primary User* (PU) [5]. Primary User didefinisikan sebagai pengguna yang memiliki hak dalam penggunaan spektrum frekuensi tertentu atau pengguna yang memiliki prioritas paling tinggi dalam penggunaan spektrum frekuensi [6]. Sedangkan *Secondary User* (SU) adalah pengguna yang tidak mempunyai hak untuk kepemilikan spektrum frekuensi atau pengguna yang memiliki tingkat prioritas lebih rendah daripada PU [6]. Maka dari itu *Cognitive Radio* harus dapat mendeteksi apakah spektrum frekuensi dari PU bisa digunakan atau tidak secara dinamis. Tujuan utama dari *Cognitive Radio* ini adalah mengoptimalkan pemakaian spektrum frekuensi [7].

2.2 OFDM

OFDM atau *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* adalah teknik *Multi-Carrier Modulation* untuk membagi frekuensi menjadi beberapa *sub-carrier* yang saling *orthogonal* [8]. Hal ini berfungsi untuk menghilangkan *guard band* dan mampu menaikkan efesiensi spektrum. OFDM merukapan teknik modulasi untuk memperbaiki kelemahan FDM atau *Frequency Division Multiplexing* [9].

Teknik ini mampu mencapai data *rate* tinggi dan mengurangi *multipath* fading dalam komunikasi *nirkabel* [9]. Sehingga data yang ditransmisikan akan memiliki kecepatan yang lebih tinggi. Karena itu OFDM dapat menanggulangi *multipath*, *delay spread*, dengan lebih baik dibandingkan sistem lain. Selain itu OFDM dapat beradaptasi dengan *data rate* sesuai dengan signal-to-noise (SNR) tertentu [10].

2.3 Spectrum Sensing

Spectrum sensing merupakan bagian penting pada *Cognitive Radio* [2]. Fungsi dari *spectrum sensing* adalah mendeteksi apakah ada frekuensi yang tidak terpakai oleh *Primary User* (PU) yang nantinya akan digunakan oleh *Secondary User* (SU). *Spectrum sensing* memungkinkan SU dengan kapabilitas CR untuk beradaptasi pada lingkungan komunikasi melalui deteksi spektrum, dan kemudian dapat berpindah ke lubang spektrum lain jika spektrum yang sedang diduduki dipakai kembali oleh PU. Hal ini dapat dicapai melalui kemampuan sensing di rentang frekuensi yang sangat lebar pada waktu nyata untuk mendeteksi sinyal dari PU.

Pada dasarnya ada tiga metode untuk mendeteksi lubang spektrum yaitu *matched filter*, *energy detector dan cyclostationary detection* [11]. Masing-masing metode memeliki kebutuhan yang berbeda. Contohnya pada *cyclostationary detection* membutuhkan pengetahuan *cyclic* dari PU yang kompleks [3] dan pada *matched filter* dibutuhkan pengetahuan tentang bentuk gelombang maupun kanal dari PU itu sendiri [12]. Pada Deteksi Energi tidak dibutuhkan infromasi sinyal yang akan dideteksi, tetapi Deteksi Energi sangat bergantung dengan ketetapan *noise*. Bila *noise* berubah-rubah, atau tidak tetap maka akan menimbulkan *false alarm* [13]. Maka dari itu metode ini sangat rentan dengan ketidakpastian *noise*. Untuk mengatasi hal ini maka dirancang metode baru dengan menggunakan Nilai Eigen. Dapat ditunjukkan bahwa rasio nilai maksimum dengan nilai minimum eigen dapat mendeteksi keberadaan sinyal [14]. Metode ini mempunyai kelebihan dibanding Deteksi Energi untuk mengatasi ketidakpastian *noise*.

2.4 Metode Deteksi Energi

Deteksi Energi merupakan salah satu dari metode *spectrum sensing* dalam teknologi *Cognitive Radio* (CR) untuk mendeteksi apakah frekuensi sedang digunakan atau tidak oleh *Primary User* (PU). Deteksi Energi digunakan untuk menentukan bila kanal terisi (H_1) atau kosong (H_0) [15].

Untuk menggunakan metode ini, butuh diketahui nilai dari *signal power* dan juga *noise power* menggunakan fungsi [1]:

$$E = \sum_{n=1}^{N} |x(n)^2| \qquad (1)$$

N= Jumlah Sample

Persamaan berikut hanya bisa diaplikasikan ketika antenna penerima hanya satu. Pada dasarnya deteksi ini mengikuti parameter jumlah data sinyal keluaran kanal, sehingga semakin bayak data maka metodi ini akan semakin akurat.

Pada Tugas Akhir ini Deteksi Energi akan menggunakan banyak n_R yang bervariasi. Konfigurasi kanal juga akan berubah sehingga dapat mendeteksi banyak antenna penerima. Maka dari itu fungsi (1) akan berubah menjadi fungsi [1]:

$$E = \sum_{I=1}^{k} \sum_{n=1}^{N} |x_i(n)^2| \qquad (2)$$

K= Jumlah Antenna

N= Jumlah Sampel

Tentu saja metode ini mempunyai kelemahan yaitu, *detector* harus mempunyai sensitifitas tinggi mengenai keakuratan *noise*. Pada teoriya estimasi *noise* yang akurat akan membuat *detector* berfungsi dengan baik. Tetapi pada prakteknya *noise power* tidak selalu tetap atau mengalami perubahan (*uncertainty noise*). Maka dari itu harus dirancang metode yang tidak sensitif terhadap ketidakpastian *noise* tersebut.

2.5 Metode *Eigen Value*

Karena terdapat kekurangan yang terdapat di Deteksi Energi untuk mengatasi kekurangannya, dibentuk metode baru berdasarkan Nilai Eigen, yang dimana perbedaan antara Nilai Eigen, sinyal dan *noise* tersebut digunakan untuk membedakan tiga komponen.

Dalam prakteknya, hanya ada sejumlah sinyal sampel. Oleh karena itu, metode deteksi didasarkan pada hasil dari Nilai Eigen. Deteksi yang dilakukan dalam Deteksi Energi menggunakan domain frekuensi sedangkan dalam deteksi Nilai Eigen yangdi simulasikan ada pada dalam domain waktu.

Domain waktu yang diterima, di mana s(n) adalah sinyal pengguna utama dan w (n) adalah *white noise*. Asumsikan bahwa pada pita frekuensi dengan (fc) frekuensi pusat dan bandwidth (W). Sampel sinyal yang diterima di tingkat sampling fs, di mana fs ≥ W. Misalkan Ts = 1 / fs menjadi periode sampling.

H_1 melambangkan sinyal ada dan H_0 melambangkan tidak ada sinyal. Faktor tersebut yang membedakan saat sinyal berisi data yang dirikirm dan ketika sinyal hanya berisi *noise* [16].

$$H_0: x(n) = w\ (n) \tag{3}$$

$$H_1: x(n) = s(n) + w(n) \tag{4}$$

di mana s (n) adalah sampel sinyal yang telah ditransmisikan dan melewati saluran nirkabel yang terdiri dari path loss, multipath fading, dan efek waktu disperse. dan w (n) adalah white noise, yang merupakan i.i.d [16].

Matriks untuk Nilai Eigen sinyal dan *noise* didefinisikan sebagai [1]:

$$R_x = E\ [x(n)x^T(n)] \tag{5}$$

$$Rs = E\ [x(n)s^T(n)] \tag{6}$$

$$R_s = R_s + \sigma_n^2 I_l \tag{7}$$

Jika sinyal s (n) tidak ada, maka Rs = 0. Oleh karena itu, unsur-unsur off-diagonal dari Rx adalah semua nol. Jika ada sinyal dan sampel sinyal berkorelasi, Rs bukan matriks diagonal. Oleh karena itu, beberapa elemen off-diagonal dari Rx harus tidak nol. Lalu hasil diagonal matriks tersebut merupakan nilai maximum dan minimum eigen.

Dimana r_{mn} adalah elemen matriks R_x pada baris ke-m dan kolom ke-n Diinisialisaikan T = $\frac{Maximum\ Eigen}{Minimum\ Eigen}$, jika kanal kosong nilai T =1, lalu bila T>1 kanal sedang terisi . Maka dari itu, rasio T dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan sinyal *Primary User*.

2.6 Nilai Batas Ambang

Test statistik T merupakan variabel random yang mempunyai distribusi tertentu. Pada pendeteksian ini diperlukan *threshold* yang membedakan dimana daerah kanal kosong dan yang terisi. Maka digunakan pendekatan Neyman – Pearson untuk menentukan *threshold*.

2.7 Neyman-Pearson

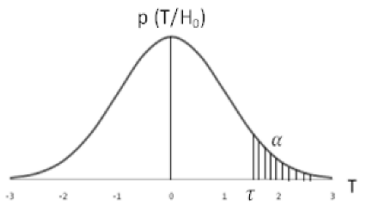
Pendekatan Neyman–Pearson mengharuskan *probability false alarm* (P_{fa}) ditentukan dengan fungsi ($P_{fa\ =}\ \alpha$). Berdasarkan nilai (P_{fa}) dan distribusi test statistik T pada kanal yang kosong(H_0), maka *threshold* (τ) agar bisa ditentukan [17]. Jika p(T/H_0) menandakan *probability density function* (Pdf) saat kanal kosong, maka fungsi distribusi P (T/H_0) saat kanal kosong adalah:

$$\mathrm{P}\ (\mathrm{t}/\mathrm{H}_0)\ = \int_{-\infty}^{T} \mathrm{p}(\mathrm{T}/\mathrm{H}_0)\ dT \tag{8}$$

Sehingga *threshold* (τ) dapat dicari dari persamaan:

$$\alpha = 1 - P\ (\tau/\mathrm{H}_0) \tag{9}$$

Hal ini diperlihatkan oleh gambar berikut [16]:



Gambar 1

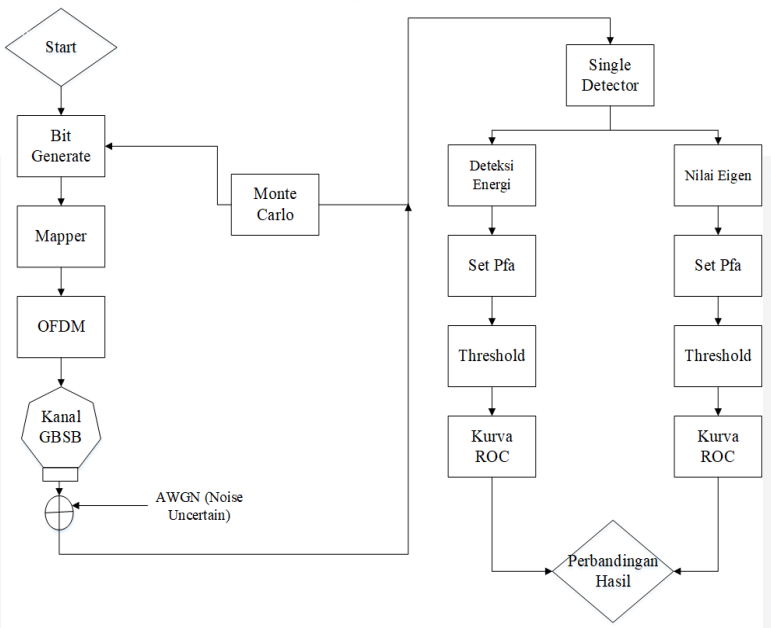
3. Perancangan Sistem *Spectrum Sensing* Pada *Cognitive Radio*

3.1 Pemodelan Sistem

Diagram alur diatas merupakan proses untuk simulasi Tugas Akhir ini. Proses pertama yang dilakukan adalah pembangkitan sinyal *Primary User* (PU). Tahap ini diawali dengan pembangkitan bit-bit secara random yang kemudian akan di mapper. Setelah itu, sinyal ini akan dibangkitkan dengan sinyal OFDM.

Sinyal PU yang sudah dibangkitkan ini akan ditransmisikan melalui kanal yang akan di tambahkan dengan *additive white gaussian noise* (AWGN). Kemudian setelah sinyal ini dideteksi pada *single detector Secondary User (SU)*, maka akan ada dua metode yang digunakan, yaitu metode Nilai Eigen dan Deteksi Energi. Akan dilakukan *monte carlo runs* sebanyak 1000x.

Kemudian, dua metode ini akan menjalankan proses yang sama, dari menetapkan nilai Pfa dan threshold. Setelah itu hasil deteksi bisa disimpulkan dengan membandingkan dua kurva *Receiver Operating Charateristic* (ROC).

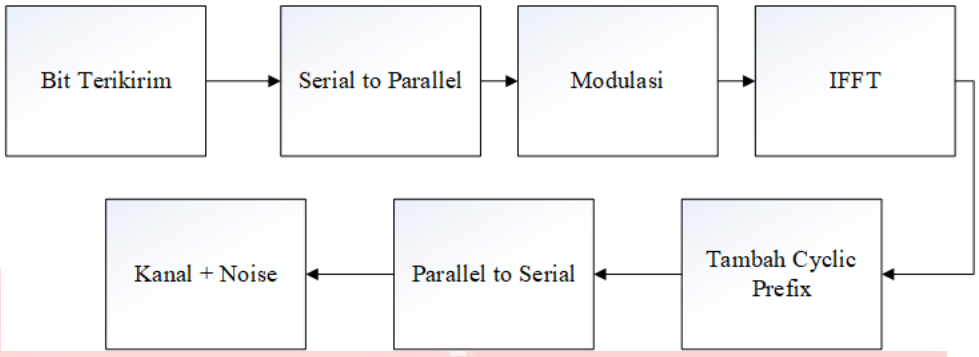


Gambar 2 Flowchart Perancangan sistem

3.2 Pembangkitan Sinyal

Sinyal yang akan dibangkitkan adalah sinyal OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) yang terkadang juga disebut *discrete multitone modulation* (DMT) OFDM berangkat dari ide dasar *frequency division multiplexing* (FDM), dimana setiap frekuensi subkanal membawa aliran data termodulasi saling tegak lurus *(orthogonal)* satu sama lainnya. Hal ini amat mempermudah desain pada sisi *transmitter* karena filter yang terpisah tidak diwajibkan untuk setiap subkanal. Sifat *orthogonal* juga menyediakan efisiensi spektral yang tinggi dimana spektrum frekuensi antar *subcarrier* dapat saling tumpang tindih selama sinyal subcarrier-nya saling orthogonal.

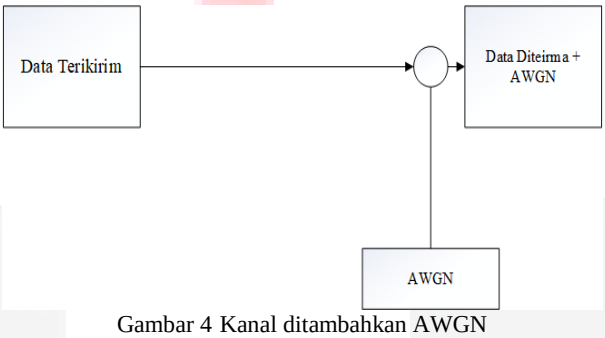
Deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk parallel. Setelah itu modulasi dilakukan pada tiap-tiap sub-carrier. Modulasi ini bisa berupa BPSK, QPSK, QAM atau yang lain, ketiga teknik ini sering digunakan pada OFDM. Kemudian sinyal yang telah termodulasi tersebut diaplikasikan ke dalam IFFT. Penggunaan IFFT ini memungkinkan pengalokasian frekuensi yang saling tegak lurus (orthogonal). Setelah itu ditambahkan cyclic prefix kemudian simbol-simbol OFDM dikonversikan lagi kedalam bentuk serial, kemudian sinyal dikirim. Sinyal keluaran dari trasnsmitter berupa sinyal yang saling *overlapping*. Kondisi *overlapping* ini tidak akan menimbulkan interferensi dikarenakan telah memenuhi kondisi orthogonal, sinyal keluaran tersebut masuk melalui kanal *rayleigh*.



Gambar 3 Model Sistem Pembangkitan Sinyal OFDM

3.3 Model Kanal

Kanal yang akan digunakan untuk tugas akhir ini adalah kanal *rayleigh* yang ditambahkan dengan AWGN (*Additive Gaussian Noise*) sebagai *noise* pengganggu. Kemudian hasil dari proses ini nanti akan dijadikan input untuk pendeteksian sinyal dengan menggunakan Nilai Eigen untuk tahap selanjutnya.

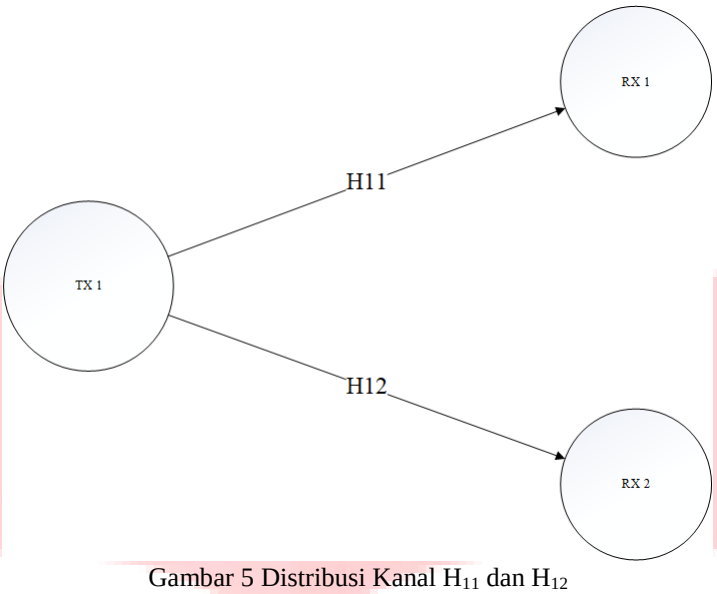


Gambar 4 Kanal ditambahkan AWGN

Dalam Tabel (3.1) digunakan aturan 802.11g IEEE karena merupakan standar pada daerah *sub urban*. Beberapa parameter seperti laju symbol, data rate, frekuensi pembawa, dan jarak antenna menggunakan atura 802.11 IEEE. Sedangkan parameter-parameter lainnya seperti jumlah penghambur, radius lingkaran, jumlah antenna, dan *runs delay speed* sudah ditentukan.

Tabel 1 Parameter Kanal GBSB Sirkular

PARAMETER	Kanal GBSB SIRKULAR	Keterangan
Laju Simbol (SR)	3.2 Msps	(802.11 g)
Data Rate	9 Mbps	(802.11 g)
Frekuensi Pembawa (Fc)	2.4 GHz	(802.11 g)
Jarak Antena Tx - Rx	38 m (Indoor)	(802.11 g)
Radius Lingkaran (R)	$R = \frac{c}{6SR} = 16$ m	
Rms Delay Spread	$0.0924\ x \frac{1}{SR}$	
Jumlah Antena Rx	2, 4, 8, 16, 32	Ditentukan



Gambar 5 Distribusi Kanal H_{11} dan H_{12}

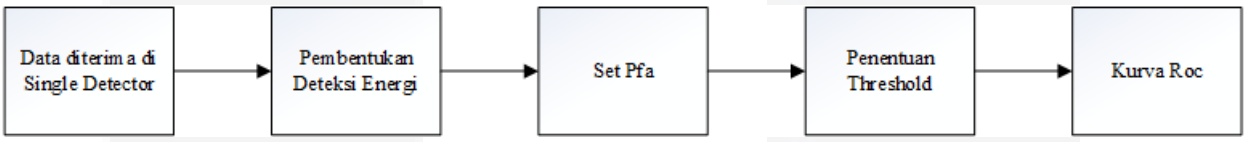
3.4 Signal-to-Noise Ration (SNR)

SNR adalah teknik yang dipakai untuk membandingkan tingkat sinyal dan noise yang diinginkan [11]. Berdasarkan standarisasi IEEE, rentang rasio SNR yang diizinkan untuk sistem CR mulai dari 0 dB hingga -20dB. Pada Tugas Akhir ini sistem CR akan diujikan dengan nilai SNR yang berbeda – beda. Pada SNR, semakin besar nilainya maka akan semakin terlihat perbedaan dari kanal kosong dan kanal terisi. Untuk membuktikkanya bisa terlihat dengan rumus [16]:

$$H_0: x\,(n) \;=\; w\,(n) \qquad (10)$$

$$H_1: x\,(n) \;=\; s\,(n) \;+\; w\,(n) \qquad (11)$$

3.5 Deteksi Energi



Gambar 6 Tahap-tahap Penentuan Threshold dan Kurva ROC menggunakan Deteksi Energi

3.6 Pembentukan Nilai Eigen

Gambar 7 Tahap-tahap Penentuan Threshold dan Kurva ROC menggunakan Nilai Eigen

3.7 Deteksi

Setelah didapatkan distribusi nilai statistik (T), maka nilai *threshold* (τ) pada *detector* dapat dihitung. Agar sistem dapat menentukan H_0 (kanal kosong) dan H_1 (kanal terisi) diperlukan *threshold*. Nilai *threshold* dapat dicari menggunakan pendekatan Neyman – Pearson (NP) untuk menentukan *threshold* tersebut. *Probability false alarm* (P_{fa}) ditentukan terlebih dahulu dengan harga ($P_{fa} = \alpha$). Dalam (NP) misalkan nilai α diatur sebesar 5%. Setelah itu *threshold* (τ) diperoleh dari distribusi T saat kanal kosong. Setelah itu dibutuhkan proses untuk mencari nilai dari Pfa yang nantinya digunakan untuk menentukan P_d. Contohnya dengan total dari 1000 data yang didapat pada bit generate, maka dengan menggunakan P_{fa} yang diatur sebesar 5% maka data ke 955 dari distribusi noise merupakan threshold, Banyaknya data yang melampaui nilai *threshold* dirata-ratakan dengan banyaknya *monte carlo runs* yang digunakan. Setelah itu didapatkan `nilai P_d. Bila semua proses tersebut udah selesai, dibentuk kurva ROC untuk melihat performansi dari *spectrum sensing*. Untuk mencari nillai T dapat menggunakan fungsi [1]:

$$T = \frac{Maximum\ Eigen}{Minimum\ Eigen} \qquad (12)$$

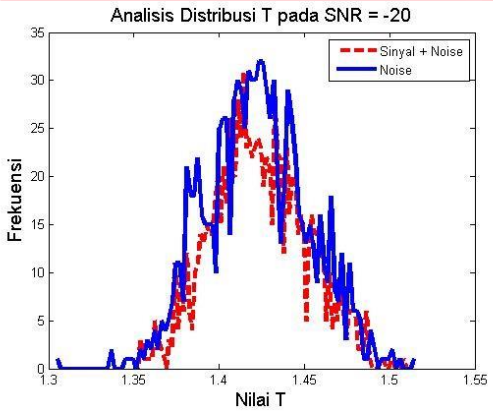
4. ANALISIS HASIL

4.1 Analisis Nilai Eigen

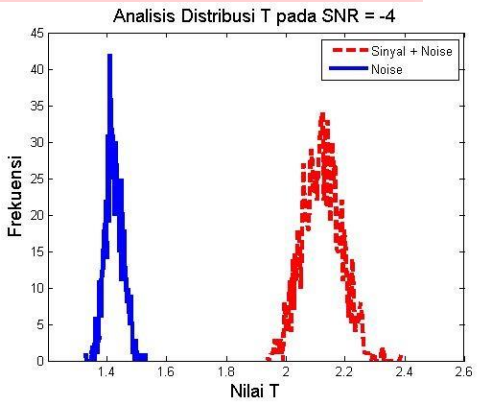
Nilai Eigen merupaka salah satu metode dalam *spectrum sensing* pada *cognitive radio*. Pada penentuan distribusi H_0 dan H_1 menggunakan persamaaan (3) – (4). Beberapa variabel terhadap dalam pengujian metode deteksi Nilai Eigen ini, sebagai berikut:

1. SNR (Signal to Noise Ratio).
2. Jumlah Antena Penerima pada CR User.

4.1.1 Analisis Berdasarkan SNR



Gambar 8 Distribusi T pada SNR -20dB

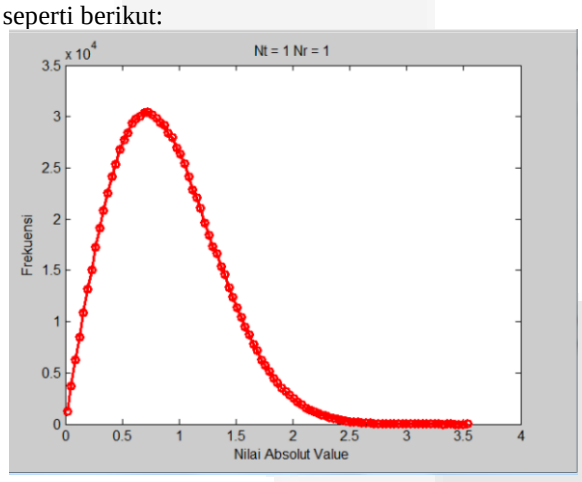


Gambar 9 Distribusi T pada SNR -4dB

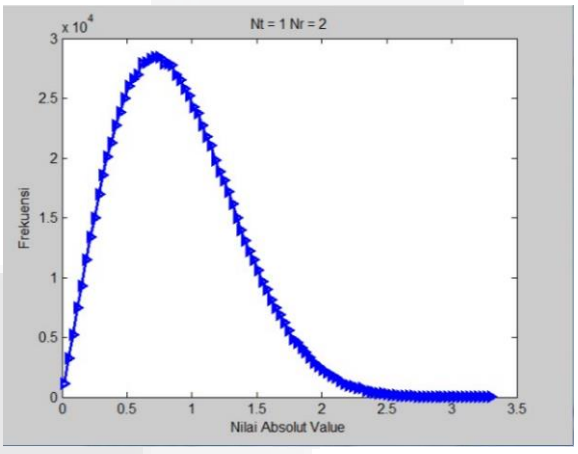
Pada analisis gambar diatas, saat SNR bernilai -20dv nilai T menunjukan bahwa sinyal masih *overlapping*. Pada SNR bernilai -4 dB menunjukan bahwa ada perubahan antara sinyal dan *noise* pada distribusi *noise(*$H_{0)}$ dan Sinyal + Noise ($H_{1)}$. Perubahan ini ditunjukkan dengan pergeseran antara distribusi H_0 dan H_1. Kondisi ini juga diperkuat dengan pergesaran pada SNR -10 dan SNR -4 dB yang menunjukan indikasi bahwa kerja *detector* semakin baik

4.1.2 Analisis Jumlah Antena Penerima pada *Cognitive Radio User*

Pada bab 3 disebutkan bahwa path gain kanal distribusi Rayleigh dan fasa kanal uniform. Hasil simulasinya seperti berikut:

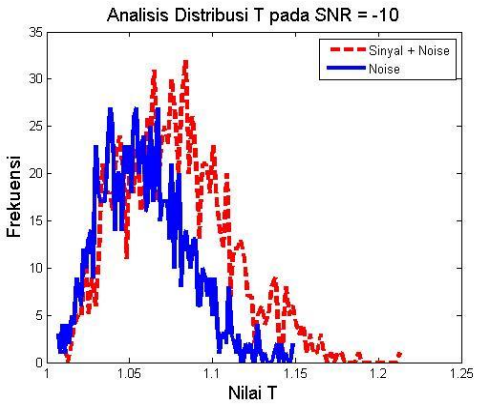


Gambar 10 distribusi H_{11}

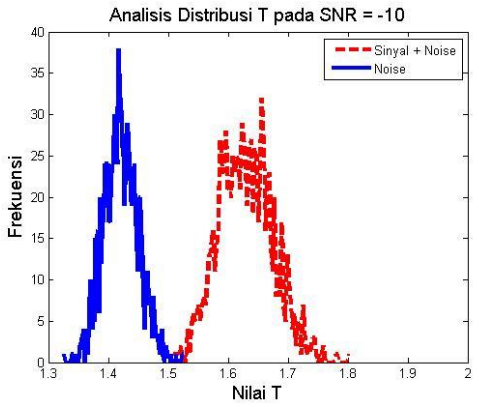


Gambar 11 Distribusi H_{12}

Setelah itu, simulasi akan dilanjutkan dengan pengujian pengaruh kinerja detektor dengan n_R pada CR user. Simulasi menggunakan variasi jumlah antenna (n_R) 2 dan 16 dengan menggunakan SNR = -10 dB. Hal ini untuk menguji kinerja dari detector dalam berbagai macam jenis jumlah antenna bekerja pada nilai SNR yang sama. Hasil simulasi adalah sebagai berikut:



Gambar 12 Distribusi T ketika n_R 2

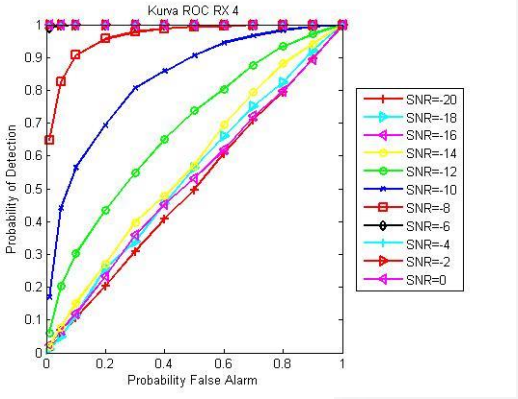


Gambar 13 Distribusi T ketika n_R 16

Pada Gambar 4.5 memperlihatkan sinyal masih overlapping saat jumlah antenna 2.Gambar (4.6) ketika jumlah antenna 16 menunjukan perubahan distribusi kanal sinyal + noise (H_1). Perubahan ditandai dengan pergeseran distribusi H_1 dengan perubahan variasi n_R. Perubahan terjadi karena rasio Nilai Eigen semakin besar. Faktor ini disebabkan karena jumlah Eigen sama dengan jumlah antenna yang digunakan. Ketika jumlah antenna ada 8, maka jumlah Nilai Eigen juga ada 8 untuk masing-masing sinyal dan noise. Rentang nilai noise tidak akan begitu jauh, sedangkan nilai sinyal akan berubah-ubah karena indipenden.

4.2 Analisis Kurva ROC

Kurva Receiver Operating Charateristic (ROC) berfungsi untuk merepresentasikan hasil kerja dari *spectrum sensing* yang berbasis Nilai Eigen. Kurva ini dapat membandingkan perbedaan dari nilai p_{df} dan p_d yang sudah diatur nilainya (5%) dan juga melewati kanal GBSB. Berikut adalah hasil simulasi:



Gambar 14 Hasil Simulasi Kurva ROC

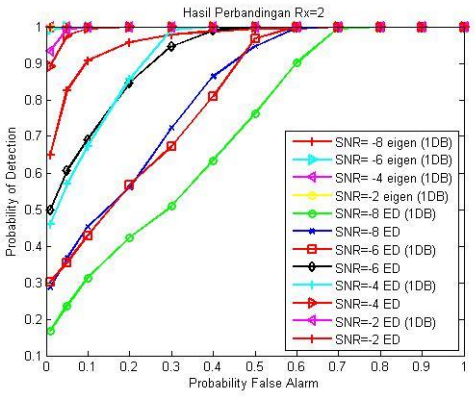
Pada gambar 4.2 menurut hasil ROC yang di dapatkan, dapat dikatakan bahwa pada saat probabilitas of Alarm (pfa) diatur 0.5%, terlihat pada SNR -20 sampai SNR -14 masih belum terjadi pergeseran yang signifikan. Pergeseran yang signifikan terlihat dimulai pada saat SNR -12 hingga SNR 0, yang berarti nilai Pd pada saat rentang SNR -20 sampai -14 tidak sebaik saat di SNR -12 hingga SNR 0. Hal ini disebabkan karena dengan semakin besar nilai SNR, maka interferensi yang terjadi juga semakin kecil, sehingga kerja *detector* dalam mendeteksi kanal akan lebih akurat.

4.3 Analisis Kurva ROC Perbandingan Nilai Eigen dan Deteksi Energi

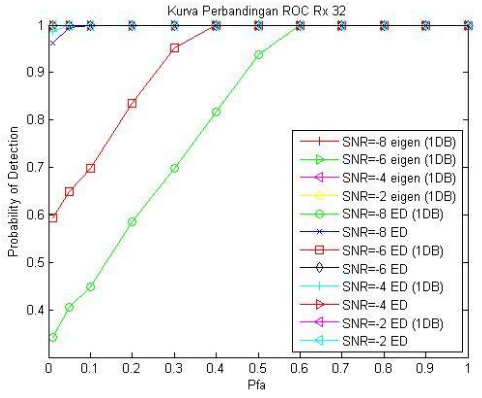
Kelemahan pada deteksi energi adalah rentan dengan ketidakpastian *noise*. Karena itu dirancang metode Nilai Eigen agar bisa mengatas permasalahan yang dialami dengan Deteksi Energi. Pada percobaan ini, penulis akan membandingkan hasil performansi dari Deteksi Energi dan Nilai Eigen terhadap ketidakpastian *noise.*

4.3.1 Analisis Ketidakpastian Noise

Pada analisis ini, bisa dilihat perbadaan performansi dari kedua metode. Metode Deteksi Energi sangat rentan terhadap *noise* sehingga hasilnya tidak maksimal, dimana Nilai Eigen dapat menunjukkan hasil yang lebih baik karena sensitif terhadap *noise.* Kurva ROC dibawah merupakan hasil dari perbedaan Nilai Eigen dan Deteksi Energi dengan jumlah antenna (nr) 2 dan 32. *Uncertain Noise* masing-masing adalah 1 dB dimana batas atas dan bawah nya adalah ½ dari nilai SNR.



Gambar 15 Hasil Perbandingan Kurva ROC nR 2



Gambar 16 Hasil Perbandingan Kurva ROC nr 32

Pada kurva ROC 4.8, dapat dilihat *Probability of Detection* (P_d) pada Nilai Eigen lebih besar, menegaskan bahwa ketidakpastian *noise* tidak banyak berpengaruh pada metode ini. Berbeda dengan metode Deteksi Energi yang mengalami perubahan *noise power*, menyebabkan *probability detection* lebih kecil sehingga kinerja dari metode tersebut tidak maksimal. Kurva ROC diatas juga menunjukkan bahwa semakin banyak antenna penerima (nr) maka semakin bagus nilai pula $P_{d.}$ Sedangkan saat jumlah antenna ada 32, pada kurva ROC 4. 9, bisa disimpulkan bahwa semakin banyak jumlah antenna maka akan semakin stabil pula nilai Pd Nilai Eigen.Pada teorinya *Secondary User* membutuhkan nilai Pd yang stabil, tetapi pada Deteksi Energi sulit untuk menentukan *threshold* yang berbeda. Dikarenakan perubahan *Probabilty false alarm* (P_{fa}). Sehingga harga P_d pada Deteksi Energi berubah-ubah.

5.1 Kesimpulan

1. Besarnya nilai SNR mempengaruhi kinerja dari Nilai Eigen, dimana semakin besar nilai SNR akan meyebabkan rasio sinyal lebih besar dari pada *noise*, sehingga membuat sinyal dapat diketahui dan tidak tertimpa oleh *noise*. Pada Kurva ROC dapat dilihat, SNR -2dB mempunyai deteksi yang lebih baik dibanding -8 dB. Hal ini mempermudah *detector* dalam mendeteksi sinyal.
2. Jumlah antena (n_R) pada *Cogintive Radio* (CR) *user* juga mempengaruhi kinerja *detector*. CR user yang menggunakan n_R 32 akan mempunyai probabilitasi deteksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan 8. Jumlah n_R banyak membuat bentuk rasio Nilai Eigen semakin besar. Sehingga, distribusi H_1 bergeser jauh dari distribusi H_0 dibandingkan menggunakan n_R kecil.
3. Kanal *Geometrically Based Single Bounce* (GBSB) Sirkular lebih unggul mendeteksi karena penghambur hanya terdapat dalam jangkauan antena penerima (n_R) tetapi tidak dengan antenna pengirim.
4. Kurva *Receiver Operating Characteristic* (ROC) mempuyai jumlah sample data yang sama untuk menjadi indikator pengaruh banyak nya antenna berpengaruh pada kinerja Metode Eigen.
5. Deteksi Energi bekerja dengan baik apabila nilai *Signal-to-Noise* (SNR) tetap. SNR yang tetap mebuat harga *noise power* konsisten sehingga P_{fa} dapat diatur tetap, membuat detector dapat mengatur threshold dengan sama.
6. Pada dunia nyata SNR tidak dapat diatur dengan tetap sehingga menyebabkan ketidakpastian *noise*. Hal ini merupakan faktor utama mengapa metode Deteksi Energi tidak dapat bekerja dengan baik karena *noise power* juga akan terpengaruhi dan berubah. Nilai Eigen dapat memebedakan sinyal dan noise dengan korelasi. Karena pada dasarnya *noise* tidak berkorelasi. Hal tersebut memmbuat Nilai Eigen tahan terhadap ketidakpastian *noise.* Dari faktor tersebut dan juga dari hasil simulasi menyimpulkan bahwa Nilai Eigen mempunyai kinerja yang lebih bagus dibanding Deteksi Energi.

5.2 Saran

1. Melakukan percobaan dengan model kanal lain seperti kanal GBSB Ellips.
2. Menggunakan metode *spectrum sensing* lain seperti *Method Filter* atau *Feature Detection.*

DAFTAR REFERENSI

[1] Zeng, YongHong; Liang, Ying-Chang, "Eigenvalue-Based Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio," *IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, VOL. 57, NO. 6,*, p. 1, 2009.

[2] Mitola, John; Maguire, Q. G;, "Cognitive radios: making software radios more personal," *IEEE Personal Commun., vol. 6, no. 4,* pp. 13-18, 1999.

[3] A. S. a. D. Cabric, Spectrum sensing: fundamental limits and practical challenges, Baltimore, 2005.

[4] M. L. Benitez, Methodological Aspects of Spectrum Occupancy Evaluation in the Context of Cognitive Radio, Spain: European Wireless, 2009.

[5] S. Haykin, "“Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," *IEEE Trans Commun,* vol. 23, no. 2, 2005.

[6] D. Cabric, S. M. Mishra, D. Willkomm, R. Brodersen, and A. Wolisz, "A cognitive radio approach for usage of virtual unlicensed spectrum," in *Proc. 14th IST Mobile Wireless Commun. Summit*, 2005.

[7] S. S. Company, "Experimental Measurement on Chicago," 2006.

[8] T.-D. Chiueh and P.-Y. Tsai, OFDM Baseband Receiver Design for Wireless Communication, Siangapore: John Wiley & Sons Pte Ltd., 2007.

[9] E. Firdaus, Analisa Performansi Sistem MIMO – OFDM pada Wireless LAN, 2005.

[10] E. Lawyer, The suitability of OFDM as a Modulation Technique for Wireless Telecommunication with a CDMA Comparison, 1997.

[11] F. Jondral, Software-Defined Radio _ Basic and Evolution to Cognitive Radio, EURASIP J. Wireless Communication and Networking, 2005.

[12] T. Yucek, "A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications," *IEEE Communication Surveys & Tutorials,,* vol. 11, no. 1, 2009.

[13] I. M. Johnstone, "On the distribution of the largest eigenvalue in principle components analysis," *Annals Statistics*, vol. 29, no. 2, 2001.

[15] H. Urkowitz, "Energy detection of unknown deterministic signals," *Proc. IEEE,* vol. 55, pp. 523-531, 1967.

[16] S. M. Kay, "Fundamental of Statistical Signal Processing Volume," vol. 2, New Jersey, 1998, pp. 22-50.