

# PENGARUH WAKTU *SENSING* TERHADAP KINERJA *THROUGHPUT* DALAM SISTEM *COGNITIVE RADIO NETWORK* YANG BERBASIS MATRIKS KOVARIANSI

## *THE IMPACT OF SENSING TIME TO THROUGHPUT PERFORMANCE IN COGNITIVE RADIO NETWORK BASED ON COVARIANCE MATRIX*

Yohanes Dickson <sup>1</sup>, Dr. Rendy Munadi, S.T., M.T<sup>2</sup>, Hafidudin, S.T., M.T<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom Bandung

<sup>1</sup>dicksonapit@gmail.com, <sup>2</sup>rendymunadi@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>hafidudin@telkomuniversity.ac.id

### Abstrak

*Cognitive Radio* adalah sebuah teknologi baru yang memungkinkan *secondary user* (*unlicence*) bisa menggunakan spektrum *primer user* (*license*) setiap kali tersedia. *Spectrum sensing* ini sendiri dipengaruhi oleh waktu pendeteksian spektrum frekuensi *primer*, untuk menghindari adanya kesalahan deteksi. Semakin lama *sensing time* maka semakin akurat pula pendeteksian spektrum frekuensinya. Dengan demikian, kemungkinan terjadinya interferensi dari *secondary user* akan semakin kecil.

Pada jurnal dirancang sistem *cognitive radio* untuk mendeteksi sinyal PU yang berupa sinyal termodulasi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) dengan dua jenis noise yang berbeda. Proses dimulai dengan membangkitkan sinyal OFDM secara *random* dengan *sensing time* yang berbeda. Lalu ditambahkan *noise* yang memiliki daya tetap (*certain noise*) dan berubah-ubah (*uncertain noise*) kemudian masing-masing keluaran akan dijadikan sebagai masukan untuk sebuah proses *spectrum sensing* yang akan dilakukan dengan metode matriks kovariansi untuk mengetahui kinerja deteksi dengan kedua masukan tersebut yang berupa distribusi E.

Kata kunci : *Cognitive Radio*, OFDM, *Energy Detector*, *Covariance Matrix*, *Sensing time*

### Abstract

Cognitive Radio is a new technology that allows the secondary user (*unlicence*) can use the primary spectrum user (*license*) whenever available. *Spectrum sensing* is affected by the time of detection of the primary frequency spectrum, to avoid their detection error. The longer sensing time, the more accurate the detection of the frequency spectrum. Thus, the possibility of interference from the secondary user will be smaller.

In this paper, cognitive radio system will be designed to detect signals in the form of modulated signal PU *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) with two different types of noise. The process will start with randomly generate OFDM signal with the sensing time is different. then it will be added to the noise power remains (*Certain noise*) and changing (*uncertain noise*) and each output will be used as input or input to a process of spectrum sensing to be performed by the method of covariance matrix to determine the detection performance with a second input the form -an distribution *Keyword* : *Cognitive Radio*, OFDM, *Energy Detector*, *Covariance Matrix*, *Sensing time*

### 1. Pendahuluan

Cognitive Radio (CR) adalah sebuah teknologi yang bertujuan untuk efisien penggunaan spektrum dengan memungkinkan SU untuk mengakses spektrum frekuensi berlisensi, dengan kondisi melindungi PU dari interferensi membahayakan yang berasal dari SU [1]. Cognitive Radio (CR) pada prinsipnya mendeteksi spektrum frekuensi yang kosong atau dengan kata lain mampu menyadari kondisi lingkungan sekitarnya pada tempat dan waktu tertentu. Setelah spektrum frekuensi tertentu dideteksi, maka spektrum frekuensi yang kosong dapat digunakan untuk mentransmisikan informasi yang lain tanpa mengakibatkan interferensi pada PU

Pada penelitian ini, dilakukan pendeteksian sinyal berbasis Matrix Kovariansi, dimana PU menggunakan Ortogonal Frequency División Multiplexing (OFDM) dan kanal antara PU dan SU lalu dibandingkan dengan metode yang berbasis energi detektor. Pada dasarnya Deteksi Energi membutuhkan pengetahuan tentang noise power pada saat mendeteksi. Pada kenyataan noise power tidak selalu tetap karena terdapat ketidakpastian noise (*noise uncertainty*). Hal ini menyebabkan pendeteksian menggunakan metode Deteksi Energi tidak akurat. Karena adanya kekurangan yang terdapat pada Deteksi Energi, diusulkan metode baru berbasis Matriks Kovariansi Sinyal yang diterima.

### 2. Dasar Teori

#### 2.1 Cognitive Radio

Cognitive radio (CR) adalah sistem komunikasi nirkabel cerdas yang aktif mengenali kondisi lingkungan (dunia luar) dan mempelajari kondisi lingkungan tersebut untuk beradaptasi dengan mengubah parameter seperti daya pancar, frekuensi dan strategi modulasi. Semua hal tersebut dilakukan dalam kondisi real time [2]. Sistem komunikasi radio ini diperkenalkan oleh Joseph Mitola pada tahun 1999 [3]. Tujuan utama CR adalah untuk memaksimalkan penggunaan spektrum radio [4].

2.2 OFDM

Multi-Carrier Modulation (MCM) merupakan teknik yang digunakan untuk komunikasi data kecepatan tinggi. Prinsip dasar MCM adalah Frequency Division Multiplexing (FDM), namun FDM memiliki kelemahan, salah satunya efisiensi spektrum yang rendah karena membutuhkan penghalang (guard band) yang cukup lebar. Prinsip pembagian frekuensi menjadi beberapa sub-carrier yang saling orthogonal untuk menghilangkan guard band yang mampu meningkatkan efisiensi spektrum, prinsip ini kemudian dikenal dengan Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Teknik seperti ini mampu menghemat bandwidth kanal sistem komunikasi.

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) merupakan sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi (multicarrier) yang saling tegak lurus (orthogonal). 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.

2.3 Deteksi Sinyal

Masalah deteksi paling sederhana adalah untuk memutuskan apakah terdapat sinyal, atau hanya noise saja. Demikian bisa diambil dua hipotesis yaitu ketika terdapat sinyal dan noise saja. Pada Tugas Akhir ini diasumsikan ketika terdapat sinyal (kanal terisi) dan ketika noise saja (kanal kosong). Dalam prakteknya, deteksi sinyal akan terlihat jelas apabila kanal memiliki SNR yang tinggi sedangkan sinyal lemah atau yang SNR kecil akan sangat sulit untuk dideteksi. Pada umumnya deteksi dihadapkan dengan sinyal SNR rendah. Namun hal ini dapat diatasi dengan banyaknya data. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendeteksi dengan mempertimbangkan banyak data:

$$\begin{aligned}
 H_0 : x(n) &= w(n) & n=0,1,\dots,N-1 \\
 H_1 : x(n) &= s(n) + w(n) & n=0,1,\dots,N-1,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

2.4 Spectrum Sensing

Salah satu fungsionalitas utama CR adalah spectrum sensing atau deteksi spektrum yaitu kemampuan untuk mendeteksi ketersediaan lubang spektrum [12]. Sebuah CR user sensitive terhadap perubahan lingkungannya, yang membuat spectrum sensing menjadi syarat penting untuk realisasi sistem CR. Spectrum sensing memungkinkan pengguna dengan kapabilitas CR untuk beradaptasi pada lingkungan dengan mendeteksi spektrum, kemudian berpindah ke spektrum kosong lain jika spektrum yang sekarang ditempati akan 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. Secara umum, teknik spectrum sensing dapat menggunakan beberapa metode, diantaranya energy detector, matched filter, dan feature detection [13]. Matched filter [14] adalah detector optimal bila sinyal informasi dari PU diketahui oleh pengguna CR. Namun, matched filter memerlukan pengetahuan apriori tentang karakteristik sinyal PU. Pada feature detection, secara umum, sinyal termodulasi mempunyai karakteristik cyclostationary. Karakteristik ini dapat dideteksi dengan menggunakan parameter fungsi korelasi spektrum [15]. Namun, secara komputasi parameter ini amatlah kompleks dan membutuhkan waktu observasi yang lama sehingga akan menimbulkan masalah baru dalam implementasi.

Sebagai alternatif Deteksi Energi (energy detector) dapat digunakan, karena energy detector tidak memerlukan informasi sinyal PU. Namun, Deteksi Energi rentan terhadap ketidakpastian noise karena metode ini bergantung pada pengetahuan tentang noise power yang akurat. Dalam prakteknya, sangat sulit untuk mendapatkan noise power yang akurat. Untuk mengatasi kekurangan ini, diusulkan metode baru yang berbasis pada matriks kovariansi dari sinyal yang diterima. Matriks kovariansi sinyal dan noise berbeda karena sinyal informasi umumnya berkorelasi secara temporal sedangkan noise tidak. Oleh sebab itu matriks kovariansi dari noise (ketika kanal kosong, elemen-elemen off-diagonal dari matriks tersebut berharga nol. Sedangkan, ketika kanal terisi, beberapa elemen off-diagonal dari matriks kovariansi yang dihasilkan tidak nol. Deteksi berbasis matriks kovariansi mempunyai kelebihan dibandingkan dengan energy detector karena tidak memerlukan informasi sinyal dan noise.

2.5 Metode Matriks Kovariansi

Nilai absolut kovarians (covariance absolut value) akan bisa ditentukan dengan banyaknya sample atau disini kita sebut dengan L smoothing factor [12].

$$\begin{aligned}
 x(n) &= [ x(n) \ x(n-1) \ \dots \ x(n-L+1) ]^T \\
 s(n) &= [ s(n) \ s(n-1) \ \dots \ s(n-L+1) ]^T \\
 w(n) &= [ w(n) \ w(n-1) \ \dots \ w(n-L+1) ]^T
 \end{aligned}$$

matriks kovariansi sinyal dan noise didefinisikan sebagai:

$$\begin{aligned}
 R_x &= E[x(n)x^T(n)] \\
 R_s &= E[s(n)s^T(n)] \\
 R_x &= R_s + \sigma_w^2 I_L
 \end{aligned}$$

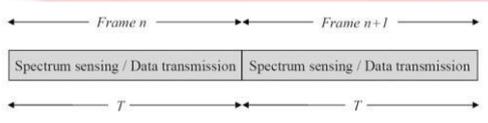
Jika sinyal s (n) tidak ada, maka Rs = 0. Oleh karena itu, unsur-unsur off-diagonal dari Rx adalah semua nol. Jika ada sinyal dan sampel sinyal berkorelasi, Rs bukan matriks diagonal. Oleh karena itu, beberapa elemen off-diagonal dari Rx harus tidak nol. Lalu hasil dari diagonal yang sudah dalam bentuk matriks dimasukkan kedalam:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L \sum_{m=1}^L |x(n)x(m)| \\
 T_2 &= \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L \sum_{m=1}^L |s(n)s(m)|
 \end{aligned}$$

Dimana  $R_{m,n}$  adalah elemen matriks  $R_x$  pada baris ke- $m$  dan kolom ke- $n$  Diinisialisasikan  $T = T_1/T_2$ , jika kanal kosong nilai  $T = 1$ , lalu bila  $T > 1$  kanal sedang terisi. Oleh karena itu, rasio  $T$  adalah test statistik yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan sinyal PU.

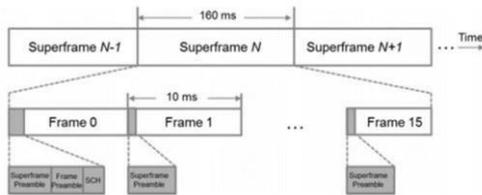
**2.6 Konsep Kinerja Cognitive Radio**

*Sensing time* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sistem *cognitive radio* pada SU untuk mendeteksi atau *men-sense* status (ada atau *idle*/kosong) dari spektrum frekuensi primer dan mengaksesnya jika hanya terdeteksi *idle* [16]. Frame structure sistem yang sudah diteliti sejauh ini terdiri dari sensing slot dan data transmission slot, seperti yang digambarkan pada Gambar berikut.



Gambar 1 Frame structure untuk Cognitive Radio

Sedangkan, pada teknologi OFDM yang berdasarkan standarisasi IEEE 802.22 [17] menggunakan frame structure seperti yang digambarkan pada Gambar berikut [17].



Gambar 2. Media Access Control (MAC) Superframe Structure

MAC layer terdiri dari 2 struktur yaitu frame dan superframe [17]. Sebuah superframe terdiri dari 16 frame dengan durasi tetap 10 ms untuk masing-masing frame. Setiap frame terdiri dari :

- a. Superframe preamble digunakan untuk sinkronisasi frekuensi dan waktu oleh receiver.
- b. Frame preamble digunakan untuk estimasi kanal
- c. Superframe Control Header (SCH) untuk membawa Base Station MAC address bersamaan dengan jadwal quiet period untuk sensing, serta informasi lain tentang cell. Quiet period sendiri mengizinkan sistem untuk menyeimbangkan kebutuhan QoS dari pengguna dan menenangkan jaringan untuk mendukung spectrum sensing. Quiet period berkisar dari 1 symbol (kira-kira 1/3 ms) untuk satu *superframe*.

**2.7 Throughput**

Berdasarkan skema opportunistic spectrum access, SU diperbolehkan untuk mengakses pita frekuensi hanya jika terdeteksi menjadi idle, untuk menghindari terjadinya gangguan yang membahayakan bagi PU. Namun, karena keterbatasan teknik spectrum sensing dan sifat komunikasi nirkabel yang mencakup fenomena seperti shadowing dan fading, miss detection mungkin terjadi. Dalam hal ini, pengguna sekunder akan mendeteksi bahwa frekuensi band berstatus idle (padahal sebenarnya tidak) dan akan mengaksesnya. Oleh karena itu, dibuat dua skenario untuk skema opportunistic spectrum access dengan struktur frame:

- i. Pita frekuensi terdeteksi dengan benar berstatus *idle* dan *throughput* jaringan *cognitive radio* dalam hal ini dilambangkan dengan  $R_0$
- ii. Pita frekuensi yang terdeteksi salah tapi tetap diberi status *idle* dan *throughput* jaringan *cognitive radio* dalam hal ini dilambangkan dengan  $R_1$

Dimana,  $R_0$  dan  $R_1$  sebagai berikut [18]:

$$R_0 = \frac{T - \tau}{T} (1 - P_{fa})$$

$$R_1 = \frac{\tau}{T} (1 - P_d)$$

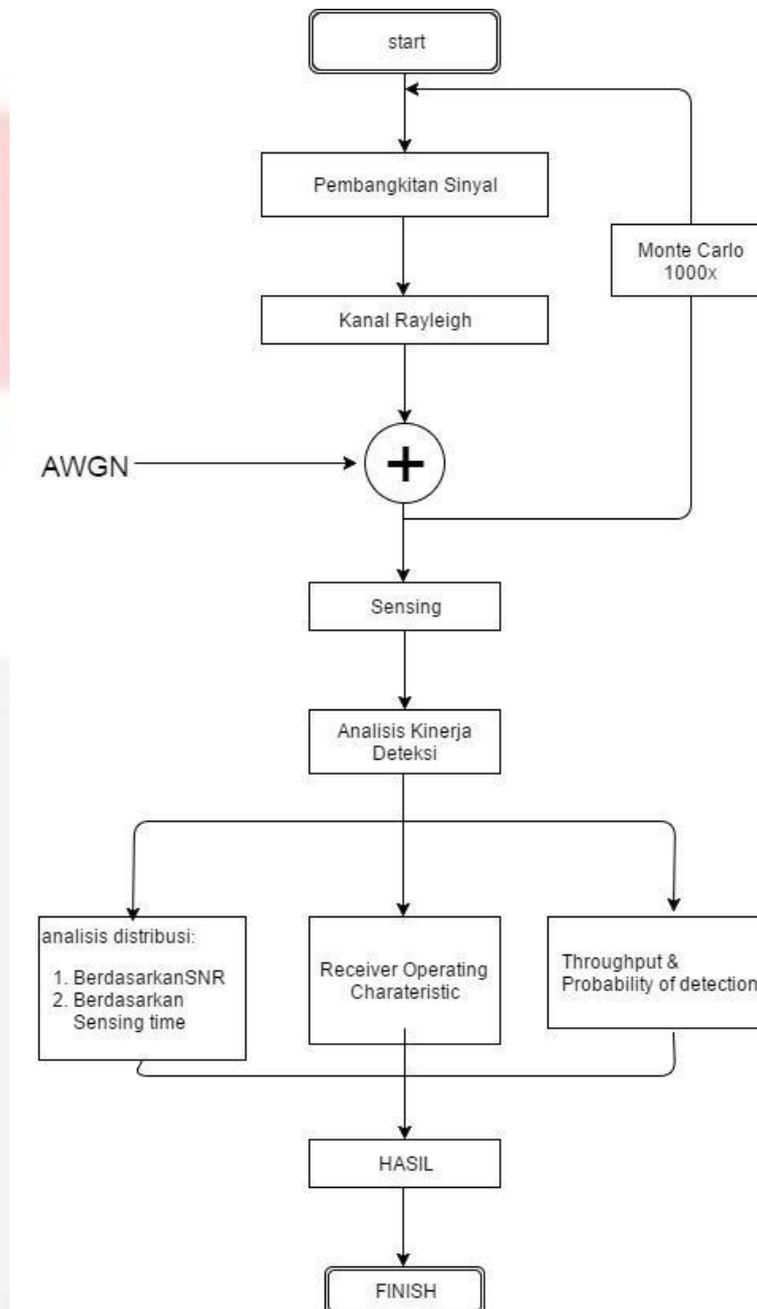
Sehingga :

$$R = R_0 + R_1$$

### 3. PERANCANGAN SISTEM

#### 3.1 Pemodelan Sistem

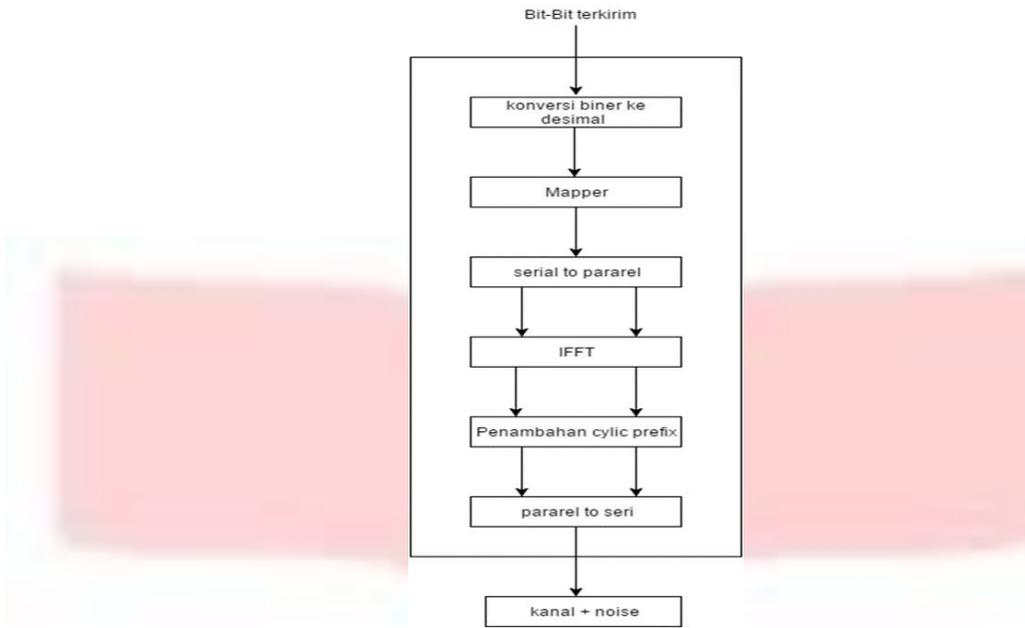
Perancangan system dilakukan menggunakan Matlab R2012b.



Gambar 1. Flowchart Perancangan sistem

#### 3.2 Pembangkitan Sinyal

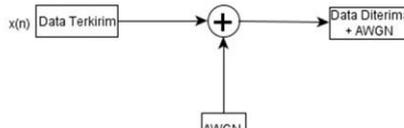
Sinyal yang digunakan adalah sinyal OFDM. Sinyal OFDM dibentuk menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) dan ditambahkan dengan *cyclic extension*. Berikut model system yang akan digunakan pada prakteknya seperti gambar 4.



Gambar 2. Model Sistem Pembangkitan Sinyal OFDM

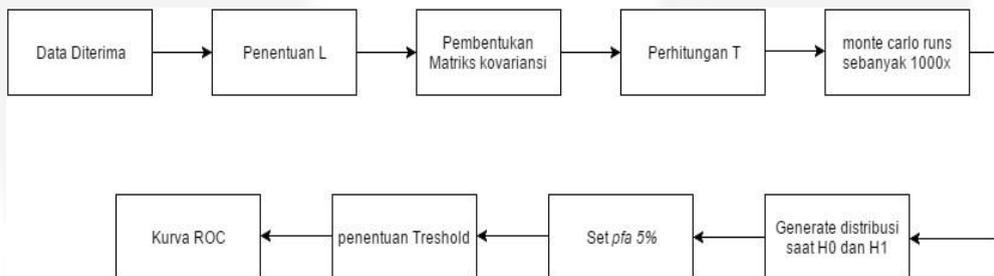
**3.3 Model Kanal**

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 matriks kovariansi untuk tahap selanjutnya.



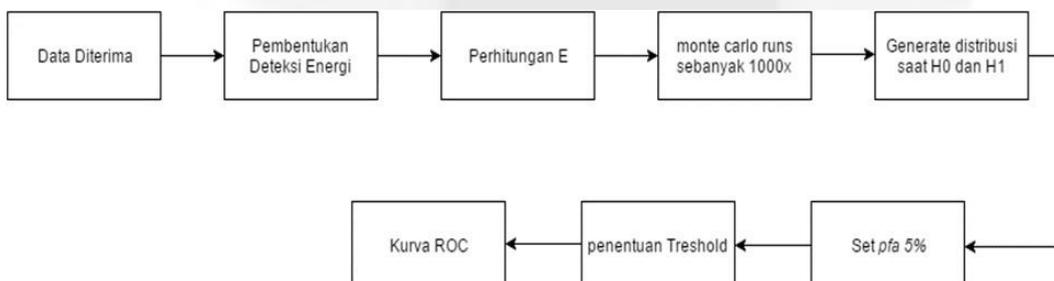
Gambar 3. Kanal ditambahkan AWGN

**3.4 Matriks Kovariansi Sinyal**



Gambar 6. Tahap-tahap Penentuan Threshold dan Kurva ROC menggunakan Matriks Kovariansi Sinyal

**3.5 Deteksi Energi**



Gambar 4. Tahap-tahap Penentuan Threshold dan Kurva ROC menggunakan energi detektor

**3.6 Sensing Time & Throughput**

Dalam tugas akhir ini, *sensing time* yang akan digunakan yaitu 1 – 50 ms sampai mendapatkan  $P_d$  dan  $P_a$  yang diinginkan yaitu mendekati 0.99 dan 0.05. Analisis yang dilakukan yaitu pada *sensing time*, berapakah besar nilai

throughput yang didapatkan oleh SU itu pada SNR -20dB dan *probability of detection target* ( $\bar{P}_d$ ) yang sudah dipaparkan sebelumnya.

**3.7 Ketidakpastian Noise (Uncertain Noise)**

Noise ini merupakan fakta yang ada di lapangan , dimana noise tidak dapat diatur dengan tetap . Dalam tugas akhir ini saya menggunakan asumsi apabila noise terdistribusi uniform, sebagai contoh:

Contoh ketidakpastian noise pada saat SNR=10 (1dB)

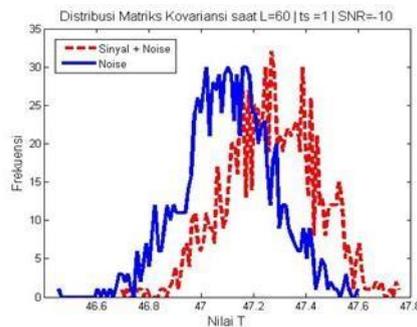
|         |      |     |      |     |      |     |      |     |       |      |
|---------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-------|------|
| Iterasi | 1    | 2   | 3    | 4   | 5    | 6   | 7    | 8   | 9     | 10   |
| SNR     | 10.5 | 9.5 | 10.4 | 9.3 | 10.3 | 9.4 | 10.2 | 9.2 | 10.35 | 9.35 |

**4. ANALISIS HASIL**

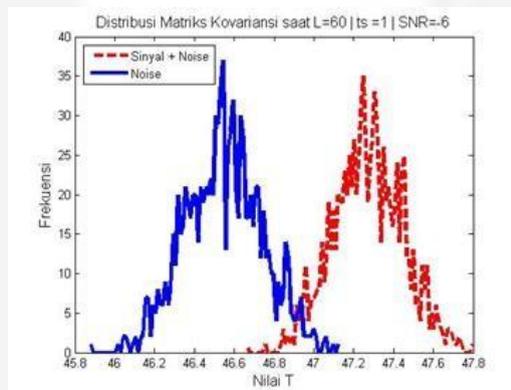
**4.1 Analisis Distribusi**

Dalam analisis distribusi ini terdiri dalam dua bagian yaitu analisis yang berdasarkan SNR (signal to noise ratio), dimana kita akan melihat perbedaan dengan menggunakan SNR yang berbeda dan analisis pengaruh waktu sensing, dimana kita akan melihat perbedaan dengan waktu sensing yang berbeda.

**4.1.1 Analisis Berdasarkan SNR**



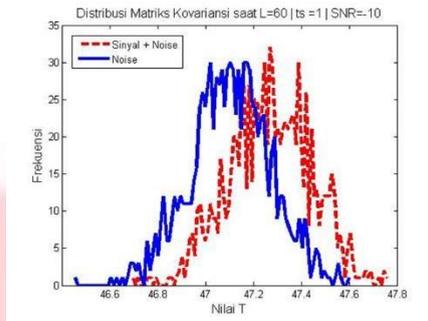
Gambar 1. Distribusi Matriks Kovariansi L=60 ts=1 SNR=-10



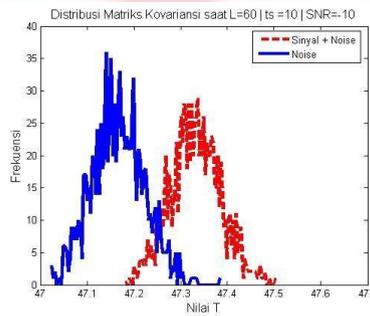
Gambar 2. Distribusi Matriks Kovariansi L=60 ts=1 SNR=-6

Dapat dilihat pada gambar 1 pergeseran antara H1 dan H0 sangat besar sehingga bisa dilihat perbedaan antara sinyal dan noise untuk di deteksi. Sedangkan pada gambar 2 bisa dilihat pergeseran antara H1(sinyal dan noise) dan H0(noise) sangat kecil sehingga kemungkinan kesalahan deteksi bisa terjadi. Hal ini disebabkan karena semakin besarnya SNR mempengaruhi besarnya rasio sinyal. Semakin kecil SNR membuat rasio dari noise besar, sehingga sulit untuk mendeteksi keberadaan sinyal.

4.1.2 Analisis Pengaruh Waktu Sensing



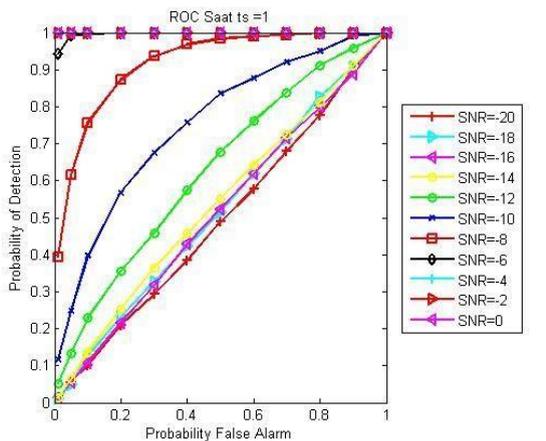
Gambar 1 Distribusi Matriks Kovariansi L=60 ts=1 SNR=-10



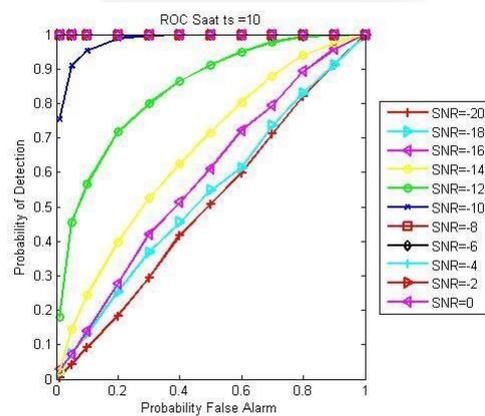
Gambar 4 Distribusi Matriks Kovariansi L=60 ts=10 SNR=-10

pada gambar 3 dan 4 dapat dilihat perubahan yang signifikan terjadi pada gambar 4.4 yaitu saat ts=10ms, hal ini disebabkan karena lamanya waktu yang digunakan untuk melihat keadaan suatu kanal dan berpengaruh terhadap banyaknya sampel yang digunakan. Saat ts=1, terdapat 11103 sampel dan saat ts=10, terdapat 61103 sampel. Hal ini membuktikan bahwa, semakin banyak jumlah sample yang digunakan, membuat pergeseran antara H1 dan H0 semakin besar dan membuat kinerja *detector* semakin baik

4.2 Analisis Kurva ROC



Gambar 5 grafik ROC saat ts=1



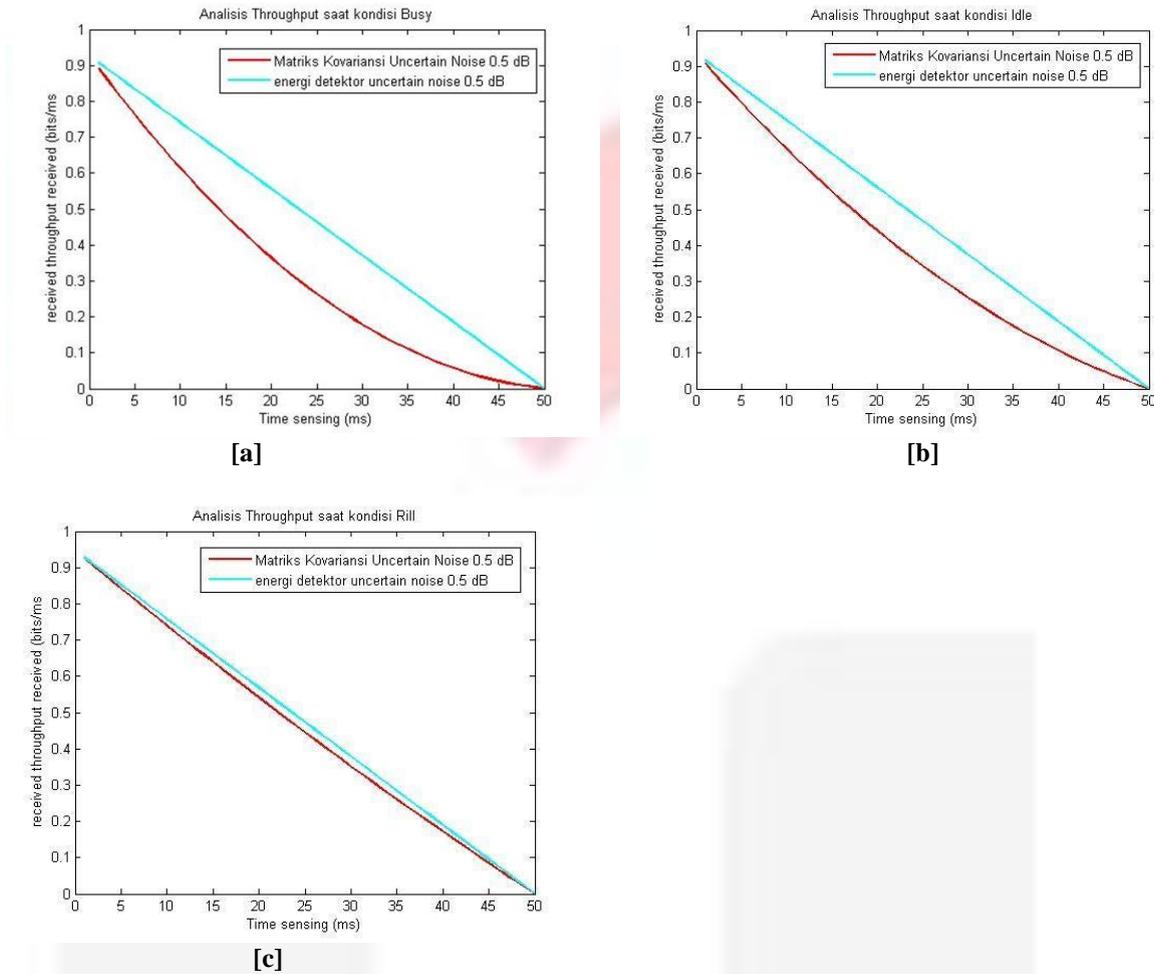
Gambar 6 grafik ROC saat ts=10

Pada gambar 5 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 ts (time sensing) yang digunakan terlalu singkat karena seperti dijelaskan sebelumnya time sensing menjadi salah satu pengaruh terhadap kinerja detektor. Sebagai perbandingan waktu sensing, berikut hasil dari simulasi ketika ts=10.

Pada gambar 6 hasil ROC yang didapat terjadi perbedaan pergeseran spectrum dengan hasil ROC yang sebelumnya, hal ini disebabkan karena perbedaan waktu sensing. Pada hasil ROC saat ts=10 pergeseran terjadi dimulai pada SNR -14 hingga SNR 0, sedangkan pada SNR-20 hingga SNR-16 belum terjadi pergeseran yang signifikan. Yang

berarti nilai  $P_d$  saat rentang SNR -14 hingga 0 sudah baik, yang dimana nilai  $P_d$  merupakan representasi ketepatan deteksi suatu kanal. Semakin besar nilai  $P_d$  yang didapat maka kesalahan yang terjadi saat melakukan deteksi semakin kecil. Dengan di dapatnya nilai  $P_d$  diantara 2 simulasi diatas dapat disimpulkan bahwa waktu sensing berpengaruh terhadap kinerja detektor, semakin lama waktu sensing yang dilakukan maka kinerja detektor akan semakin baik

**4.3 Analisis Throughput**



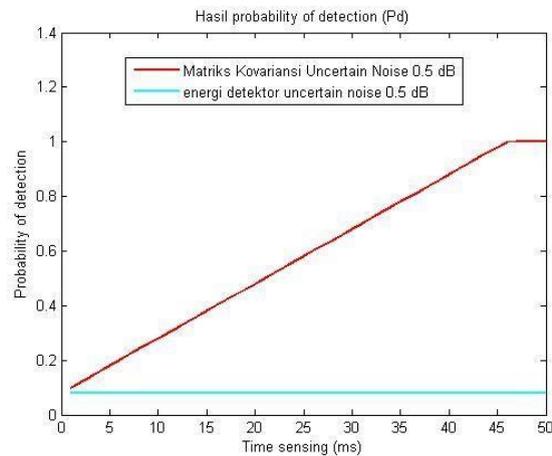
Gambar 7 Perbandingan nilai throughput saat ditambahkan uncertain noise dalam beberapa kondisi [a] busy [b] idle [c] rill

Matrik kovariansi lebih cepat mendeteksi nilai throughput menuju ke nol di suatu kanal ini terlihat dari grafik diatas menunjukkan nilai throughput yang didapat lebih kecil dari nilai throughput dengan menggunakan energy detektor dalam berbagai kondisi yang sudah ditetapkan. dan nilai  $P_d$  yang digunakan untuk perhitungan *throughput* pada input *uncertain noise* sangat jauh dari  $P_d$  yang ditargetkan oleh penulis yaitu sebesar 0.99. Nilai *throughput* yang besar namun  $P_d$  yang kecil akan menimbulkan interferensi atau gangguan lainnya antara PU dan SU. *Throughput* yang dihasilkan tersebut memiliki kemungkinan besar telah terjadi interferensi atau gangguan lainnya antara PU dan SU. Maka, akan merugikan PU karena kanal yang dimilikinya tidak bisa digunakan semestinya.

Dengan kata lain, energi detektor mendeteksi throughput di suatu kanal dengan inputan *uncertain noise* lebih lambat dikarenakan tidak tahannya energi detektor dengan noise power yang berubah-ubah dan akan menghasilkan nilai  $P_d$  yang kecil yang bisa membuat interferensi antar PU dan SU dikarenakan kesalahan saat mendeteksi, maka sudah jelas bahwa energi detektor mempunyai kelemahan terhadap *noise power* yang berubah-ubah atau *uncertain noise*.

**4.3.1 Analisis Probability of detection**

Pada pengujian ini digunakan data hasil nilai T yang merupakan hasil deteksi *energy detector* dan Matriks Kovariansi untuk mencari nilai *probability of detection* ( $P_d$ ). Hal ini dilakukan untuk membandingkan nilai *probability of detection* antara hasil deteksi sinyal yang menggunakan Matriks Kovariansi dengan *energy detector*. Durasi *sensing time* yang digunakan yaitu selama 50 ms dengan *probability of false alarm* sebesar 0.05.



Gambar 8 Perbandingan probability of detection antara metode matriks kovariansi dengan metode energi detektor.

*Probability of detection* adalah representasi dari ketepatan deteksi suatu kanal. Semakin besar Pd, semakin baik kinerja deteksi yang dihasilkan dan akan mengurangi kemungkinan adanya kesalahan [1]. Dilihat pada Gambar 4.9 menunjukkan perbandingan nilai *probability of detection* (pd) antara matriks kovariansi dengan energy detektor dimana inputannya sama-sama menggunakan *uncertain noise*. Dapat dilihat bahwa nilai Pd dengan metode matriks kovariansi semakin besar saat durasi *sensing time* semakin lama atau panjang. Nilai Pd saat *sensing time* berdurasi 45 ms menunjukkan nilai 0.98 atau hampir mendekati 1. Saat nilai Pd mendekati nilai 1 maka kemungkinan terjadinya kesalahan deteksi sangat kecil atau kinerja dari matriks kovariansi sangat baik.

Sedangkan, nilai Pd terendah dan tertinggi dengan metode energi detektor berada pada nilai 0.08 dan 0.08. Nilai Pd tersebut sangat jauh dari nilai 1. Yang bisa diartikan bahwa kemungkinan adanya kesalahan deteksi sangat besar sehingga dapat menyebabkan interferensi atau *collision* antara PU dan SU sangat besar. Dengan nilai *probability of detection* yang dihasilkan sangat rendah dimana inputan *noise* yang digunakan adalah *uncertain noise*, maka *energy detector* tidak bisa bekerja dengan baik atau tidak cocok digunakan dengan input *noise* tersebut karena akan mengakibatkan kesalahan deteksi

## 5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis dengan menggunakan metode matriks kovariansi yang telah didapatkan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. *Sensing time* mempengaruhi kinerja suatu detektor. Semakin lama *sensing time*, maka semakin banyak jumlah sampel yang digunakan. Semakin banyak jumlah sampel yang digunakan, membuat pergeseran antara nilai H1 dan H0 semakin besar dan mempermudah kinerja *detector* dalam proses pendeteksian.
2. Rata-rata received throughput yang dihasilkan dengan menggunakan matriks kovariansi lebih kecil dibanding dengan energi detektor dalam berbagai kondisi yang sudah ditetapkan yaitu sebesar 0.3398 bit/ms pada kondisi busy, 0.3889 bit/ms pada kondisi idle dan 0.4543 bit/ms pada kondisi rill.
3. Dapat dilihat bahwa nilai Pd dengan metode matriks kovariansi semakin besar yaitu mendekati 0.99 saat durasi sensing time semakin lama atau panjang. Sedangkan dengan energi detektor nilai Pd tetap pada 0.08 sangat jauh dari yang diharapkan.
4. Pada praktiknya penggunaan energy detector dinilai kurang baik karena adanya noise power yang tidak menentu atau uncertain noise

## 5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya, carilah pengaruh dari *factor smoothing* menggunakan matriks kovariansi.
2. Pada penelitian selanjutnya, gunakan data hasil pengukuran untuk *occupancy* kanal dan bagaimana *throughput* yang didapatkannya

## DAFTAR REFERENSI

- [1] S. Stergios, and N. Arumugam, "Overcoming the Sensing-Throughput Tradeoff in Cognitive Radio Networks", 2010.
- [2] Alexander M. Wyglinski, Maziar Nekovee, Thomas Hou, "Cognitive Radio Communications and Network," London 2010, pp 6-8.
- [3] J. Mitola, "Cognitive Radio," Licentiate proposal, KTH, Stockholm, Sweden, Dec 1998.

- [4] Shared Spectrum Company, "Experimental Measurement on Chicago," Shared Spectrum Company, 2006.
- [5] Haykin S. (2005), "Cognitive Radio : Brain-Empowered Wireless Communications," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 23, no 2.
- [6] Mitola J. (1999), "Cognitive Radio for Flexible Multimedia Communications", Proc. of IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications '99 (MoMuC '99), pp. 3 –10.
- [7] Akyildiz I. F, Lee W. Y, Vuran M. C dan Mohanty S. (2006), "Next Generation/Dynamic Spectrum Access/Cognitive Radio Wireless Networks: A Survey", Computer Networks Journal, vol. 50, no. 13, pp. 2127–2159.
- [8] R. Innayah Nurlia, W. Heroe and P.Budi, "PENGUKURAN DAN ANALISIS SPECTRUM OCCUPANCY DENGAN METODE DETEKSI ENERGI PADA BAND FREKUENSI GSM UNTUK APLIKASI COGNITIVE RADIO", Tugas Akhir, 2011
- [9] H. Juha, T. John, "OFDM Wireless LANs-A Theoretical and Practical Guide", SAMS, 2001.
- [10] Prasad, Ramle., "OFDM for Wireless Communications Systems," Artech House, Inc. Boston, London, 2004, pp 2-5.
- [11] Steven M. Kay, "Fundamental of Statistical Signal Processing Volume," vol 2, pp 20-50, Upper Saddle River, New Jersey 1998
- [12] Yonghong Zeng and Ying-Chang Liang, "Spectrum-Sensing Algorithms for Cognitive Radio Based on Statistical Covariances," IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 58, NO.4, MAY 2009.€
- [13] Jondral, F.K, "Software-Defined Radio \_ Basic and Evolution to Cognitive Radio," EURASIP J. Wireless Communication and Networking, 2005
- [14] Yucek, Tevfik. 2009, "A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications," IEEE Communication Surveys & Tutorials, Vol 11, No.1, First Quarter 2009
- [15] Gardner, William A. (1991). "Two alternative philosophies for estimation of the parameters of time-series". IEEE Trans. Inf. Theory 37 (1): 216–218. doi:10.1109/18.61145
- [16] S. Stergios, and N. Arumugam, "Overcoming the Sensing-Throughput Tradeoff in Cognitive Radio Networks", 2010.
- [17] M, Andreas Mitschele. "Cognitive radio The IEEE 802.22 standard", Integrated Communication Systems Group, Desember 2011.
- [18] Y.-C. Liang, Y. Zeng, E. C. Y. Peh, and A. T. Hoang, "Sensing throughput tradeoff for cognitive radio networks," IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 7, no. 4, pp. 1326-1337, Apr. 2008.