

PENGARUH WAKTU SENSING TERHADAP KINERJA THROUGHPUT DALAM SISTEM COGNITIVE RADIO NETWORK

THE IMPACT OF SENSING TIME TO THROUGHPUT PERFORMANCE IN COGNITIVE RADIO NETWORK

Angga Wijaya¹, Fiky Yosef Suratman², Nasrullah Armi³

¹Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

²Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Pusat Penelitian Elektro dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

¹anggawijayates@gmail.com, ²fysuratman@telkomuniversity.com, ³nasrullah.armi@gmail.com

Abstrak

Cognitive Radio adalah teknologi baru yang memungkinkan *secondary user* (*unlicense*) untuk menggunakan spektrum primer (*license*) setiap kali tersedia. *Spectrum sensing* dipengaruhi oleh waktu pendeteksian spektrum frekuensi primer, untuk menghindari adanya kesalahan deteksi. Pada penelitian ini dilakukan analisis kinerja deteksi pada sistem *cognitive radio* dengan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Yang berupa, analisis *Receiver Operating Characteristic* (ROC), *sensing time* dan *throughput*. Deteksi dilakukan dengan teknik *energy detector*. Semakin besar nilai *sensing time*, maka semakin besar geseran pada distribusi E. Karena geseran distribusi E tersebut dapat mempermudah kerja *energy detector* untuk mendeteksi lebih akurat. Hal ini menyebabkan *probability of detection* semakin besar. Penggunaan *energy detector* pada prakteknya kurang baik karena adanya *noise power* yang tidak menentu atau *uncertain noise*. Pada saat *sensing time* berdurasi 24ms, didapatkan *received throughput* untuk kondisi (iii) sebesar 0.4387 bits/ms, (ii) sebesar 0.2503 bits/ms dan (i) sebesar 0.1040 bits/ms. Maka, *sensing time* tersebut tepat digunakan untuk sistem *cognitive radio* dengan teknologi OFDM. Karena pada teknologi OFDM, diperlukan *probability of detection* (P_d) yang besar untuk meminimalisir adanya gangguan atau interferensi dari *secondary user* kepada *primary user*.

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

Abstract

Cognitive Radio is a new technology that allows the *secondary user* (*unlicense*) to using primary spectrum (*license*) whenever available. *Spectrum sensing* is affected by the time of detection of the primary frequency spectrum, in order to avoid any error detection or false alarm. In this research, an analysis of the performance of detection in cognitive radio system with *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) technology. Performance Analysis of detection consists of *Receiver Operating Characteristic* (ROC) analysis, *sensing time* and *throughput*. Energy detector techniques applied in this research. Increasingly value of the *sensing time*, resulting greater shifts in the distribution of E. Due to the shift of the distribution of E can simplify the task of energy detector to detect more accurately. This causes increasing probability of detection. Usage of energy detector in practice is going poorly because of the uncertain noise. By using *sensing time* duration of 24 ms obtained *received throughput* for the condition (iii) is 0.4387 bits /ms, (ii) is 0.2503 bits /ms and (i) is 0.1040 bits /ms. Thus, the *sensing time* can be considered appropriate for use in a cognitive radio system with OFDM technology. Because the OFDM technology, required high probability of detection (P_d) to minimize any interference from the *secondary user* to the *primary user*.

Keywords: *Cognitive Radio, OFDM, Energy Detector, Sensing Time, Throughput*

1. Pendahuluan

Kebutuhan masyarakat akan sarana telekomunikasi yang handal terus berkembang, khususnya pada komunikasi nirkabel atau *wireless*. Jenis layanan telekomunikasi yang awalnya hanya *voice* dan *short message service* (SMS), kini telah berkembang menjadi berbagai macam layanan, salah satunya layanan

data. Layanan data membutuhkan *bandwidth* yang lebih besar dibandingkan dengan *voice* atau SMS.

Berbicara mengenai *bandwidth*, tentunya berkaitan dengan spektrum frekuensi. Alokasi spektrum frekuensi yang akan digunakan sebagai sarana transmisi data pada kenyataannya disediakan pemerintah hanya untuk pihak-pihak tertentu yang mendaftarkan dirinya sebagai pengguna resmi spektrum frekuensi tersebut, yang biasanya disebut *Primary User* (PU) / *licensed user*. Namun, pemakaian spektrum frekuensi dinilai kurang efisien karena pihak PU yang memiliki hak akses legal terhadap suatu spektrum frekuensi tidak setiap saat dapat mendudukinya dan spektrum tersebut tidak dapat digunakan oleh pihak lain karena telah dialokasikan secara khusus untuk PU. *Cognitive Radio* (CR) adalah sebuah teknologi baru yang bertujuan untuk efisien penggunaan spektrum dengan memungkinkan *secondary user* (SU) untuk mengakses spektrum frekuensi berlisensi, dengan kondisi melindungi PU dari gangguan yang membahayakan dari SU [1].

Pada penelitian ini, dilakukan pendeteksian sinyal menggunakan teknik *energy detector*, dimana SU menggunakan energi sinyal primer yang diterima untuk mendeteksi apakah PU ada atau tidak. Jika PU tidak menggunakan spektrum frekuensinya, maka SU akan menggunakan spektrum frekuensi tersebut untuk mentransmisikan data. Sinyal *primer* yang digunakan adalah sinyal *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). OFDM merupakan salah satu teknik *multicarrier* yang paling efektif untuk komunikasi nirkabel broadband karena memiliki kemampuan inheren untuk mengatasi *multipath fading* dan menghindari *intersymbol interference* (ISI), telah menarik perhatian yang signifikan dalam pengembangan teknologi CR [2], [3]. Kemudian, Sinyal tersebut akan terkena *noise* AWGN dan akan *rayleigh* sebagai kanalnya. Peneliti akan menggunakan *sensing time* yang berbeda-beda untuk mencari *sensing time* yang tepat agar *throughput* yang didapatkan oleh SU maksimal.

2. Dasar Teori

2.1 Cognitive Radio

Cognitive radio (CR) adalah sistem komunikasi nirkabel cerdas yang mampu mengenal kondisi lingkungannya (dunia luar) dan menggunakan metodologi pemahaman dengan mempelajari kondisi lingkungan serta mengadaptasi dengan mengubah kondisi parameter yang dapat disesuaikan (seperti daya pancar, frekuensi dan strategi modulasi), semua dalam kondisi *real time* [4].

CR mendeteksi spektrum dan mendeteksi *spectrum hole* yang juga disebut *white spaces*. Karakteristik dari *spectrum hole* bergantung pada kebutuhan pengguna untuk kecepatan data transmisi, lalu *spectrum hole* yang telah sesuai dipilih untuk transmisi data. Seluruh fenomena ini digunakan oleh CR yang disebut *Siklus Cognitive Radio* [5].

2.2 Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) merupakan teknik yang mampu mencapai *data rate* tinggi dan mengurangi *multipath fading* dalam komunikasi nirkabel [6]. Sehingga data yang ditransmisikan akan memiliki kecepatan yang lebih rendah. Teknik seperti ini mampu menghemat *bandwidth* kanal sistem komunikasi. Keuntungan OFDM untuk teknologi masa depan sebagai berikut [7]:

- OFDM merupakan cara yang efisien untuk menangani *multipath*, *delay spread* yang diberikan, kompleksitas pelaksanaan secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan sistem lain.
- Dalam relatif waktu bervariasi memungkinkan untuk meningkatkan kapasitas secara signifikan dengan mengadaptasi *data rate* sesuai dengan rasio *signal-to-noise* (SNR) tertentu

2.3 Model Kanal Rayleigh

Distribusi *Rayleigh* digunakan untuk menggambarkan waktu statistik sifat yang berbeda-beda dari pengiriman yang diterima dari sinyal *flat fading*, atau pengiriman dari komponen *multipath* individu [8].

2.4 Metode Energy Detector

Pada *energy detector*, SU menggunakan energi sinyal *primer* yang diterima untuk mendeteksi apakah PU ada atau tidak. Energi sinyal primer yang diterima diukur dengan dikuadratkan dan mengintegrasikan sinyal yang diterima selama interval pengamatan. Untuk memastikan bahwa PU ada atau tidak ada, *output* dari *integrator* dibandingkan dengan *threshold*. [9],[10].

Energy detector sangat sederhana dan mudah dalam implementasinya. Namun, membutuhkan informasi daya noise sebelumnya. Hal ini membuat kinerja *energy detector* memburuk jika terdapat ketidakpastian pada daya noise.

2.5 Sensing Time

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* [1].

2.6 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, SU 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* seperti pada [1]:

- 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

Probability of false alarm pada jaringan *cognitive radio* dinyatakan dengan [11]:

Dimana, $Q(\cdot)$ melambangkan *Q function*, $\sqrt{\gamma}$ merupakan $\text{SNR}_{\text{primary user}}$, melambangkan target *probability of detection*, τ adalah *sensing time* dan f_s frekuensi sampling. *Probability of detection* dinyatakan dengan [11]:

$$P_d = Q\left(Q^{-1}(P_d) - \sqrt{\gamma} \right) \quad (2.2)$$

melambangkan target *probability of false alarm*.

Berdasarkan [11], optimal *sensing time* terletak dalam *interval* $0 < \tau < T$. Maka, didapatkan rumus untuk mencari *throughput* [1]:

$$R = P_d R_0 + (1 - P_d) R_1 \quad (2.3)$$

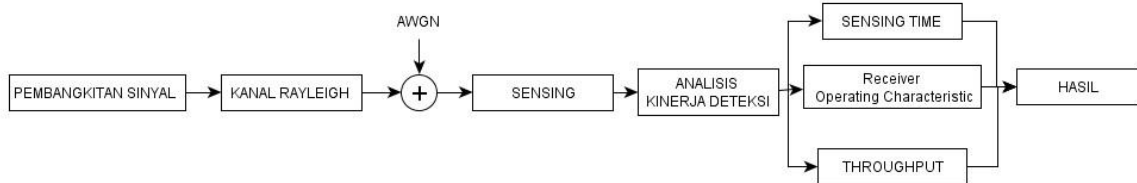
$$R = P_d R_0 + (1 - P_d) R_1 \quad (2.4)$$

$$(2.5)$$

3. Pembahasan

3.1. Desain Model Sistem

Perancangan model dilakukan dengan bantuan perangkat lunak. Secara skematis, perancangan model ini ditunjukkan dalam Gambar 3.1:



Gambar 3. 1 Flowchart Perancangan Model

Proses diawali dengan pembangkitan sinyal OFDM sebagai sinyal PU, kemudian sinyal PU ditransmisikan melalui kanal *rayleigh*. Setelah itu, ditambahkan *noise* terdistribusi *Gaussian* sebagai noise pengganggu atau AWGN. Tahap berikutnya adalah melakukan *spectrum sensing* menggunakan *energy detector* terhadap sinyal PU + noise tersebut untuk menentukan kanal mana yang bisa digunakan untuk transmisi atau tidak. Kemudian, dilakukan analisis pada kinerja deteksi dengan mencari berapa lama sensing time yang diperlukan agar didapatkan *throughput* yang besar selama proses simulasi.

3.2 Pembangkitan Sinyal

Sinyal yang dibangkitkan adalah sinyal OFDM. Sinyal OFDM dibentuk menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) dan ditambahkan *cyclic extension*. Data informasi yang dibangkitkan secara random berbentuk desimal. Kemudian modulasi yang digunakan adalah 16QAM. Sinyal yang sudah termodulasi berbentuk rill dan imajiner menjadi input untuk proses selanjutnya. Setelah itu, dilakukan proses IFFT dan penambahan *Cyclic Prefix* sebanyak 1/8 dari *total subcarrier* yang digunakan.

3.3. Model Kanal

Kanal yang digunakan pada penelitian ini adalah kanal *rayleigh* yang ditambahkan oleh AWGN (*Additive Gaussian Noise*) sebagai *noise* pengganggu. Hasil dari proses ini akan dijadikan *input* untuk pendeteksian sinyal oleh *energy detector* pada tahap selanjutnya.

3.4. Parameter Simulasi

Dalam proses pembuatan sinyal OFDM digunakan parameter-parameter yang ditampilkan dalam Tabel 3.1 berikut:

Tabel 3. 1 Parameter pembangkitan sinyal OFDM

<i>Modulation (M)</i>	16-QAM
Jumlah <i>Subcarrier (N)</i>	256
<i>Monte Carlo Runs</i>	10.000x (kali)

Banyaknya *sample* ditentukan oleh jenis modulasi, frekuensi sampling dan *sensing time*. Sedangkan, pada proses perhitungan besar *throughput* digunakan parameter-parameter yang ditampilkan dalam tabel 3.2 berikut:

Tabel 3. 2 Parameter Perhitungan Throughput

<i>Probability of false alarm target</i>	0.05 atau 5% [13]
<i>Probability of detection target</i>	0.995
<i>Frame Time (T)</i>	160 ms [14]
<i>Sensing time duration</i>	1 – 50 ms
Frekuensi Sampling	6 Mhz [1]

3.5. SNR

SNR merupakan ukuran yang digunakan dalam sains dan teknik yang membandingkan tingkat sinyal yang diinginkan dengan tingkat *noise*, sering dinyatakan dalam decibel (dB)[12]. Pada penelitian ini dengan *probability of detection target* = 0.995 dan *probability false alarm target* = 0.05 [13], diharapkan mendapatkan P_d yang besar dan P_{fa} yang sangat kecil. Karena, untuk memperbesar kemungkinan didapatkannya *throughput* yang maksimal oleh SU. Pada penelitian ini, SNR yang digunakan yaitu -20dB.

3.6 Pembentukan *Energy Detector*

Tahap-tahap mendeteksi menggunakan *energy detector* pada Gambar 3.2 :



Gambar 3. 2 Tahap-tahap deteksi menggunakan *energy detector*

3.7 Receiver Operating Characteristic (ROC)

Pada tahap ini, setelah didapatkan data dari tahap distribusi E yang berupa nilai H_0 dan H_1 , maka akan dibuat sebuah kurva ROC untuk mendapatkan nilai *probability of detection* (P_d) dari SNR tersebut dengan *probability false alarm* yang sudah ditetapkan, yaitu 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 dan 1. Kemudian, P_d dari kurva ROC tersebut dibandingkan dengan P_d dari rumus (2.2) yang merupakan hasil penelitian sebelumnya [1].

3.8 Sensing Time

Dalam penelitian ini, *sensing time* yang akan digunakan yaitu sampai mendapatkan dan yang diinginkan yaitu mendekati 0.99 dan 0.05.

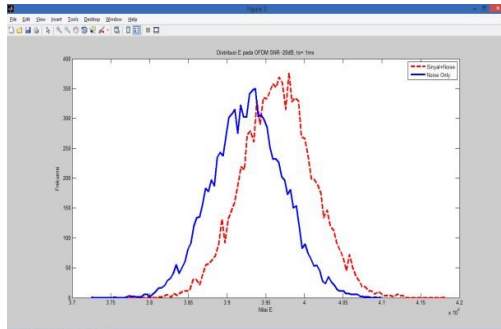
3.9 Throughput

Data yang didapat dari tahap distribusi E (nilai H_0 dan H_1) yang dipaparkan seperti pada langkah ke 3.6, maka pada tahap selanjutnya dilakukan perhitungan jumlah *throughput* dengan menggunakan rumus (2.3) dan (2.4). Analisis yang dilakukan yaitu pada *sensing time*, berapakah besar nilai *throughput* yang didapatkan oleh SU itu pada SNR -20dB dan *probability of detection target* (P_d) yang sudah dipaparkan sebelumnya.

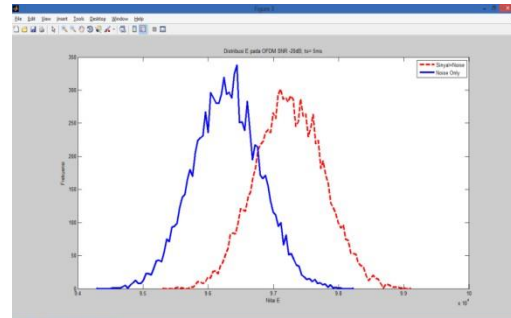
4. Pengujian dan Hasil Analisis

4.1 Analisis Sensing Time

SNR merupakan perbandingan daya sinyal terhadap daya *noise*[12]. SNR yang digunakan menurut IEEE adalah 0 sampai -20 [12]. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh sensing time terhadap perubahan nilai distribusi E dan *kinerja detector*. Dilakukan dengan menggunakan nilai t_s yang bervariasi, dari $t_s= 1\text{ms}$ hingga $t_s= 5\text{ms}$. Berikut hasil simulasi distribusi E dengan SNR -20dB dan $t_s= 1\text{ms}$ dan 5ms menggunakan perangkat lunak, seperti Gambar 4.1.



Gambar [a]



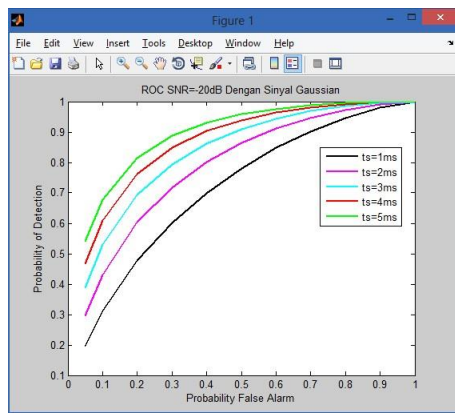
Gambar [b]

Gambar 4. 1 Distribusi H0 (noise) dan H1(sinyal+noise) pada SNR -20dB saat sensing time(t_s) [a] $t_s=1\text{ms}$ [b] $t_s= 5\text{ms}$

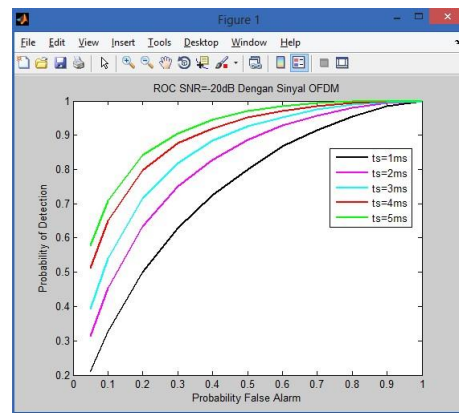
Pada Gambar 4.1 menunjukkan perubahan antara distribusi H0 dan H1. Perubahan terjadi dikarenakan pergeseran nilai E pada distribusi H₁ terhadap H₀ yang semakin menjauh. Hal ini diperkuat saat $t_s= 5\text{ms}$ yang menunjukkan pergeseran yang semakin besar. *Sensing time* mempengaruhi banyaknya sampel yang digunakan. Saat $t_s= 1\text{ms}$, digunakan 6144 sampel dan $t_s= 5\text{ms}$ sebanyak 30720 sampel. Hal ini membuktikan bahwa, semakin banyak jumlah sample yang digunakan, membuat pergeseran nilai E semakin besar dan membuat *kinerja detector* semakin baik.

4.2 Analisis Kurva ROC

Pada penelitian yang dilakukan sebelumnya[1], didapatkan *probability of detection* (P_d) dengan menggunakan rumus (2.2). Hasil perhitungan ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Kurva ROC SNR -20dB Gaussian

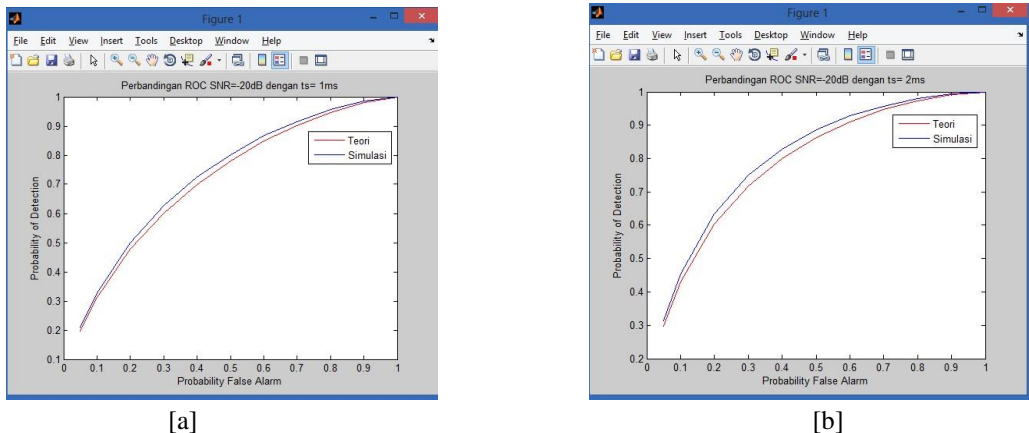


Gambar 4. 3 Kurva ROC SNR -20dB OFDM

Selanjutnya, penulis melakukan percobaan dengan melakukan perubahan pada sinyal dan *noise* masukan yang awalnya berupa distribusi *Gaussian* menjadi sinyal OFDM + *noise* dengan variasi *sensing time*. Hasil yang telah dilakukan oleh penulis, terlihat pada Gambar 4.3.

Pengujian ini dilakukan pada SNR -20dB untuk membandingkan nilai P_d pada penelitian sebelumnya dengan yang telah dilakukan oleh penulis pada Gambar 4.3 dan membuktikan bahwa *energy detector* dapat bekerja dengan baik saat menggunakan sinyal OFDM sebagai masukannya. Didapatkan nilai P_d yang lebih baik dibandingkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut hasil simulasi perbandingan P_d

dengan $t_s=1\text{ms}$ dan $t_s= 2\text{ms}$, pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Perbandingan P_d pada SNR -20dB menurut sensing time(t_s) [a] $t_s=1\text{ms}$ dan [b] $t_s=2\text{ms}$

Gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai P_d dari penulis (OFDM) lebih baik daripada penelitian sebelumnya (*Gaussian*) karena nilai P_d yang merepresentasikan ketepatan deteksi kanal. Semakin besar P_d , semakin baik kinerja deteksi yang dihasilkan dan akan mengurangi kemungkinan adanya *miss detection*. Dengan nilai P_d yang didapatkan dari hasil penulis (OFDM), membuktikan bahwa energy detector dapat bekerja dengan baik dengan sinyal yang berbeda, yaitu *Gaussian* dan OFDM.

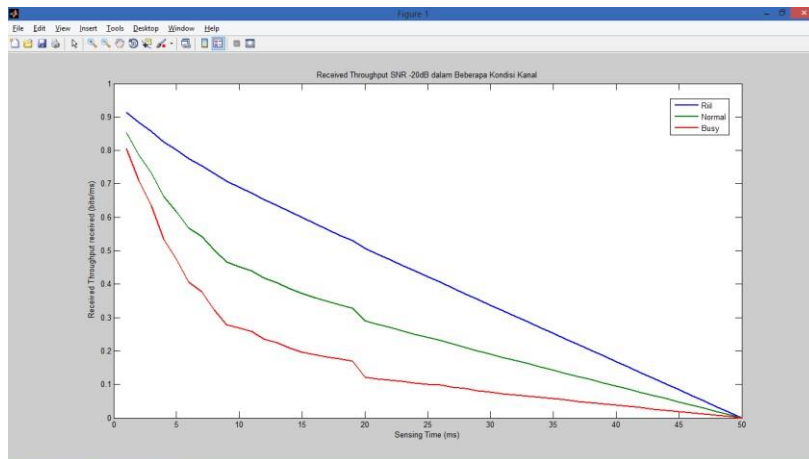
4.3 Analisis Throughput

Pengujian dilakukan pada SNR -20dB dengan menggunakan *probability false alarm target* = 0.05 dengan *sensing time* selama 50 ms dan *probability of detection target* mendekati 0.99. Hal ini dilakukan dengan 3 kondisi, yaitu:

Kanal Sibuk (*Busy*) : dimana nilai $P(H_0) = 0.2$ dan $P(H_1) = 0.8$

Kanal Idle : dimana $P(H_0) = 0.85$ dan $P(H_1) = 0.15$

Kanal Riil : dimana nilai $P(H_0)$ dan $P(H_1)$ diambil dari penelitian sebelumnya [15], 0.8866 dan 0.1134 Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.5.

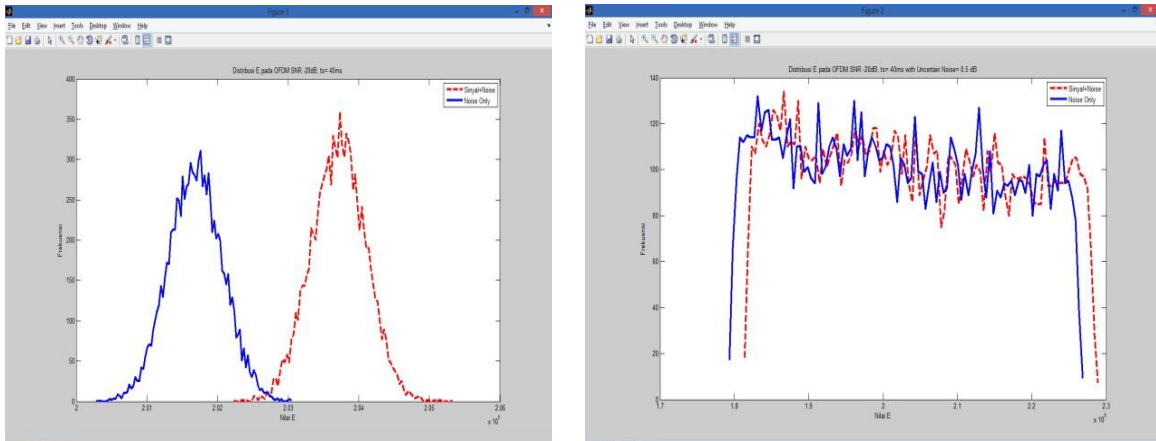


Gambar 4. 5 *Received Throughput* pada SNR -20dB dengan $P_{fa}=0.05$ dan $t_s=1\text{ms}$

Gambar 4.5 merupakan representasi dari *received throughput* dari masing-masing t_s yang berbeda. Dengan *sensing time* yang berbeda-beda, didapatkan pula *probability of detection* yang berbeda-beda juga. Diperlukan *probability of detection* yang besar agar tidak terjadi interferensi atau gangguan antara PU dan SU namun tidak mengesampingkan besarnya *throughput*. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa pada *sensing time* (t_s) = 24ms didapatkan *probability of detection* bernilai 0.9921. Dan didapat *received throughput* untuk kondisi (iii) sebesar 0.4387 bits/ms, (ii) sebesar 0.2503 bits/ms dan (i) sebesar 0.1040 bits/ms.

4.4 Analisis Faktor *Uncertain Noise*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja *energy detector* dengan *noise* yang mendekati kehidupan nyata. Dengan merubah *noise* yang digunakan sebagai *input energy detector*, yang awalnya *noise power* tersebut tetap atau *certain noise* menjadi *noise power* yang berubah-ubah atau *uncertain noise* untuk mendekati kondisi riil. *Uncertain noise power* yang digunakan yaitu 0.5dB. Berikut ini merupakan penjabaran hasil pengujannya.



[a]

[b]

Gambar 4. 6 Distribusi H_0 (*noise*(merah)) dan H_1 (sinyal+*noise*(biru)) pada SNR -20dB saat *sensing time* 40 ms dan *noise* berbeda [a] dengan *certain noise* [b] dengan *uncertain noise*

Kinerja detektor dikatakan baik bila terdapat pergeseran distribusi E yang besar antara H_0 dan H_1 . Pergeseran tersebut dipengaruhi oleh *sensing time* dan jumlah sampel yang digunakan. Jumlah sampel dipengaruhi oleh durasi dari *sensing time*. Semakin lama durasi *sensing time*, maka semakin banyak jumlah sampel yang digunakan. Jumlah sampel dan *sensing time* yang digunakan pada gambar 4.6[b] dan 4.6[a] berukuran sama. Gambar 4.6 menunjukkan perbedaan distribusi E dengan *input noise* yang berbeda. Pada gambar 4.6[a] menunjukkan pergeseran nilai distribusi E yang cukup besar dibandingkan dengan gambar 4.1[b]. Dengan geseran nilai E yang besar, akan meningkatkan kualitas deteksi dari *energy detector*. Nilai *probability of detection* yang dihasilkan pun akan meningkat. Namun, hal tersebut tidak ditunjukkan oleh gambar 4.6[b] yang merupakan hasil deteksi yang menggunakan *input noise* yang berubah-ubah atau *uncertain noise* didalam sinyal *input energy detector*. Dengan tidak adanya geseran nilai E antara *noise* dan sinyal yang signifikan atau besar, bisa dipastikan bahwa nilai *probability of detection* yang dihasilkan sangat rendah.

Maka, hasil deteksi dari *energy detector* dengan menggunakan *uncertain noise* tidak terlalu baik, karena *noise power* yang dihasilkan tidak selalu tetap atau mengalami perubahan (*uncertain noise*). Karena, pada dasarnya *energy detector* menggunakan pengetahuan tentang besar *noise power* dalam hal mendeteksi.

5. Kesimpulan

Sensing time mempengaruhi beberapa parameter kinerja deteksi. Seperti, banyaknya sampel, pergeseran distribusi E, *probability of detection* dan *throughput*. Semakin besar durasi *sensing time*, akan semakin besar juga sampel yang digunakan. Hal tersebut membuat pergeseran pada distribusi E yang semakin jauh. Semakin menjauhnya pergeseran distribusi E, akan mempermudah kerja dari *energy detector* untuk mendeteksi dan akan meningkatkan akurasi deteksi atau *probability of detection* nya.

Pada saat *sensing time* berdurasi 24ms, didapatkan *probability of detection* yang bernilai 0.9921. Dan didapat *received throughput* untuk kondisi (iii) sebesar 0.4387 bits/ms, (ii) sebesar 0.2503 bits/ms dan (i) sebesar 0.1040 bits/ms. Maka, *sensing time* tersebut tepat digunakan untuk *sistem cognitive radio* dengan teknologi OFDM. Karena pada teknologi OFDM, diperlukan *probability of detection* (P_d) yang besar untuk meminimalisir adanya gangguan atau interferensi dari SU kepada PU. Dan *throughput* yang relative besar agar pengguna merasa puas.. Dengan *sensing time* yang relatif cepat, maka tidak dibutuhkan waktu yang lama untuk mendeteksi kanal kosong dengan tepat dan mendapatkan rata-rata *throughput* yang relatif besar dalam *sistem cognitive radio network*. Penggunaan *energy detector* pada prakteknya kurang baik karena adanya *noise power* yang tidak menentu atau *uncertain noise*.

DAFTAR REFERENSI

- [1] S. Stergios, and N. Arumugam, "Overcoming the Sensing-Throughput Tradeoff in Cognitive Radio Networks", 2010.
- [2] J. Ma, G. Y. Li, and B. H. Juang, "Signal processing in cognitive radio," Proc. IEEE, vol. 97, no. 5, pp. 805–823, May 2009.
- [3] H. A. Mahmoud, T. Yucek, and H. Arslan, "OFDM for cognitive radio: Merits and challenges," IEEE Wireless Commun. Mag., vol. 16, no. 2, pp. 6–15, Apr. 2009.
- [4] Alexander M. Wyglinski, Maziar Nekovee, Thomas Hou, "Cognitive Radio Communications and Network," London 2010, pp 6-8.
- [5] 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.
- [6] H. Juha, T. John, "OFDM Wireless LANs-A Theoretical and Practical Guide", SAMS, 2001.
- [7] Prasad, Ramle., "Wireless Broadband Multimedia Communication," Artech House, Inc. Boston, London, 2004, pp 10-14.
- [8] Introduction to CDMA Wireless Communications Oleh Mosa Ali Abu-Rgheff
- [9] Honggang Zhang, Xiaofei Zhou and Tao Chen, "Cognitive Radio Networks", edited by Yang Xiao and Fei Hu, CRC Press, 2008.
- [10] R. Ahmad & Y.A. Ghous. (2010, May.) "Detection of vacant frequency bands in Cognitive Radio," Master's thesis, [online]. Available: [http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/1208e8ed996a4658c1257750006e335c/\\$file/Final_Thesis_Report.pdf](http://www.bth.se/fou/cuppsats.nsf/all/1208e8ed996a4658c1257750006e335c/$file/Final_Thesis_Report.pdf)
- [11] 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.
- [12] Jondral, F.K, "Software-Defined Radio _ Basic and Evolution to Cognitive Radio," EURASIP J. Wireless Communication and Networking, 2005.
- [13] 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.
- [14] M. Andreas Mitschele. "Cognitive radio The IEEE 802.22 standard", Integrated Communication Systems Group, Desember 2011.
- [15] 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