SIMULASI DAN ANALISIS PENGARUH *SENSING SCHEDULING* TERHADAP KINERJA *THROUGHPUT* PADA *COGNITIVE RADIO NETWORK*

SIMULATION AND ANALYSIS OF SENSING SCHEDULING FOR PERFORMANCE THROUGHPUT ON COGNITIVE RADIO NETWORK

Rezzy Ferli Yanza / 1101120159

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Rezzyferliyanza@students.telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

Tekonologi telekomunikasi saat ini terus berkembang, salah satunya ialah di jaringan nirkabel yang telah mengalami pertumbuhan pesat selama dua dekade terakhir. Perkembangan ini telah menyebabkan masalah kelangkaan spektrum, karena banyak dari spektrum utama telah dilisensi untuk aplikasi tertentu. Namun, menurut pengukuran terakhir penggunaan spektrum nirkabel, spektrum berlisensi sebenarnya sangat kurang dimanfaatkan. Untuk mengatasi masalah kurang effisiennya penggunaan spektrum dapat diatasi dengan penggunaan teknologi *cognitve radio*. Oleh karena itu, dikembangkan teknologi *cognitive radio* dengan fungsi *spectrum sensing* untuk mendeteksi spektrum yang tidak terpakai lalu bisa digunakan untuk pengguna lain agar lebih efisien dan efektif.

Pada tugas akhir ini, dilakukan simulasi dan analisis teknologi *cognitive radio* menggunakan metode deteksi energy pada Matlab R2011b. Sinyal *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) digunakan sebagai sinyal *primary user* (PU) dan kemudian ditransmisikan melalui kanal *Rayleigh* yang ditambahkan *Additive White Gaussian Noise* (AWGN).

Pada tugas akhir ini dilakukan analisis pengaruh kinerja *throughput* terhadap *sensing scheduling* yang dilakukan pada *secondary user* (SU) dalam mendeteksi spectrum primer. Hasilnya simulasi dan analisis yang dilakukan diperoleh bahwa semakin lama waktu *sensing* yang dilakukan pada saat *sensing scheduling* maka throughput yang dihasilkan akan semakin kecil karena waktu untuk transmisi data menjadi lebih sedikit. Hal tersebut dapat terlihat pada *sensing scheduling* dengan waktu jeda 15 ms yang menghasilkan throughput rata-rata sebesar 6.995572 bit/ms, sedangkan rata-rata throughput yang dihasilkan pada saat sensing scheduling dengan waktu jeda 200 ms adalah sebesar 113.6951 bit/ms.

Kata kunci : ***cognitive radio, sensing spectrum¸ sensing scheduling, Matlab, Throughput***

ABSTRACT

Today's telecommunications technology continues to evolve, one of which is on a wireless network that has experienced rapid growth over the last two decades. This development has led to the scarcity of spectrum, since many of the main spectrum has been licensed for a particular application. However, according to recent measurements of wireless spectrum, licensed spectrum was not utilized. Therefore, cognitive radio technology developed with spectrum sensing function to detect unused spectrum can then be used for other users to be more efficient and effective.

In this final project simulation and analysis of cognitive radio technology uses energy detection method in Matlab R2011b. Signal Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) is used as a signal of the primary user (PU) and then transmitted over Rayleigh channels were added Additive White Gaussian Noise (AWGN).

In this final project analyzes the influence of throughput performance of sensing scheduling that is used in secondary user (SU) in detecting the primary spectrum. the results showed that the longer sensing time at the sensing scheduling made throughput become smaller because time for data transmission decreased. This

can be seen in sensing scheduling with 15 ms intervals which produces an average throughput of 6.995572 bits/ms, while the average throughput that is generated upon sensing scheduling with a time lag of 200 ms is equal to 113.6951 bits/ms.

Keyword : cognitive radio, sensing spectrum¸ sensing scheduling, Matlab, Throughput.

---

1. Pendahuluan

Semakin majunya peradaban dunia saat ini berdampak pada kebutuhan masyarakat akan sarana telekomunikasi yang handal terus berkembang terutama dibidang nirkabel atau wireless. Jaringan nirkabel telah mengalami pertumbuhan pesat selama dua dekade terakhir. Hal ini telah menyebabkan masalah kelangkaan spektrum, karena banyak dari spektrum utama telah dilisensi untuk aplikasi tertentu. Namun, menurut pengukuran terakhir penggunaan spektrum berlisensi sebenarnya sangat kurang dimanfaatkan. Dengan demikian, gagasan mengakses spektrum secara dinamis telah menarik perhatian yang cukup besar yang memungkinkan pengguna tanpa izin (disebut sebagai *secondary user*) untuk mengakses spektrum pada waktu tertentu dan lokasi kapan dan dimana pengguna berlisensi (disebut sebagai *primary user*) tidak aktif. Dalam sistem tersebut, untuk menghindari gangguan terhadap jaringan utama, perlu bagi *secondary user* untuk menentukan (biasanya melalui *spectrum sensing*) apakah terdapat kegiatan dari *primary user* dalam spektrum sebelum transmisi dilakukan oleh *secondary user*. Untuk mengatasi kekurangan tersebut, maka dibutuhkan sebuah teknologi baru dengan regulasi manajemen sumber daya spektrum frekuensi yang dinamis agar memperoleh hasil yang efektif dan efisien. Teknologi *cognitive radio* bisa menjadi solusi dari kekurangan tersebut. *Cognitive radio* (CR) telah menarik perhatian besar di dunia karena kemampuannya beroperasi di band berlisensi tanpa mempunyai lisensi band tersebut.

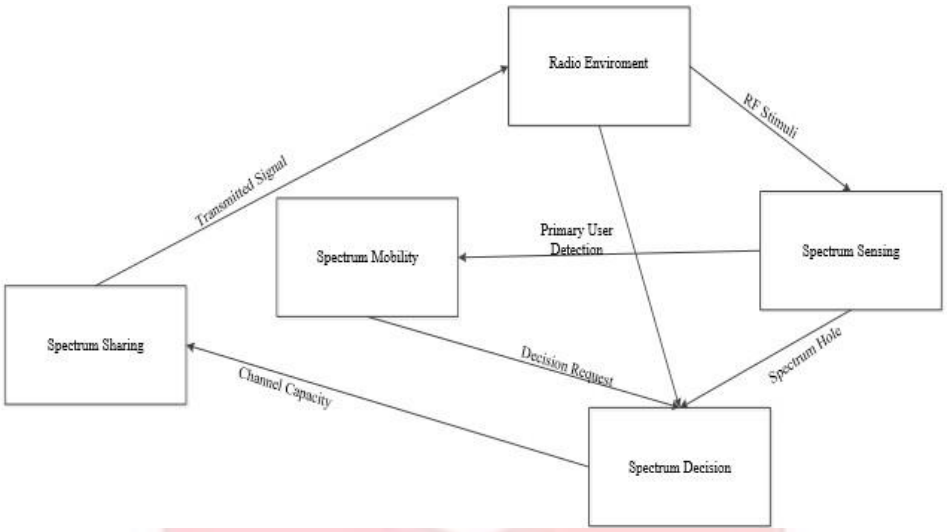
Cognitive Radio (CR) adalah teknologi baru yang memungkinkan SU untuk menggunakan spektrum primer setiap kali tersedia. CR pada prinsipnya mendeteksi spektrum frekuensi yang kosong pada tempat dan waktu tertentu. Setelah spektrum frekuensi tertentu dideteksi, maka spektrum frekuensi yang kosong bisa digunakan untuk mentransmisikan informasi yang lain. Sehingga teknologi ini memungkinkan penggunaan sumber daya frekuensi lebih efisien. Pada penelitian sebelumnya, telah digunakan metode matriks kovariansi sinyal dalam mendeteksi keberadaan *primary user* dan menggunakan *space time block coding* (STBC) sebagai sinyal yang digunakan *primary user*. Oleh karena itu, CR merupakan teknologi yang sangat tepat untuk dikembangkan.

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan simulasi terhadap sebuah skenario *cognitive radio* dengan menggunakan Matlab. Tujuan simulasi ini untuk menganalisis tentang penjadwalan *sensing* yang dibutuhkan oleh *secondary user* untuk mendeteksi spektrum primer dan dapat melakukan transfer data tanpa adanya interferensi yang ditimbulkan oleh *secondary user* terhadap *primary user* dan *throughput* yang didapatkan oleh *secondary user*.

2. Dasar Teori

2.1 *Cognitive Radio*

Cognitive radio adalah sistem komunikasi nirkabel yang dapat mengenal kondisi lingkungannya dan menggunakan metodologi pemahaman dengan mempelajari kondisi lingkungan dan mengadaptasi dengan mengubah kondisi parameter yang dapat disesuaikan (seperti daya pancar, frekuensi dan strategi modulasi), semuanya dalam kondisi yang *real time* [1].



Gambar 2. 1 Siklus Cognitive Radio

Fungsi dari gambar di atas adalah [4]:

1. *Spectrum sensing*: mampu mendeteksi kanal yang tidak digunakan oleh (PU). Kemudian kanal tersebut dapat digunakan oleh (SU) tanpa menimbulkan interferensi dengan pengguna lain.
2. *Spectrum management*: menentukan kanal kosong yang tersedia sesuai dengan permintaan. Fungsi managemen meliputi spectrum analysis dan spectrum decision.
3. *Spectrum mobility* : merupakan proses perpindahan frekuensi operasi untuk digunakan oleh (SU)
4. *Spectrum sharing*: menyediakan metode penjadwalan spektrum yang adil.

Dalam teknologi *cognitive radio* dikenal juga istilah *primary user* dan *secondary user*. *Primary user* (PU) didefinisikan sebagai pengguna yang mempunyai lisensi sah dalam kepemilikan spektrum frekuensi tertentu atau pengguna yang mempunyai prioritas paling tinggi dalam penggunaan spektrum frekuensi. Sedangkan *secondary user* (SU) adalah pengguna yang tidak mempunyai lisensi dalam kepemilikan spektrum frekuensi atau pengguna yang mempunyai tingkat prioritas lebih rendah daripada PU. Sehingga pengguna tersebut tidak dapat memakai kanal yang telah dipakai oleh PU. SU harus mempunyai kemampuan *cognitive radio*, seperti kemampuan mendeteksi spektrum frekuensi, apakah kanal yang biasanya digunakan oleh PU sedang terpakai atau tidak.

2.2 Konsep Deteksi dalam pengolahan sinyal

2.2.1 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 teradapat sinyal (kanal terisi) dan ketika *noise* saja (kanal kosong). Oleh karena itu, diputuskan antara hipotesis H_0 (kanal kosong) dan H_1 (kanal terisi) dengan menggunakan satu sampel. Maka dibuat persamaan [5]:

$$H_0 : x[0] = w[0]$$

$$H_1 : x[0] = s[0] + w[0], \qquad (2.1)$$

s = sinyal

w = *noise*

Probability Density Function (PDF) di setiap hipotesis dilambangkan dengan $p(x[0]; H_0)$ dan $p(x[0]; H_1)$

$$p(x[0]; H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} x^2[0]\right)$$

$$p(x[0]; H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(x[0] - s[0])^2\right) \quad (2.2)$$

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[5]. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk mendeteksi dengan mempertimbangkan banyak data:

$$H_0 : x(n) = w(n) \qquad n=0,1,\ldots,N-1$$

$$H_1 : x(n) = s(n) + w(n) \qquad n=0,1,\ldots,N-1 \quad (2.3)$$

Dimana s(n) = deterministic

Dan w(n) adalah *noise* terdistribusi *Gaussian* (AWGN). Rata-rata hasil akan digunakan untuk menentukan *test statistic* T sehingga bisa diputuskan H_1 apabila:

$$T = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x(n) > \gamma \quad (2.4)$$

Dimana γ adalah *threshold*.

2.2.2 Neyman-Pearson

Pendekatan Neyman – Pearson mensyaratkan *probability false alarm* (P_{fa}) ditentukan terlebih dahulu dengan harga tertentu ($P_{fa} = \alpha$). P_{fa} yang ditentukan akan mempengaruhi proses deteksi untuk mendapatkan nilai dari *probability detection* (Pd). *Pd* merupakan hasil probabilitas pendeteksian benar saat kanal dianggap terisi.

Test statistic T merupakan *variabel random* yang mempunyai distribusi tertentu. Untuk melakukan deteksi pada spectrum *sensing* diperlukan *threshold* yang membedakan dimana daerah keputusan H_0 (kanal kosong) dan H_1 (kanal terisi).

Jika $p(T/H_0)$ menyatakan fungsi rapat kemungkinan (*probability density function* (PDF)) saat kanal kosong, maka fungsi distribusi komulatif (*comulative distribusi function* (CDF)) $P(T/H_0)$ saat kanal kosong adalah:

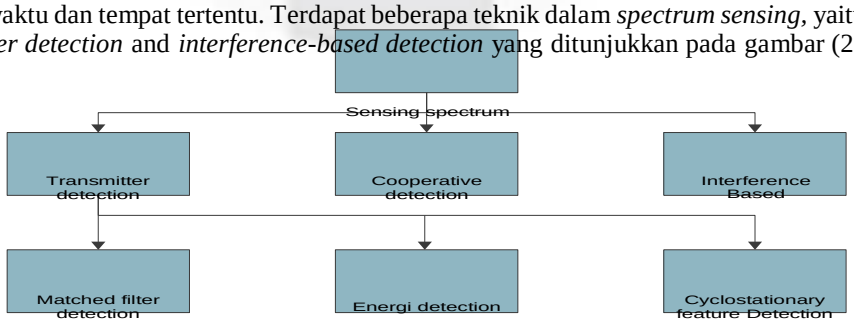
$$P(T/H_0) = \int_{-\infty}^{T} p(T/H_0)\, dT \quad (2.5)$$

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

$$\alpha = 1 - P(T/H_0) \quad (2.6)$$

2.3 Spectrum Sensing

Spectrum sensing adalah salah satu tahapan penting dalam teknologi *cognitive radio. Spectrum sensing* didefinisikan sebagai kemampuan merasakan atau mendeteksi penggunaan *spectrum* frekuensi dan eksistensi primary user pada waktu dan tempat tertentu. Terdapat beberapa teknik dalam *spectrum sensing*, yaitu *cooperative detection*, *transmitter detection* and *interference-based detection* yang ditunjukkan pada gambar (2.6).[4]



Gambar 2. 2 Perbedaan Teknik *spectrum sensing*

Dalam teknik *transmitter detection*, sinyal lemah dari pemancar PU terdeteksi atas dasar pengamatan lokal dari SU. Metode *transmitter detection* tergantung pada model hipotesis yang di definisikan sebagai:

$$x(t) = \begin{cases} n(t) & Ho \\ hs(t) + n(t) & H1 \end{cases} \qquad (2.7)$$

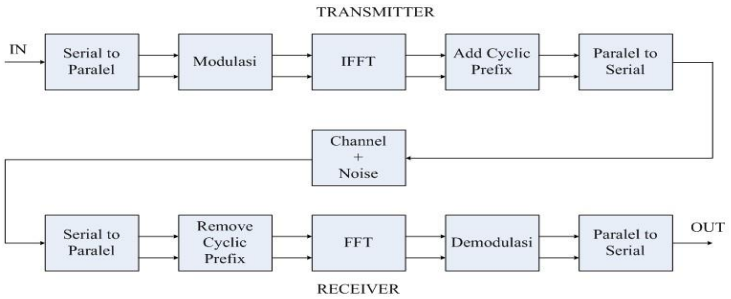
Dimana x(t) adalah sinyal yang diterima oleh pengguna cognitif, s(t) adalah sinyal yang dikirimkan oleh PU, n(t) adalah *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) dan *h* merupakan gain kanal amplitudo. Ho adalah hipotesis nol, yang menggambarkan tidak adanya pengguna berlisensi di sebuah band spektrum tertentu. Sebaliknya, H1 adalah hipotesis alternatif, yang menggambarkan adanya beberapa sinyal PU. [4,6]

transmitter detection dibagi lagi menjadi tiga teknik yang berbeda:

1. *Matched Filter Detection*
2. *Energy Detection*
3. *Cyclostationary Feature Detection*

2.4 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan sebuah teknik transmisi yang menggunakan beberapa frekuensi (*multicarrier*) di dalam satu saluran, di mana setiap frekuensi *carrier* saling tegak lurus (*orthogonal*).



Gambar 2. 3 Blok Diagram OFDM [11]

2.5 Spectrum Sensing Scheduling

Spectrum Sensing Scheduling adalah menetapkan waktu *sensing* bagi SU agar lebih efisien saat *sensing*, sehingga SU tidak perlu melakukan *sensing* secara terus-menerus dan hanya akan melakukan *sensing* pada waktu tertentu saja. Mekanisme tersebut dapat membantu mengurangi konsumsi energi secara keseluruhan untuk *spectrum sensing* [13], memaksimalkan efisiensi spektrum dari sitem operasi CR dan juga dapat memaksimalkan *throughput* sistem [14].

2.6 Throughput

Throughput didefinisikan sebagai *rate*/besaran data yang dikirimkan dari sumber ke tujuan atau tingkat rata-rata keberhasilan pengiriman pesan melalui kanal komunikasi.

C_0 menunjukkan *throughput* pada *cognitive radio network* ketika bekerja pada saat PU tidak ada, dan C_1 ketika bekerja dengan keberadaan PU, maka dapat dinyatakan dengan [15]:

$$C_0 = \log(1 + h_i P_i) \qquad (2.12)$$

$$C_1 = \log\left(1 + \frac{h_i P_i}{1 + I_{pu} P_i}\right) \qquad (2.13)$$

dimana P_i adalah daya pancar pada pemancar utama, dan daya *noise* diasumsikan satu.

Sehingga *throughput* rata-rata untuk jaringan CR dapat dinyatakan dengan

$$C_{avg}(P_i) = P_{fa}(P_i)[P_{fa}(P_i) + P_d(P_i)], \qquad (2.14)$$

Dimana $P_{fa}(P_i) = \frac{T - t}{T}$, T merupakan *frame duration*.

Saat $\gamma > \gamma_t$ dan $\gamma(\gamma) \gg \gamma(\gamma)$, $\gamma(\gamma)$ dapat didekati dengan

$$\gamma(\gamma) = \gamma(\gamma)\,\gamma[\gamma_2\gamma(\gamma)] \qquad (2.15)$$

3. PERANCANGAN SISTEM

Simulasi dilakukan dengan bantuan Matlab. Pada tahap pertama akan dibangkitkan sinyal OFDM menggunakan Matlab R2011b sebagai sinyal untuk primary user. Kemudian pembentukan kanal *Rayleigh* yang akan digunakan sebagai media transmisi dan dilakukan penambahan AWGN kedalam kanal *Rayleigh*. Data yang dikirimkan selalu berbeda di setiap waktu pengirimannya. Pada tahap pertama ini digunakan nilai SNR yang berbeda-beda, mulai dari SNR -10 dB sampai dengan SNR 10 dB. Hal tersebut dilakukan untuk melihat perbedaan level *signal power* dan level *noise power*. Pada tahap ini juga dilakukan penentuan durasi *sensing time* yang akan dilakukan pada saat *sensing* dilakukan.

Pada tahap kedua di lakukan pembuatan script Matlab untuk melihat pengaruh perubahan *Pfa* terhadap *Pd* dan terhadap nilai SNR tadi. Hal ini dilakukan untuk melihat seberapa bagus kinerja *detector*, Kemudian direpresentasikan dalam kurva ROC. Nilai *pfa* yang digunakan yaitu 5% - 100%.

Pada tahap ketiga dilakukan pembentukan *script* Matlab untuk proses *sensing* dan *script* untuk nilai *throughput*. Data yang dihasilkan di tahap pertama di gunakan lagi pada tahap ini sebagai informasi yang akan digunakan saat proses *sensing* dilakukan. Nilai *Pfa* yang digunakan sebesar 5% dan nilai *Pd* yang digunakan sebesar 95%. Keberadaan *primary user* dibikin acak sehingga tidak diketahui secara pasti kapan primary user ada. Ditahap ini juga dilakukan *scheduling sensing*.

4. PENGUJIAN DAN ANALISIS

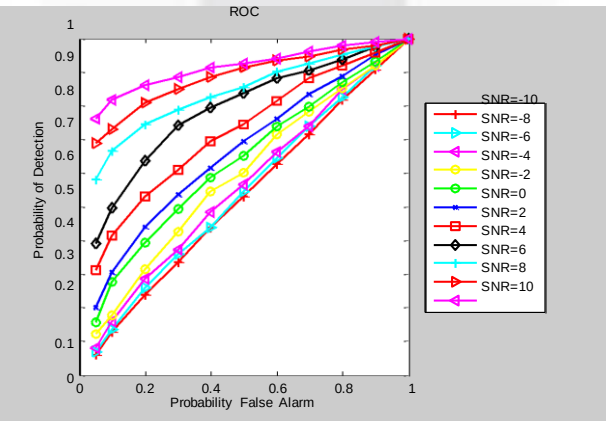
4.1 Analisis SNR

SNR adalah perbandingan daya sinyal terhadap daya *noise* [14]. SNR yang ditinjau pada Tugas Akhir ini adalah -10db sampai 10db [14]. Pada percobaan ini ingin membuktikan pengaruh perubahan SNR terhadap kinerja *detector*.

Dari hasil simulasi dan analisis dapat diketahui bahwa semakin besar SNR yang digunakan maka semakin jauh jaraka antara tingkat *signal power* dan tingkat *noise power*. Semakin jauh jarak antara *signal power* dan noise power maka akan semakin bagus kinerja *deterctor*.

4.2 Analisis Kurva ROC

Kurva ROC (*receiver operating characteristic*) digunakan untuk mempresentasikan kinerja *spectrum sensing* pada OFDM. Kurva ROC menunjukan perbandingan *Pfa* dan *Pd*. Simulasi dilakukan untuk membandingkan kualitas *Pd* terhadap *Pfa* yang diatur (5% - 100%) terhadap setiap SNRnya.



Gambar 4. 1 Kurva ROC untuk Pfa yang berbeda

Gambar (4.2) menunjukan perubahan variansi SNR terhadap perubahan *Pfa* yang mempengaruhi *Pd*. Dari gambar menunjukkan bahwa nilai Pd juga bervariasi terhadap SNR yang berbeda dan SNR yang digunakan pada simulasi ini yaitu -10, -8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8, dan 10. *Pfa* yang digunakan dari 0.05 sampai dengan 1.

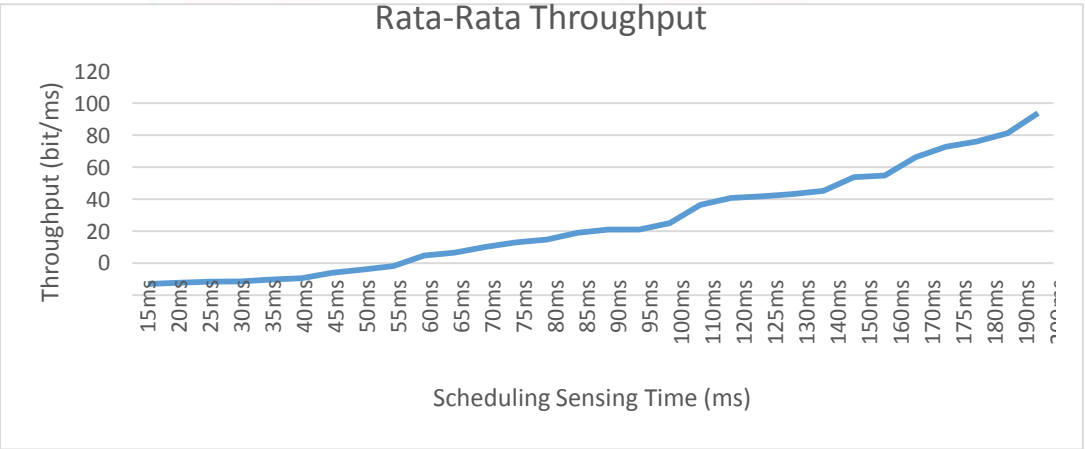
Pada grafik dapat dilihat bahwa ketika SNR -10 dB sampai 0 dB masih menghasilkan nilai *pd* maksimum sekitar 0,2. Dari grafik juga dapat dilihat bahwa dari SNR -10 db sampai 0 dB, perubahan pada nilai *pd* masih sangan kecil. Sedangkan pada SNR 2 db sampai 10 dB menujukkan perubahan nilai pd yang cukup besar jika dibandingkan dengan SNR -10 dB sampai 0 dB.

Ketika *Pfa* meningkat maka *Pd* juga akan meningkat dan itu juga ditunjukkan pada saat SNR=10, *probability detection* cukup baik.

Ketika nilai SNR terus meningkat maka *probability detection* juga akan meningkat. *Pd* yang tinggi dapat membuat kinerja deteksi energi semakin baik.

4.3 Analisis Kinerja Throughput

Pada Tugas Akhir ini, untuk mengetahui kinerja *throughput* terhadap penjadwalan waktu *sensing* maka dilakukan 30 kali percobaan dengan menggunakan penjadwalan waktu *sensing* yang berbeda-beda. Gambar dibawah ini menunjukkan hasil kinerja *throughput* berdasarkan penjadwalan waktu *sensing* yang berbeda-beda.



Gambar 4. 2 Rata-Rata Throughput terhadap Scheduling Sensing Time

Pada gambar (4.12) menunjukkan nilai rata-rata *throughput* dari masing-masing *scheduling sensing time* yang telah dilakukan. Data diatas didapatkan dari 30 kali percobaan dengan batas sensing time 1000 ms yang telah dilakukan dengan penjadwalan *sensing time* yang berbeda-beda. Penjdawalan yang dilakukan pada tugas akhir ini yaitu dengan penjadwalan *time sensing* untuk setiap jeda waktu 15 ms, 20 ms, 25 ms, 30 ms,35 ms, 40 ms, 45 ms, 50 ms, 55 ms, 60 ms, 65 ms, 70 ms, 75 ms, 80 ms, 85 ms, 85 ms, 90 ms, 100 ms, 110 ms, 120 ms, 125 ms, 130 ms, 140 ms, 150 ms, 160 ms, 170 ms, 175 ms, 180 ms, 190 ms, dan percobaan yang terakhir untuk setiap jeda waktu 200 ms.

Dari 30 percobaan tersebut diketahui nilai rata-rata *throughput* tertinggi sebesar 113.6951 bit/ms terdapat pada percobaan dengan penjadwalan *sensing time* untuk setiap 200 ms. Dari percobaan pertama sampai percobaan ke-30 menunjukkan bahwa nilai rata-rata throughput yang dihasilkan selalu meningkat meskipun tidak terlalu signfikan.

Dari data yang ditunjukkan pada gambar diatas, semakin sedikit sensing time yang dilakukan maka dapat memaksilkan jumlah rata-rata throughput yang dihasilkan, dikarenakan semakin lama waktu sensing yang dilakukan maka semakin sedikit data yang dapat ditransmisikan sehingga rata-rata throughput semakin kecil. Hal tersebut bisa dilihat seperti pada percobaan awal dengan penjadwalan *sensing time* untuk jeda waktu 15 ms yang hanya mendapatkan nilai rata-rata *throughput* sebesar 6.995572 bit/ms.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari simulasi dan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan:

1. Pada kenyataannya terdapat perbedaan *noise power* dan *signal power* pada pendeteksian menggunakan deteksi energi. Pada setiap SNR yang berbeda menghasilkan *noise power* yang berbeda.
2. Perubahan pada nilai SNR berpengaruh pada kinerja *detector*.
3. Kurva ROC menunjukkan semakin tinggi nilai SNR maka akan semakin tinggi juga nilai dari *Pd* nya yang artinya kinerja *sensing spectrum* semakin bagus.
4. Semakin banyak waktu *sensing* yang digunakan maka nilai *throughput* yang didapatkan juga akan semakin rendah karena waktu yang untuk transmisi data semakin sedikit.
5. Nilai rata-rata *throughput* tertinggi didapatkan pada saat percobaan penjadwalan waktu *sensing* untuk setiap 200 ms sebesar 113.6951 bit/ms, sedangkan nilai rata-rata *throughput* terendah didapatkan pada saat percobaan dengan penjadwalan waktu sensing untuk setiap 15 ms sebesar 6.995572 bit/ms.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Alexander M. Wyglinski, Maziar Nekovee, Thomas Hou, "Cognitive Radio Communications and Network," London 2010, pp 6-8.

[2] Haykin S. (2005), "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 23, no 2.

[3] Mitola J. (1999), "Cognitive Radio for Flexible Multimedia Communications", Proc. of IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications '99 (MoMuC '99), pp. 3 –10.

[4] I.F. Akyildiz, W.Y. Lee and M.C. Vuran, "*Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey*," IEEE Transaction on Computer Networks, vol. 50, no. 13, pp. 2127-2159, May, 2006.

[5] Steven M. Kay, "*Fundamental of Statistical Signal Processing Volume*," vol 2, pp 20-50, Upper Saddle River, New Jersey 1998.

[6] 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

[7] D. Cabric, S.M. Mishra, R.W. Brodersen , "*Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios*," Conference Record of the Thirty-Eighth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computer , vol.1, pp. 772- 776, Nov. 2004.

[8] Honggang Zhang, Xiaofei Zhou and Tao Chen, "*Cognitive Radio Networks*", edited by Yang Xiao and Fei Hu, CRC Press, 2008.

[9] A. Aftab, M.N. Mufti.(2010, Nov) "*Spectrum sensing through implementation of USRP2*,"Master's thesis. [online]. Available: http://www.bth.se/com/mscee.nsf/attachments/webbinder_pdf/$file/webbinder.pdf

[10] Hakim. M. L, "*Analisis Kinerja Sistem MIMO-OFDM Pada Kanal Rayleigh dan AWGN dengan Modulasi QPSK*", Undip Semarang, 2010.

[11] Petronella. 2015. OFDM (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING). http://petronella.blog.st3telkom.ac.id. Diakses pada tanggal 2 Desember 2015.

[12] Qiwei Zhang, Andre B.J. Kokkeler and Gerard J.M. Smit, "Adaptive OFDM System Design For Cognitive Radio", *Department of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science University of Twente.*

[13] H. Li, X. Cheng, K. Li, X. Xing, T. Jing,"*Utility-Based Cooperative Specterum Sensing Scheduling in Cognitive Radio Networks*,"in *IEEE INFOCOM*, 2013.

[14] A.T. Hoang and Y.C. Liang,"*Adaptive Scheduling of Spectrum Sensing Periods in Cognitive Radio Networks*,"Institute for Infocomm Research,Heng Mui Keng Terrace, Singapore.

[15] Errong PEI∗, Jibi LI, Fang CHENG, "*Sensing-throughput Tradeo*ff *for Cognitive Radio Networks with Additional Primary Transmission Protection*" Journal of Computational Information Systems 9:10, pp.3767–3773, (2013). [online]. Available : http://www.Jofcis.com

[16] Shellhammer, S dan Chouinard, G, "Spectrum *Sensing* requirement summary," IEEE 802.22- 05/802.22-06-0089-05-0000, Juli 2006.

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

[18] 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.€