

ANALISIS KINERJA URUTAN *SENSING* SPEKTRUM BERDASARKAN LAJU TRANSMISI KANAL

PERFORMANCE ANALYSIS OF SPECTRUM SENSING ORDER BASED ON CHANNEL TRANSMISSION RATE

Ahmad Sulaeman¹, Arfianto Fahmi², Afief Dias Pambudi³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
ahmaddune@gmail.com¹, arf@ittelkom.ac.id², afb@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Penggunaan kanal kosong yang efektif dan efisien merupakan hal yang sangat penting bagi *secondary user* karena terbatasnya kesempatan untuk memanfaatkan kanal tersebut. Sehingga dibutuhkan cara untuk mencari kanal kosong yang efektif dan efisien agar dapat memanfaatkan kanal tersebut dengan maksimum. Pada penelitian ini, *secondary user* melakukan *sensing* spektrum berdasarkan urutan laju transmisi kanal terhadap sinyal *primary user* yang berupa sinyal OFDMA. Evaluasi dan analisis dilakukan terhadap kinerja detektor energi berdasarkan periodogram yang digunakan untuk *sensing* spektrum dan kinerja urutan *sensing* spektrum berdasarkan laju transmisi kanal. Selain itu, evaluasi dan analisis dilakukan terhadap hubungan kinerja detektor dan kinerja urutan *sensing* spektrum berdasarkan laju transmisi kanal. Hasil menunjukkan kinerja detektor energi berdasarkan periodogram dapat mencapai target *probability detection* 0,9 dan *probability false alarm* 0,1 pada SNR 7 dB. Saat kinerja energi detektor optimal, kinerja urutan *sensing* spektrum berdasarkan laju transmisi kanal menunjukkan perbaikan terhadap jumlah kanal kosong tersedia pada sinyal observasi dengan nilai maksimum *average reward* 61,9 kbps dan *channel utilization* 93%. Selain itu, penurunan kinerja urutan *sensing* spektrum terjadi dengan turunnya kinerja detektor, dengan faktor P_d menunjukkan penurunan yang lebih besar (*average reward* 27,8 kbps dan *channel utilization* 37,4%) dari pada faktor P_{fa} (*average reward* 28,7 kbps dan *channel utilization* 38,7%).

Kata kunci : *Cognitive Radio*, Urutan *Sensing* Spektrum, Deteksi Energi, Periodogram, *average reward*, *channel utilization*.

Abstract

An effective and efficient channel utilization is imperative for secondary user with constrain of opportunity to utilize the channel. So, an effective and efficient way to search the channel is needed to maximize the channel utilization. In this research, secondary user senses the channel according to achievable rate to primary user signal that is OFDMA. Evaluation and analysis are done to energy detector performance based on periodogram as used to spectrum sensing and spectrum sensing order performance based on channel transmission rate. Evaluation and analysis are done as well to relation between energy detector performance and spectrum sensing order performance based on channel transmission rate. The result shows performance of energy detector based on periodogram can reach the target of probability detection 0,9 and probability false alarm 0,1 when SNR 7 dB. When performance of energy detector is optimal, performance of spectrum sensing order based on channel rate shows the improvement to available free channel of observation signal with maximum average reward and channel utilization value are 61,9 kbps and 93%. Beside that, the performance of spectrum sensing order is reduce due to reduction of performance energy detector by poor probability detection factor which is greater (*average reward* 27,8 kbps dan *channel utilization* 37,4%) than probability false alarm factor (*average reward* 28,7 kbps dan *channel utilization* 38,7%).

Keyword : *Cognitive Radio*, Spectrum Sensing Order, Energy Detection, Periodogram, *average reward*, *channel utilization*.

1. Pendahuluan

Spektrum radio merupakan sumberdaya yang diatur oleh lembaga yang berwenang. Manajemen sumberdaya ini ditujukan agar setiap pengguna yang mendapat izin bisa mengakses spektrum dengan baik tanpa ada interferensi. Akan tetapi, beberapa penelitian menunjukkan bahwa banyak pita frekuensi pada spektrum radio tersebut kurang dimanfaatkan di sebagian besar waktu [1] [2] [3] [4]. Oleh karena itu, munculah sebuah gagasan baru yang dapat meningkatkan penggunaan alokasi spektrum tersebut yaitu *Cognitive Radio* (CR).

Pada jaringan *cognitive radio*, *secondary user* (SU) dapat mengakses spektrum ketika PU tidak aktif (*white spectrum*). Oleh karena itu, penting bagi SU untuk dapat memastikan bahwa spektrum dalam keadaan kosong atau tidak ada aktifitas PU sebelum mengirim informasinya. Jika SU gagal dalam mengidentifikasi spektrum, maka akan terjadi interferensi antara sinyal PU dan SU. karena keterbatasan hak dalam menggunakan kanal kosong, dibutuhkan cara untuk mencari kanal tersebut dengan efektif dan efisien [5].

Beberapa penelitian yang berhubungan dengan penelitian ini sudah dilakukan. Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Jiang, Lai, Fan, dan Poor 2009 [6], Fan dan Jiang 2009 [7] dan Cheng dan Zuang 2011 [8]. Dalam jurnal [6], urutan *sensing* spektrum dilihat dari kemungkinan kehadiran *primary user* pada suatu kanal atau disebut *intuitive channel sensing*. Pada penelitian selanjutnya [7], urutan *sensing* kanal dilakukan untuk kasus dua *secondary user* dengan menggunakan tiga protokol layer *medium access control* (MAC) tambahan. Pada [8], urutan *sensing* spektrum menggunakan informasi kapasitas dari setiap kanal dengan asumsi deteksi energi yang dilakukan sempurna. Berdasarkan hasil penelitian yang terdapat pada [8], cara yang digunakan mendapatkan hasil yang lebih baik daripada [7]. Bagaimanapun, kondisi kesalahan deteksi merupakan parameter kinerja detektor yang tidak bisa diabaikan karena beberapa faktor seperti SNR sinyal observasi. Untuk itu, pada penelitian ini akan dibahas kinerja urutan *sensing* spektrum berdasarkan laju transmisi kanal dengan pengaruh kinerja detektor energi berdasarkan periodogram.

Beberapa permasalahan yang muncul pada penelitian ini adalah bagaimana hubungan antara kondisi sinyal observasi terhadap kinerja detektor energi berdasarkan periodogram, bagaimana pengaruh *threshold* terhadap kinerja detektor, bagaimana pengaruh jumlah kanal dan *primary-free probability* terhadap kinerja urutan *sensing* spektrum dan bagaimana pengaruh kinerja detektor terhadap kinerja urutan *sensing* spektrum berdasarkan laju transmisi kanal.

Dalam penelitian ini, dilakukan simulasi dan analisis terhadap kinerja *sensing* spektrum dengan metode deteksi energi berdasarkan periodogram pada sinyal OFDMA dan terhadap kinerja urutan *sensing* spektrum berdasarkan laju transmisi kanal. Selain itu, dilakukan juga analisis terhadap hubungan antara kinerja detektor terhadap kinerja urutan *sensing* spektrum berdasarkan laju transmisi kanal.

2. Pemodelan sistem *sensing* spektrum

2.1. Model Sistem Jaringan *Cognitive radio single cell*

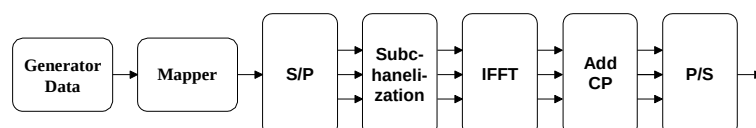
Jaringan CR merupakan jaringan yang dibentuk oleh dua subjaringan yaitu jaringan primer dan jaringan sekunder. Pada penelitian ini, jaringan primer terdiri dari sebuah *primary basestation* dan *primary user* (PU). Kemudian jaringan sekunder hanya terdiri dari sepasang *secondary user* (SU) *non-mobile* [8] [9].

Pada penelitian ini, sinyal yang diobservasi oleh jaringan sekunder adalah sinyal OFDMA yang proses pembangkitannya dapat dilihat pada gambar 1. PU yang terdapat pada sinyal OFDMA diletakkan secara acak yang terdistribusi berdasarkan permutasi *Partial usage subcarrier* (PUSC) WIMAX 802.16e [10]. Peluang kehadiran PU pada sinyal OFDMA tersebut adalah $1 - \theta$ dimana θ merupakan *primary-free probability*. Pada penelitian ini diasumsikan SU tidak mengetahui nilai *primary-free probability* pada sinyal observasi. Kemudian, sinyal OFDMA yang dibangkitkan oleh *primary basestation* dilewatkan pada kanal AWGN.

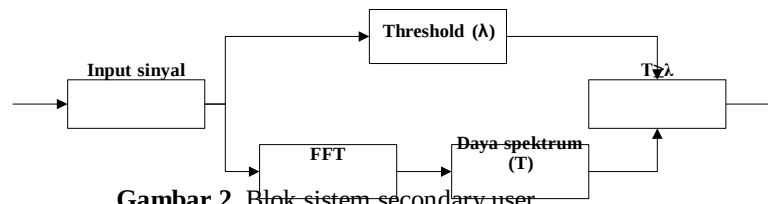
Jaringan sekunder dibentuk oleh dua SU *non-mobile* yaitu SU_1 dan SU_2 yang saling berkomunikasi. SU_1 diasumsikan sebagai pengirim sedangkan SU_2 sebagai penerima. Sebagai pengirim, SU_1 melakukan *sensing* spektrum terlebih dahulu sebelum mengirim informasi kepada SU_2 . Untuk mendapatkan kanal kosong dengan efektif dan efisien, SU_1 melakukan *sensing* spektrum berdasarkan urutan laju transmisi kanal.

Pada gambar 2, dapat dilihat blok dari detektor energi SU_1 . Detektor energi ini menggunakan periodogram untuk estimasi daya spektral. Pada detektor energi tersebut, sinyal observasi yang diterima oleh SU akan diubah kedalam domain frekuensi, setelah itu, setiap bin keluar FFT akan dihitung nilai kepadatan daya spektranya. Untuk menghitung periodogram dapat digunakan persamaan 1 [11]

$$V_N = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j2\pi f n} \right|^2 = \frac{1}{N} |X(f)|^2 \quad (1)$$



Gambar 1. Blok sistem generator sinyal pada primary basestation



Gambar 2. Blok sistem secondary user

Kemudian, hasil keluaran periodogram tersebut akan dibandingkan terhadap *threshold* untuk menentukan apakah *subcarrier* yang diobservasi merupakan *subcarrier* kosong atau *subcarrier* sibuk. Ketika *subcarrier* tersebut terdeteksi kosong, maka SU akan menggunakan *subcarrier* tersebut, tetapi jika *subcarrier* tersebut terdeteksi sibuk maka SU akan melakukan observasi terhadap *subcarrier* lain. Ada pun persamaan yang digunakan untuk menentukan *threshold* sesuai persamaan 2 [12]

$$\sigma_n^2 = -\frac{P_{fa}}{P_{fa} - 1} \sigma_n^2 \quad (2)$$

σ_n^2 adalah variansi dari *noise* dan P_{fa} adalah *probability false alarm*.

2.2. Model Sistem Urutan Sensing Spektrum

Pada model sistem ini, PU dibangkitkan pada sinyal OFDMA dengan jumlah kanal¹ sebanyak 128, 512, 1024 dan 2048. Waktu dibagi ke dalam *timeslot*, dimana durasi satu *timeslot* adalah 5 ms (T) dan tiap *time slot* terdiri dari N kanal. Urutan *sensing* kanal setiap SU adalah $(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_N)$ yang merupakan permutasi dari $(1, 2, 3, \dots, N)$. Setiap SU akan melakukan *sensing* kanal selama 90 μs untuk setiap kanalnya, dengan waktu *sensing* maksimum adalah $90 \mu s$ dan $90 \mu s < T$. Dalam durasi satu *timeslot* yang diberikan, SU melakukan proses deteksi kanal secara teratur berdasarkan urutan *sensing* yang didapat, dan berhenti setelah mendapatkan kanal kosong pertama, kemudian SU akan menggunakan kanal tersebut untuk mengirim informasi [8].

SU diasumsikan dapat mendeteksi N kanal untuk setiap total waktu *sensing* secara serial seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Setelah SU mendeteksi $(k-1)$ kanal sibuk pertama dan berhenti pada kanal ke k , SU menggunakan kanal tersebut untuk mengirim informasi selama sisa *time slot* yang ada. Dari penjelasan tersebut dapat dihitung durasi yang digunakan untuk proses *sensing* kanal dalam satu *time slot* adalah τ_k dan waktu untuk melakukan *sensing* pada kanal ke k dimana nilai tersebut didapat melalui persamaan 3 [8] [13].

$$\tau_k = 1 - \frac{P_{fa}}{P_{fa} - 1} \quad (3)$$

Jika nilai k semakin besar, maka nilai τ_k dan efektif laju pengiriman informasi semakin menurun akibat dari proses *sensing* [8].

2.3. Urutan Sensing Spektrum

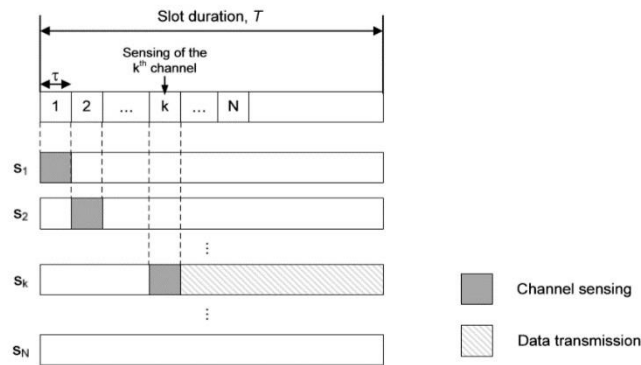
Dalam jaringan CR, bagian spektrum kosong yang tidak digunakan PU akan dimanfaatkan oleh SU untuk mengirim informasi. Secara objektif, sistem SU akan menentukan waktu untuk berhenti pada suatu kanal dengan tujuan mendapatkan hasil maksimum. Untuk N buah kanal dalam satu *time slot*, sistem akan diformulasikan sebagai *finite-horizon stopping problem* [8] [14].

Diasumsikan kanal transmisi antara SU_1 dan SU_2 telah diestimasi dengan sempurna. Informasi yang didapat dari estimasi kanal merupakan nilai *signal to Noise ratio* (SNR) antara sepasang SU. kemudian, nilai SNR hasil estimasi tersebut akan digunakan oleh SU_1 untuk menentukan laju transmisi setiap kanalnya dengan menggunakan formula kapasitas Shannon (R) sesuai persamaan 4 [15]

$$R_k = W \log_2(1 + SNR_{sk}) \text{ bits/second} \quad (4)$$

dimana W adalah bandwidth kanal sebesar 11,16 KHz. Setelah itu, SU akan menentukan urutan *sensing* kanal dalam satu *time slot* berdasarkan laju transmisi untuk setiap kanal yang sudah diestimasi. Jika $i < j$, maka $R_i \geq R_j$ dimana R_k merupakan laju transmisi pada kanal ke k . Dengan kata lain, SU akan melakukan proses deteksi kanal

¹ Pada penelitian ini, kanal diartikan sebagai *subcarrier* atau sebaliknya. Penggunaan kata kanal lebih ditekankan pada sisi SU dan pada saat penyebutan satu *subcarrier*. Sedangkan kata *subcarrier* lebih ditekankan pada sisi PU dan saat penyebutan beberapa *subcarrier*.



Gambar 3. Ilustrasi prosedur *sensing* kanal [8]

dimulai dari kanal dengan nilai estimasi λ_k terbesar hingga terkecil. Proses tersebut akan diulangi untuk setiap *time slot* yang berbeda.

Asumsikan kinerja detektor SU berada pada kondisi optimal ($P_d = 1$). Jika kanal ke k merupakan kanal kosong, proses deteksi tidak akan terjadi. SU akan mendapatkan *reward* sebesar λ_k karena SU langsung mengirim informasi dengan laju transmisi λ_k pada kanal tersebut, sehingga *reward* yang didapat oleh SU pada kanal ke k dapat ditulis sesuai persamaan 5 [8] [13]

$$\lambda_k = \lambda_k \quad (5)$$

Jika pada proses deteksi terjadi kesalahan dalam menentukan keberadaan PU (kinerja deteksi tidak optimal), maka *reward* yang didapat oleh SU pada kanal ke k adalah sesuai persamaan 6 [13]

$$\lambda_k = \lambda_k W \log_2 \left(1 + \frac{P_{su}}{P_{pu} + N_0} \right) \quad (6)$$

P_{su} merupakan daya *transmit* SU dengan *noise background* N_0 dan P_{pu} adalah daya interferensi dari PU yang terukur di SU. Kondisi ini terjadi ketika SU salah mendeteksi keberadaan PU dalam kanal yang diobservasi, sehingga ketika SU menganggap kanal tersebut sebagai kanal kosong dan kemudian menggunakannya, maka pada kanal tersebut akan terjadi interferensi antara SU dan PU.

Pada penelitian ini, kanal-kanal yang sudah dideteksi tidak dapat dipanggil kembali untuk dideteksi ulang, dengan kata lain, proses memutuskan untuk tidak atau menggunakan kanal ditentukan saat proses deteksi. Dengan urutan *sensing* kanal seperti yang telah dijelaskan, maka SU akan mendapatkan *reward* maksimum saat berhenti pada kanal kosong pertama.

2.4. Parameter yang dievaluasi

2.4.1. Probability Detection

Probability detection adalah peluang keberhasilan detektor dalam mengidentifikasi kehadiran *primary user* dalam sinyal (kanal) yang diobservasi. *Probability detection* dapat dihitung dengan membandingkan jumlah PU terdeteksi terhadap jumlah total kanal yang diduduki oleh PU (N_{pu}) sesuai persamaan 7 [16].

$$P_d = \frac{N_{detected}}{N_{pu}} \quad (7)$$

2.4.2. Probability False Alarm

Probability false alarm adalah peluang kesalahan detektor dalam mengidentifikasi kanal kosong. Kesalahan ini terjadi ketika kanal yang sebenarnya kosong namun dianggap sibuk (terdeteksi PU) oleh detektor. *Probability false alarm* didapat dengan membandingkan jumlah kesalahan deteksi (*false detect*) terhadap jumlah total kanal *idle* (N_{idle}) sesuai persamaan 8 [16].

$$P_{fa} = \frac{N_{false detect}}{N_{idle}} \quad (8)$$

2.4.3. Average Reward

Reward adalah nilai laju transmisi bit efektif pada kanal ke k dengan satuan bit/sekon. Sedangkan *average reward* adalah rata-rata dari *reward*. *Reward* yang didapat pada kanal ke k sesuai persamaan (5) dan (6)

2.4.4. Channel Utilization

Nilai *channel utilization* merupakan perbandingan dari *reward* pada kanal terhadap laju transmisi bit maksimum ($R_{max} = 74,306$ kbps) sesuai persamaan 9 [8].

$$CU_k = \frac{R_k}{R_{max}} \quad (9)$$

3. Evaluasi dan Analisis

3.1. Analisis Pengaruh SNR dan Jumlah Subcarrier terhadap P_d

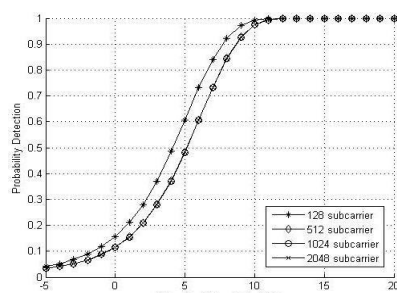
Pada gambar 4, diperlihatkan grafik hubungan antara P_d terhadap SNR pada sinyal observasi dengan jumlah subcarrier 128, 512, 1024 dan 2048 dan target P_{fa} ditentukan 0,01. Pola grafik dari tiap sinyal observasi menunjukkan kecenderungan yang sama, dimana P_d detektor naik seiring dengan membaiknya kondisi kanal sinyal observasi. Disamping itu, terdapat beberapa perbedaan nilai P_d pada detektor saat melakukan deteksi terhadap sinyal observasi 128 dengan sinyal observasi 512, 1024 dan 2048 pada nilai SNR yang sama. Pada saat melakukan deteksi terhadap sinyal observasi 128, detektor menunjukkan kinerja yang lebih baik dibandingkan pada saat melakukan deteksi terhadap sinyal observasi 512, 1024 dan 2048. Jika dilihat dari target nilai $P_d(0,9)$, dengan sinyal observasi 128, detektor dapat mencapai nilai tersebut saat SNR 8 dB sedangkan dengan sinyal observasi 512, 1024 dan 2048, target P_d baru dicapai saat nilai SNR 9 dB.

Jika dilihat dari gambar 4, perbedaan kenaikan P_d ini terjadi dimulai dari SNR sinyal observasi -5 hingga 10 dB, dan pada SNR diatas 10 dB grafik menunjukkan nilai P_d yang linier untuk seluruh sinyal observasi. Di rentang SNR sinyal observasi -5 hingga 10 dB, simpangan baku daya spektral kanal yang diduduki oleh PU pada sinyal observasi 512, 1024 dan 2048 lebih besar dibandingkan dengan sinyal observasi 128. Hal tersebut menunjukkan pada sinyal observasi 512, 1024 dan 2048, fluktuasi daya yang terjadi pada sinyal tersebut lebih besar dibandingkan dengan sinyal observasi 128, meskipun dengan SNR yang sama. Sehingga pada sinyal observasi 512, 1024 dan 2048, peluang terjadinya daya satu kanal yang terduduki oleh PU lebih rendah dari *threshold*, lebih besar dibandingkan dengan sinyal observasi 128. Dengan demikian, sinyal observasi 128 mendapatkan peluang deteksi PU lebih besar dibandingkan dengan peluang pada sinyal observasi 512, 1024 dan 2048 untuk rentang SNR -5 hingga 10 dB. Sedangkan pada rentang SNR 11 hingga 20 dB, besar skala simpangan baku seluruh sinyal observasi cenderung sama.

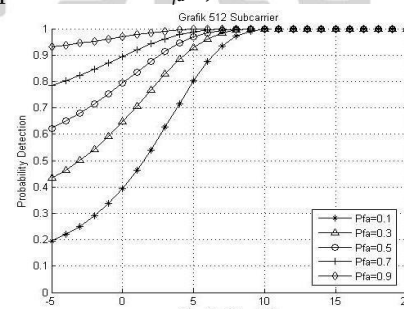
3.2. Analisis Pengaruh SNR dan P_{fa} terhadap P_d

Pada gambar 5, ditunjukkan grafik hubungan antara P_d dan SNR sinyal observasi saat nilai P_{fa} 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 dan 0,9. Untuk nilai P_{fa} yang sama, nilai P_d berubah terhadap SNR sinyal observasi. Perubahan ini terjadi karena saat nilai SNR rendah, perbandingan daya sinyal PU terhadap daya *noise* menjadi kecil, sehingga sulit bagi detektor untuk menentukan mana kanal kosong dan mana kanal sibuk. Jika dilihat dari *threshold*, nilai *threshold* yang ditentukan untuk mendapatkan target P_{fa} memiliki selisih kecil terhadap rata-rata daya sinyal PU. Sehingga terdapat daya sinyal PU yang melebihi *threshold*, dengan demikian P_d menjadi tinggi. Kemudian, saat SNR tinggi, perbandingan daya sinyal PU lebih besar dari daya *noise*, sehingga detektor lebih mudah dalam membedakan kanal kosong dan kanal sibuk.

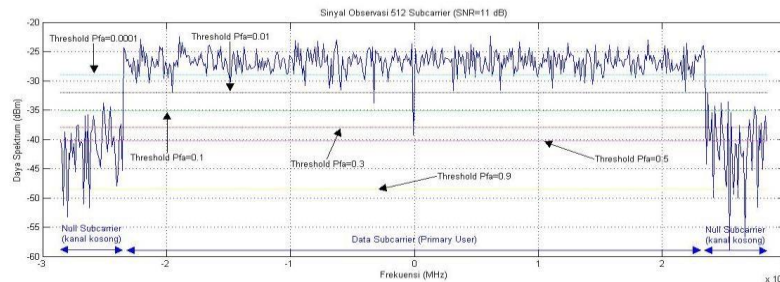
Pada gambar 6, dilustrasikan hubungan antara P_{fa} terhadap P_d pada saat nilai SNR dari sinyal observasi 11 dB. Terdapat hubungan yang saling tarik ulur antara kedua parameter kinerja deteksi tersebut. Pada gambar terlihat bahwa nilai *threshold* yang ditentukan sebagai pembanding terhadap sinyal observasi berubah mengikuti target P_{fa} . Saat nilai P_{fa} rendah, nilai *threshold* akan menjadi tinggi seperti saat nilai P_{fa} 0,01. Saat *threshold* berada pada



Gambar 4. Perbandingan P_d terhadap SNR



Gambar 5. Pengaruh SNR dan P_{fa} terhadap P_d pada sinyal 512 subcarrier



Gambar 6. Daya spektrum periodogram sinyal observasi

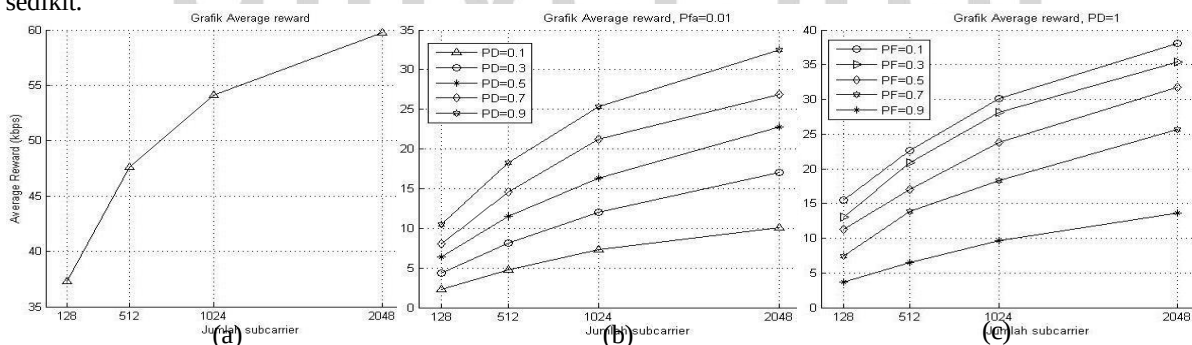
nilai P_{fa} tersebut, nilai dari P_d akan menjadi lebih kecil karena, dapat dilihat pada gambar, terdapat beberapa sampel dari sinyal PU melebihi garis *threshold*. Sedangkan saat nilai P_{fa} tinggi, *threshold* pun menjadi rendah karena jarak antara sinyal PU terhadap *threshold* cukup jauh sehingga nilai P_d menjadi tinggi.

3.3. Analisis Pengaruh Jumlah Kanal terhadap Average Reward dan Channel Utilization

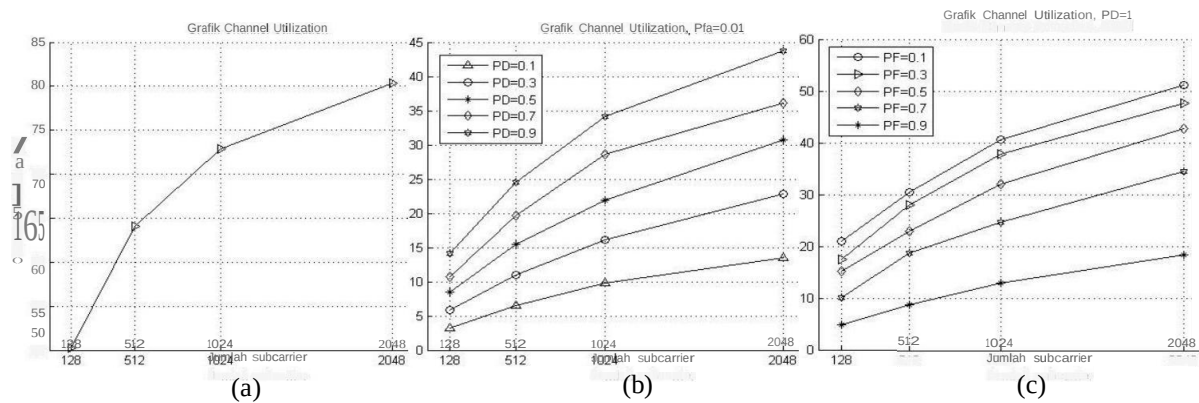
Evaluasi selanjutnya dilakukan pada kinerja urutan *sensing* spektrum berdasarkan laju transmisi kanal dengan melihat pengaruh jumlah kanal terhadap *average reward* dan *channel utilization*. Simulasi dilakukan pada tiga skenario, yaitu saat kinerja deteksi optimal ($P_d=1$, $P_{fa}=0,01$) dan saat kinerja deteksi tidak optimal karena faktor P_d ($P_{fa}=0,01$) dan faktor P_{fa} ($P_d=1$). $\alpha=0,3438$ untuk seluruh skenario.

Pada gambar 7 (a) dan 8 (a), simulasi dilakukan pada skenario pertama dimana kinerja detektor berada pada kondisi optimal. Perubahan nilai *average reward* dan *channel utilization* menunjukkan perbaikan terhadap besarnya jumlah kanal observasi. Semakin bertambahnya jumlah kanal, maka *average reward* dan *channel utilization* semakin besar. Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya jumlah kanal observasi, maka jumlah kanal kosong yang tersedia pun semakin banyak, sehingga peluang SU untuk mendapatkan kanal kosong tersebut semakin besar. Selain itu, dengan bertambahnya jumlah kanal tersebut, variasi SNR pun semakin tinggi sehingga peluang SU mendapatkan kanal yang baik juga semakin besar. Pada gambar 8 (a) dapat dilihat, nilai *channel utilization* pun meningkat pada jumlah kanal yang lebih tinggi.

Kemudian, pada gambar 7 dan 8 poin (b) dan (c), analisis dilakukan dengan melihat pengaruh penurunan kinerja deteksi terhadap kinerja urutan *sensing* spektrum berdasarkan laju transmisi kanal. Secara keseluruhan, nilai *average reward* dan *channel utilization* yang didapatkan oleh SU pada simulasi dengan skenario kedua dan ketiga meningkat dengan bertambahnya jumlah kanal pada sinyal observasi. Hal ini sama dengan pencapaian ketika simulasi dilakukan pada skenario pertama. Namun, jika dibandingkan dengan skenario pertama, pada skenario kedua dan ketiga terjadi penurunan nilai *average reward* dan *channel utilization* yang didapatkan oleh SU. Pada penurunan kinerja deteksi karena faktor P_d (skenario kedua), nilai *average reward* dan *channel utilization* pun menurun disebabkan pada saat SU melakukan deteksi, SU mengalami kegagalan dalam mendeteksi kehadiran PU pada kanal tersebut, sehingga SU menganggap kanal tersebut sebagai kanal kosong. Ketika SU melakukan transmisi pada kanal tersebut maka interferensi akan terjadi antara SU dan PU sehingga, *reward* yang didapat oleh SU pun turun. Dan karena ada peluang SU menggunakan kanal yang sedang digunakan oleh PU, maka penggunaan kanal kosong yang tersedia pada sinyal observasi itu pun menjadi rendah. Kemudian pada penurunan kinerja deteksi karena faktor P_{fa} (skenario ketiga), nilai *average reward* dan *channel utilization* pun menurun dari nilai yang didapat pada skenario pertama. Namun, jika dibandingkan dengan hasil simulasi skenario kedua, nilai *average reward* dan *channel utilization* yang didapatkan oleh SU masih lebih besar. Pada skenario ketiga, penurunan kinerja urutan *sensing* spektrum ini diakibatkan oleh lamanya SU dalam mencari kanal. Ketika nilai P_{fa} rendah, peluang untuk mendapatkan kanal kosong pun menjadi turun karena peluang kegagalan dalam deteksi kanal kosong meningkat. Hal ini serupa dengan kondisi saat jumlah kanal kosong tersedia pada sinyal observasi sedikit.



Gambar 7. Pengaruh jumlah kanal (N) terhadap *average reward* (a) $P_d=1$ (b) P_d rendah (c) P_{fa} rendah



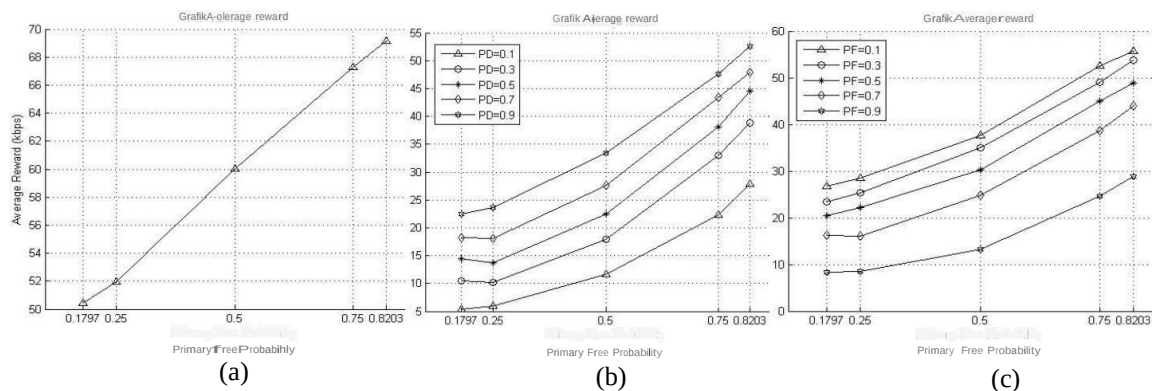
Gambar 8. Pengaruh N terhadap channel utilization (a) $P_d = 1$ (b) P_d rendah (c) P_{fa} rendah

3.4. Analisis Pengaruh Primary-free probability Terhadap Average Reward dan Channel Utilization

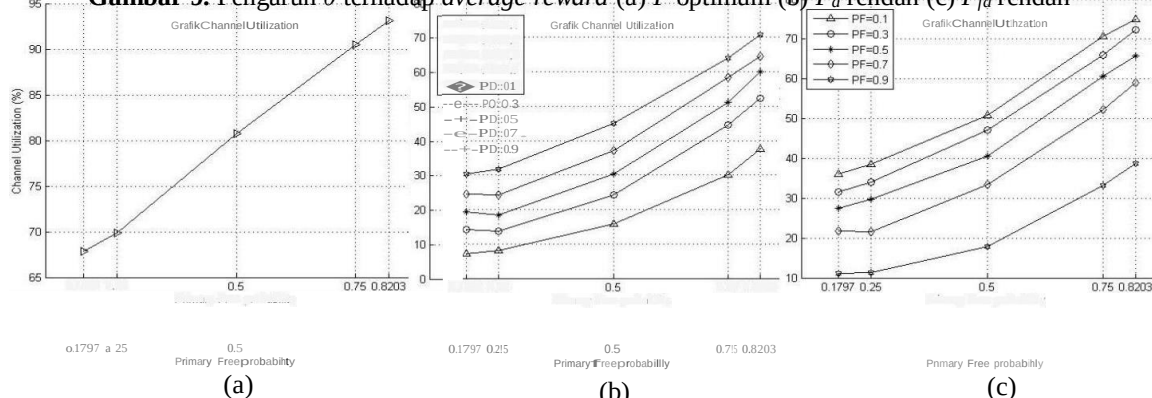
Evaluasi terakhir dilakukan pada kinerja urutan sensing spektrum berdasarkan laju transmisi kanal dengan melihat pengaruh *primary-free probability* (θ) terhadap *average reward* dan *channel utilization*. Simulasi dilakukan pada skenario yang sama seperti sebelumnya dengan Jumlah subcarrier sinyal observasi adalah 1024. Hasil pada gambar 9 dan 10 (a) merupakan pengaruh θ terhadap *average reward* dan *channel utilization* pada simulasi skenario pertama. Perbaikan kinerja urutan sensing spektrum ini menunjukkan perbaikan seiring dengan bertambahnya nilai θ . Dapat dilihat dari nilai *average reward* dan *channel utilization* maksimum yang mencapai 61,9 kbps dan 93%. Hal ini mempertegas terhadap evaluasi yang dilakukan pada simulasi sebelumnya dimana faktor bertambahnya jumlah kanal kosong yang tersedia dapat meningkatkan kinerja urutan sensing spektrum berdasarkan laju transmisi kanal. Selain itu, dilihat dari hasil simulasi pada skenario kedua dan ketiga yang ditunjukkan pada gambar 9 dan 10 (b) dan (c), bahwa penurunan kinerja urutan sensing spektrum ini juga terjadi akibat dari penurunan kinerja deteksi pada detektor SU.

4. Kesimpulan

Pada jurnal ini, dilakukan evaluasi dan analisis terhadap kinerja detektor energi berdasarkan periodogram dan kinerja urutan sensing spektrum berdasarkan laju transmisi kanal. Pada simulasi kinerja detektor energi berdasarkan periodogram, dilakukan evaluasi dengan melihat pengaruh SNR dan jumlah subcarrier sinyal observasi terhadap kinerja detektor tersebut. Hasil menunjukkan, nilai P_d pada detektor energi meningkat dengan



Gambar 9. Pengaruh θ terhadap average reward (a) P optimum (b) P_d rendah (c) P_{fa} rendah



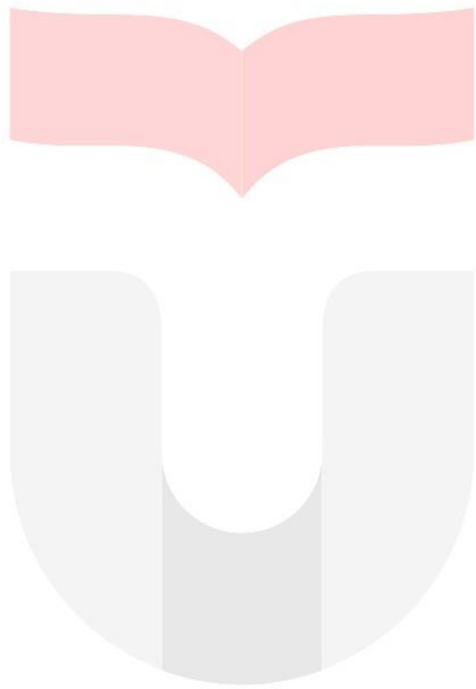
Gambar 10. Pengaruh θ terhadap channel utilization (a) optimal (b) P_d rendah (c) P_{fa} rendah

membaliknya SNR kanal observasi. Pada sinyal observasi dengan jumlah *subcarrier* 128, nilai standar akurasi keputusan ($P_d=0,9$ dan $P_{fa}=0,1$) dapat dicapai pada SNR 6 dB, sedangkan pada sinyal observasi dengan jumlah *subcarrier* 512, 1024 dan 2048 nilai standar akurasi keputusan dicapai saat SNR 7 dB. Selain itu, pada evaluasi kinerja detektor ini dilihat juga hubungan antara P_{fa} dan P_d .

Hasil menunjukkan, semakin tinggi nilai P_{fa} maka semakin tinggi nilai P_d . Pada simulasi kinerja urutan *sensing* spektrum berdasarkan laju transmisi kanal, evaluasi yang dilakukan dilihat dari pengaruh jumlah kanal dan *primary-free probability* terhadap *average reward* dan *channel utilization*. Secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa semakin besarnya jumlah kanal kosong yang tersedia, kinerja urutan *sensing* spektrum semakin baik dengan ditandai oleh meningkatnya nilai *average reward* dan *channel utilization* seiring dengan meningkatnya jumlah kanal kosong yang tersedia. Hal serupa juga ditunjukkan saat kinerja detektor SU menurun. Namun, nilai rata-rata *average reward* dan *channel utilization* yang didapatkan saat kinerja detektor rendah, lebih kecil dibandingkan dengan saat kinerja detektor optimal. Selain itu, pengaruh akibat dari faktor P_d pada detektor memberikan penurunan kinerja yang lebih besar dibandingkan akibat dari faktor P_{fa} .

Daftar Pustaka

- [1] V. Valenta, R. Maršálek, G. Baudoin, M. Villegas, M. M. Suarez dan F. Robert, "Survey on Spectrum Utilization in Europe: Measurements, Analyses and Observations," *Cognitive Radio Oriented Wireless Networks & Communications (CROWNCOM)*, pp. 1-5, 2010.
- [2] M. Islam, C. Koh, S. W. Oh dan X. Qing, "Spectrum Survey in Singapore: Occupancy Measurements and Analyses," *Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications, 2008. CrownCom 2008. 3rd International Conference on*, pp. 1-7, 2008.
- [3] V. Valenta, Z. Fedra, R. Maršálek dan G. Baudoin, "Towards Cognitive Radio Networks: Spectrum Utilization Measurements in Suburb Environment," *Radio and Wireless Symposium, 2009. RWS '09. IEEE*, pp. 352-355, 2009.
- [4] M. Lopez-Benitez, A. Umberto dan F. Casadevall, "Evaluation of Spectrum Occupancy in Spain for Cognitive Radio Applications," *Vehicular Technology Conference, 2009. VTC Spring 2009. IEEE 69th*, pp. 1-5, 2009.
- [5] B. Wang dan K. R. Liu, "Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey," *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN SIGNAL PROCESSING*, vol. 5, p. 1, February 2011.
- [6] H. Jiang, L. Lai, R. Fan dan H. Poor, "Optimal selection of channel sensing order in cognitive radio," *IEEE Trans. on Wireless Commun.*, vol. 8, no. 1, pp. 297 - 307, 2009.
- [7] R. Fan dan H. Jiang, "Channel Sensing-Order Setting in Cognitive Radio Networks: A Two-User Case," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 58, no. 9, pp. 4997 - 5008, 2009.
- [8] H. T. Cheng dan W. Zhuang, "Simple Channel Sensing Order in Cognitive Radio Networks," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 29, no. 4, pp. 676 - 688, 2011.
- [9] I. F. Akyildiz, W.-Y. Lee dan K. R. Chowdhury, "CRAHNs: Cognitive radio ad hoc networks," *Ad Hoc Networks archive*, vol. 7, no. 5, pp. 810-836, 2009.
- [10] M. Masood, M. Coupechoux dan a. P. Dodlewski, "Subcarrier Permutation Type in IEEE 802.16e," Paris : Departement Informatique et Reseaux TELECOM Paris Tech.
- [11] R. D. Hippenstiel, *Detection Theory : Application and digital signal processing*, America: CRC Press LCC, 2002.
- [12] E. H. Gismalla dan E. Alsusa, "Performance Analysis of the Periodogram-Based Energy Detector in Fading Channels," vol. 59, pp. 3712-3721, 2011.
- [13] Y.-C. Liang, Y. Zeng, E. C. Peh dan A. T. Hoang, "Sensing-Throughput Tradeoff for Cognitive Radio Networks," *IEEE Intersection on wireless communication*, vol. 7, p. 24, April 2004.
- [14] T. Ferguson, "optimal stopping and application," Departement of Mathematics University of California at Los Angeles, Los Angeles.
- [15] E. Krouk dan S. Semenov, *Modulation and Coding Techniques in Wireless Communications*, Wiley, 2011.
- [16] Z. A. H. Mahmood A.K. Abdulsattar, "Energy Detector with Baseband Sampling for Cognitive Radio Real-Time Implementation," *Wireless Engineering and Technology*, vol. 3, pp. 229-239, 2012.



Telkom
University