

ANALISIS KINERJA *SPECTRUM SENSING* MENGGUNAKAN METODE *MATCHED FILTER* PADA *COGNITIVE RADIO*

Syahri Dina Kandi, Rahmad Fauzi

Konsentrasi Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: syahridinakandi@ymail.com

Abstrak

Dalam dunia telekomunikasi nirkabel, spektrum frekuensi adalah hal yang sangat penting karena dengan spektrum inilah data dapat ditransmisikan. Namun ketersediaan alokasi frekuensi yang sangat terbatas menyebabkan penggunaannya masih belum efektif dan efisien dalam waktu tertentu. *Cognitive radio* merupakan salah satu cara dalam mengatasi masalah alokasi spektrum. *Spectrum sensing* merupakan komponen terpenting pada *cognitive radio* yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi adanya pengguna pada frekuensi tertentu. Paper ini membahas tentang bagaimana kemampuan *spectrum sensing* menggunakan metode *matched filter* pada *cognitive radio* untuk mendeteksi kehadiran *primary user* pada saluran FM Radio menggunakan tiga *Power Spectral Density* (PSD) yaitu PSD *Periodogram*, *Welch* dan *Thomson Multitaper* dengan bahasa pemrograman MATLAB R2011b. Dari hasil simulasi ini, PSD *Periodogram* mampu menghadirkan *Primary User* paling sensitif saat pembangkitan data masukannya sebesar 10 % dan 40 % dari banyaknya kanal saluran frekuensinya yaitu sebanyak 4 dan 25 *Primary User*, PSD *Welch* terjadi pada persentasi 10 % dan 40 % yaitu sebanyak 5 dan 19 *Primary User*, dan PSD *Thomson Multitaper* pada persentasi 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, dan 80 % yaitu sebanyak 19, 25, 30, 34, dan 40 *Primary User* pada band frekuensi FM Radio, yaitu dari 87.5 sampai 108 MHz untuk 50 kanal frekuensi yang digunakan.

Kata Kunci: *Cognitive Radio*, *Matched Filter*, *Power Spectral Density*

1. Pendahuluan

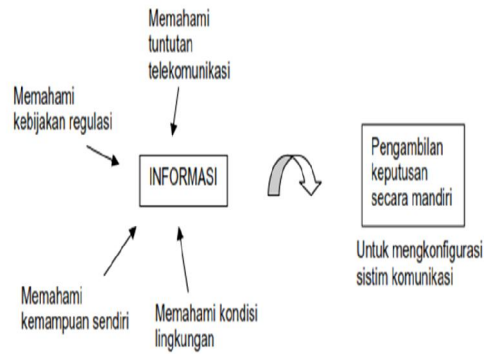
Spektrum frekuensi merupakan salah satu sumber daya terpenting dalam proses pengiriman data. Namun ketersediaan spektrum frekuensi ini sangatlah terbatas sehingga penggunaannya harus dilakukan seefisien dan semaksimal mungkin. Hal ini tidak sebanding dengan bertambahnya jumlah pengguna spektrum frekuensi yang terus meningkat dari waktu ke waktu. Adanya standar-standar yang memiliki alokasi spektrum frekuensi dengan jumlah *user* yang sedikit dan tidak sebanding dengan band frekuensi yang dialokasikan merupakan salah satu contoh ketidakefisienan penggunaan spektrum frekuensi. Selain itu perlu diketahui bahwa penggunaan spektrum frekuensi ini ternyata memiliki intensitas yang berbeda pada waktu tertentu. Artinya, spektrum tersebut dapat terisi penuh pada waktu sibuk dan kosong pada waktu renggang. *Cognitive radio* mungkin menjadi alternatif dalam memanfaatkan setiap spektrum

frekuensi yang kosong agar dapat digunakan secara efisien.

2. *Cognitive Radio*

Cognitive radio adalah sebuah sistem yang mampu mencari (*sensing*) spektrum frekuensi yang bebas dari pengguna utamanya (*primary user*) atau sebuah sistem adaptif yang mampu mempelajari pola penyesuaian kondisi di lapangan dimana kondisi-kondisi yang berulang kali terjadi dan pengalaman dimasa lalu yang kemudian akan digunakan untuk mengantisipasi kejadian yang akan datang[1].

Cognitive radio merupakan sistem yang memiliki empat jenis masukan (*input*) dalam pengambilan keputusan secara mandiri, yaitu: kondisi lingkungan, kondisi sistem itu sendiri, kebijakan regulasi yang berlaku, dan tuntutan telekomunikasi. Keempat jenis masukan itu dapat dilihat pada Gambar1[2].

Gambar 1. Proses *cognitive* pada sistem radio

Tantangan yang dihadapi pada sistem *cognitive radio* adalah *secondary user* harus dapat mendeteksi spektrum frekuensi dari *primary user*. Jika *primary user* tidak menggunakan spektrum frekuensinya, maka *secondary user* harus sesegera mungkin menyesuaikan sistem kemudian langsung menggunakan spektrum frekuensinya dan apabila *primary user* akan menggunakan spektrum frekuensinya kembali maka *secondary user* harus sesegera mungkin melepas spektrum frekuensinya agar tidak terjadi interferensi dengan *primary user*. Teknik tersebut dinamakan dengan teknik spektrum *sensing*. Teknik spektrum *sensing* inilah yang menjadi dasar dari sistem *cognitive radio*[3]. Dengan menggunakan teknik *spectrum sensing* diharapkan sistem mampu mengukur dan menyesuaikan sistem dengan karakteristik dan kemampuan spektrum yang ada serta mengetahui kemampuan sistem terhadap lingkungannya. Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam *spectrum sensing*, salah satunya adalah metode *matched filter*[4].

3. Matched Filter

Matched filter sebenarnya merupakan nama untuk sebuah filter khusus (filter ideal), yang memproses sinyal yang diterima untuk menghilangkan pengaruh *noise* yang ada. Model matematis untuk *matched filter* dapat dilihat pada Persamaan 1[5].

$$y(n) = \sum_{k=0}^n h(n-k)x(k) \quad (1)$$

Keterangan :

$y(n)$ = Sinyal yang dimatched filter

$h(n-k)$ = Respon impuls filter, $n = 0, \dots, N-1$

$x(k)$ = Sinyal input yang mempunyai nilai pada saat masukannya $k = 0$

Setiap metode *sensing* memiliki ketetapan dalam menentukan kehadiran dan ketidakhadiran dari suatu *primary user*, dalam hal ini digunakan *threshold* atau batas ambang sebagai batasan penentu kehadirannya.

Secara matematis, *threshold* untuk metode *matched filter* dapat dilihat pada Persamaan 2[5].

$$\gamma = \sqrt{\sigma^2 E} Q^{-1}(p_{fa}) \quad (2)$$

Dimana:

γ = Threshold

σ = Variansi *noise*

E = Energi sinyal

$Q^{-1}(p_{fa})$ = Fungsi Q inverse untuk probabilitas *false alarm*

4. Power Spectral Density (PSD)

Power Spectral Density (PSD) adalah metode yang banyak digunakan untuk menganalisis hasil sinyal keluaran dan menggambarkan bagaimana daya dari sebuah sinyal atau waktu yang ada didistribusikan terhadap frekuensi. Dimensi yang dimiliki dari PSD adalah daya per Hz, biasa disebut sebagai spektrum dari sinyal. Pada sistem ini digunakan tiga macam PSD yaitu:

1. Power Spectral Density Periodogram

Periodogram merupakan salah satu jenis PSD non parametrik. Dalam menelaah periodesitas data dilakukan terhadap frekuensi yang berpasangan dengan titik-titik puncak garis spektrumnya. Fungsi spektrum daya atas frekuensi inilah yang dinamakan *Periodogram*. Persamaan matematis untuk menentukan PSD ini dapat dilihat pada Persamaan 3[6].

$$x(n) = w(n)y(n) \quad (3)$$

Dari Persamaan 3 diperoleh nilai:

$$\hat{s}_p(e^{-jwn}) = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-jwn} \right|^2 \quad (4)$$

Keterangan:

\hat{s}_p = PSD *Periodogram*

$x(n)$ = Sinyal tiap-tiap segmen

$w(n)$ = Window yang digunakan untuk mendesign filter

$y(n)$ = Sinyal yang telah difilter

n = Rentang frekuensi yang dibutuhkan oleh spektrum.

N = Indeks

$$\hat{S}^{(mt)}(f) = \frac{1}{K} \sum_{k=0}^{K-1} \hat{S}_k^{(mt)}(f) \quad (8)$$

2. *Power Spectral Density Welch*

Pada metode ini masukan dibagi menjadi segmen-segmen yang pendek dan perhitungan periodogram dilakukan berdasarkan perhitungan FFT, dengan demikian untuk mencari estimasi spektrum daya dapat dilakukan dengan perhitungan yang lebih efisien. Setiap segmen data dimodifikasi dengan mengalikan pada suatu fungsi jendela (*window*), sebelum dilakukan perhitungan periodogram. Selanjutnya *periodogram* yang telah dimodifikasi ini dirata-ratakan dan akan menghasilkan estimasi spektrum yang lebih baik. Persamaan matematis untuk metode ini dapat dilihat pada Persamaan 5[6].

$$x_i(n) = x(iD + n)w(n); 0 \leq n \leq N-1 \quad (5)$$

Untuk metode *Welch*, PSD dihitung dengan mempertimbangkan nilai estimasi *Periodogram*, sehingga diperoleh Persamaan 6.

$$\hat{S}_w(e^{jw}) = \frac{1}{K} \sum_{p=0}^{K-1} \hat{S}_p e^{jw} \quad (6)$$

Keterangan :

- N = Indeks segmen
- K = Sampel *periodogram*
- \hat{S}_p = *Spectral estimasi periodogram*
- \hat{S}_w = *Spectral estimasi Welch*
- x_i = Signal tiap elemen ditambah *window*
- D = Panjang antar segmen

3. *Power Spectral Density Thomson Multitaper*

Thomson Multitaper adalah salah satu metoda spektral untuk mengkonversi kawasan waktu sebuah gelombang menjadi kawasan frekuensi. Metode ini memberikan prediksi frekuensi yang lebih bagus yakni menghindari 'kebocoran' spektral dibandingkan dengan metoda spektral konvensional. Persamaan 7 memperlihatkan rumus matematis untuk metode ini(7).

$$\hat{S}_k^{(mt)}(f) = \Delta t \left| \sum_{t=1}^{N-1} h_t k x_t e^{-12\pi f t \Delta t} \right|^2 \quad (7)$$

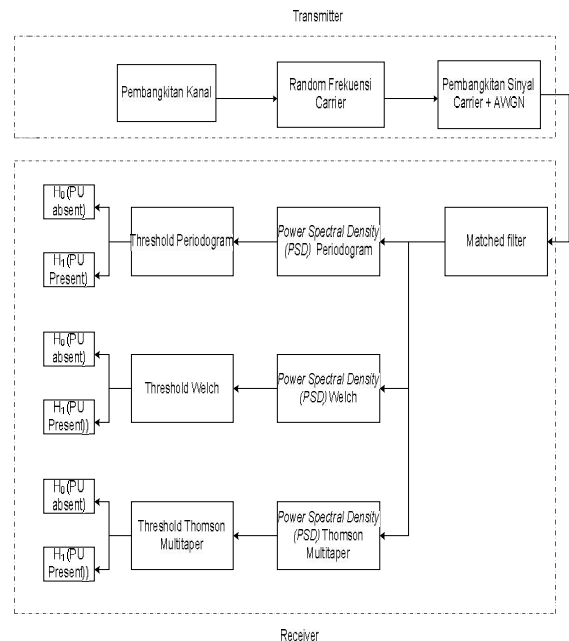
Persamaan 7 digunakan untuk mendapatkan nilai spektral estimasi dari nilai k, setelah itu untuk mendapatkan nilai estimasi ini maka dapat dilihat Persamaan 8.

Keterangan :

- Δt = Interval waktu antar setiap sampling
- $H_{t,k}$ = Data
- $\hat{S}_k^{(mt)}$ = Spektral estimasi untuk setiap K
- f = Frekuensi Nyquist
- $\hat{S}_k^{(mt)}(f)$ = Spektral estimasi multitaper
- k = Indeks
- K = Konstanta korelasi silang

5. **Model Sistem**

Untuk menganalisis suatu sistem dapat dilakukan dengan cara memodelkan sistem tersebut. Pemodelan dapat dilakukan dengan membuat blok diagramnya. Gambar 2 menampilkan blok diagram pemodelan dari kinerja *spectrum sensing* menggunakan metode *matched filter* pada *cognitive radio*.



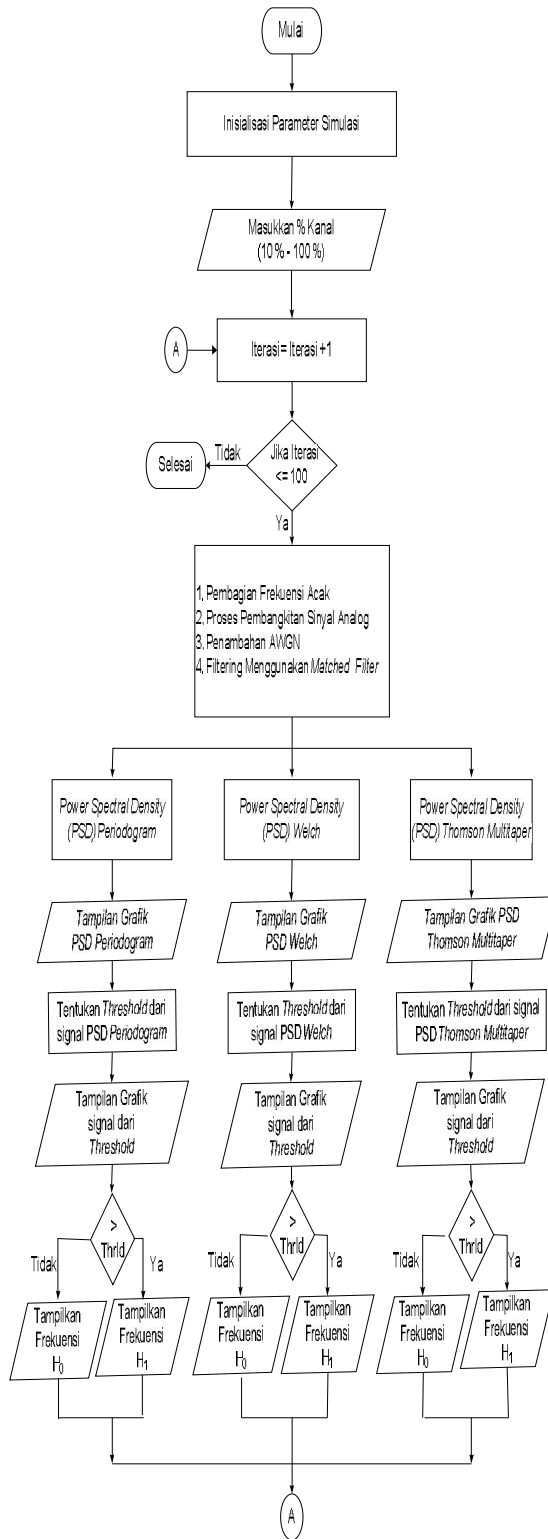
Gambar 2. Blok Diagram pemodelan kinerja *spectrum sensing* menggunakan metode *matched filter* pada *cognitive radio*.

Diagram alir pada Gambar 3 menjelaskan langkah-langkah analisis kinerja *spectrum sensing* menggunakan metode *matched filter* pada *cognitive radio*.

Beberapa parameter masukan yang digunakan pada metode ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi

NO	Jenis Parameter	Keterangan
1	Metode Deteksi	<i>Matched Filter</i>
2	Band Frekuensi FM Radio	87.5 – 108 (MHz)
3	Jenis PSD	<i>Periodogram, Welch dan Thomson Multitaper</i>
4	Frekuensi Sampling	220 MHz
5	Persentasi Pembangkitan Data Masukan	10 % Sampai 100 % Dari Banyaknya Kanal Yang Tersedia
6	Batasan Kanal Yang Tersedia	50 Kanal Saluran Frekuensi



Gambar 3. Diagram Alir kinerja *spectrum sensing* menggunakan metode *matched filter* pada *cognitive radio* dengan tiga PSD

6. Hasil dan Analisis

Berdasarkan hasil keluaran simulasi, maka dapat dijelaskan masing-masing kemampuan dari *matched filter* menggunakan tiga PSD yaitu:

- a. Analisis *Matched Filter* Menggunakan *Power Spectral Density (PSD) Periodogram*

Dari simulasi metode ini dihasilkan data seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Analisis *matched filter* menggunakan PSD *Periodogram*

Persentasi Pembangkitan Data Masukan	Jumlah Kanal Frekuensi Acak	Jumlah PU Yang Dihadirkan PSD <i>Periodogram</i>	Keterangan Kanal Frekuensi
10 %	5	5	Kanal 40 – 44
20 %	10	6	Kanal 25 – 30
30 %	15	10	Kanal 1 – 10
40 %	20	19	Kanal 2 - 4 dan Kanal 35 – 50
50 %	25	19	Kanal 2 -17 dan Kanal 46 - 48
60 %	30	23	Kanal 12-21 dan Kanal 38 - 50
70 %	35	26	Kanal 1 - 9 dan Kanal 16 - 32
80 %	40	32	Kanal 2 - 15 dan Kanal 29 – 46
90 %	45	26	Kanal 7 - 15, Kanal 19 - 26, dan Kanal 42 – 50
100 %	50	26	Kanal 1 – 10, Kanal 24 - 31, dan Kanal 41- 48

Tabel 2 menunjukkan bahwa PSD *Periodogram* mampu mendeteksi paling sensitif saat data masukannya dibangkitkan saat persentasi 10 % dan 40 % dimana jumlah kanal frekuensi acak yang diperoleh sama dan hampir mendekati jumlah *primary user* yang dideteksi yaitu : 5 dan 19 *primary user*.

b. Analisis *Matched Filter* Menggunakan *Power Spectral Density* (PSD) *Welch*

Dari simulasi metode ini dihasilkan data seperti yang terlihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis *matched filter* menggunakan PSD *Welch*

Persentasi Pembangkitan Data Masukan	Jumlah Kanal Frekuensi Acak	Jumlah PU Yang Dihadirkan PSD <i>Welch</i>	Keterangan Kanal Frekuensi
10 %	5	4	Kanal 40 – 43
20 %	10	8	Kanal 25-29 dan Kanal 38- 40
30 %	15	8	Kanal 1 - 8
40 %	20	12	Kanal 13, Kanal 35-39,dan Kanal 45 – 50
50 %	25	25	Kanal 2 – 17, Kanal 34 - 37, dan Kanal 45-49
60 %	30	16	Kanal 13 - 19, Kanal 36 - 37, dan Kanal 44-50
70 %	35	17	Kanal 1 – 6, Kanal 19 - 26, dan Kanal 32-34
80 %	40	22	Kanal 8 – 15, Kanal 26–28, dan Kanal 35 – 45
90 %	45	18	Kanal 9 – 13, Kanal 21 - 26, dan Kanal 44 – 50
100 %	50	19	Kanal 2 – 8, Kanal 25 – 30, dan Kanal 42 – 47

Tabel 3 menunjukkan bahwa PSD *Welch* mampu mendeteksi paling sensitif saat data masukannya dibangkitkan saat persentasi 10 % dan 50 % dimana jumlah kanal frekuensi acak yang diperoleh sama dan hampir mendekati jumlah *primary user* yang dideteksi yaitu : 4 dan 25 *primary user*.

c. Analisis *Matched Filter* Menggunakan *Power Spectral Density* (PSD) *Thomson Multitaper*

Dari simulasi metode ini dihasilkan data seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Analisis *matched filter* menggunakan PSD *Thomson Multitaper*

Persentase Pembangkitan Data Masukan	Jumlah Kanal Frekuensi Acak	Jumlah PU Yang Dihadirkan PSD <i>Thomson Multitaper</i>	Keterangan Kanal Frekuensi
10 %	5	3	Kanal 46 – 48
20 %	10	5	Kanal 30 – 34
30 %	15	13	Kanal 1 – 13
40 %	20	19	Kanal 4 – 8, Kanal 32, dan Kanal 38 – 50
50 %	25	25	Kanal 1 – 20, Kanal 40 - 43, dan Kanal 50
60 %	30	30	Kanal 8-24 dan Kanal 38 - 50
70 %	35	34	Kanal 1 - 31 dan Kanal 48 – 50
80 %	40	40	Kanal 2 - 21 dan Kanal 31 – 50
90 %	45	38	Kanal 2 - 8, Kanal 12 - 30, dan Kanal 39 – 50
100 %	50	43	Kanal 1 – 11 dan Kanal 19-50

Tabel 4 menunjukkan bahwa PSD *Thomson Multitaper* mampu mendeteksi paling sensitif saat data masukannya dibangkitkan pada persentase 40 %, 50 %, 60 %, 70 %, dan 80 % dimana jumlah kanal frekuensi acak yang diperoleh sama dan hampir mendekati jumlah *primary user* yang dideteksi yaitu : 19, 25, 30, 34, dan 40 *primary user*.

7. Kesimpulan

Dari hasil analisis ketiga metode PSD ini, dapat disimpulkan bahwa:

1. Dengan berbagai macam metode *Power Spectral Density* (PSD) yang ada sangat mempermudah dalam penganalisisan spektrum hasil keluaran.
2. Nilai *threshold* sangat mempengaruhi penetapan hadir atau tidaknya *primary user* dalam suatu sistem. Dimana besarnya THRLD tergantung dari nilai data yang dimiliki masing-masing PSD.

3. Dari hasil simulasi yang dilakukan dengan menggunakan tiga PSD yaitu: *Periodogram*, *Welch* dan *Thomson Multitaper*, diketahui bahwa ke tiga PSD tersebut memiliki tingkat keakuratan yang berbeda untuk setiap kenaikan persentase data masukan dalam mendeteksi kehadiran *primary user*.

8. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Suratman, S.Pd dan Mariana, S.Pd selaku orang tua penulis, Rahmad Fauzi, ST, MT selaku dosen pembimbing, juga Ir.M.Zulfin, MT, dan Ali Hanafiah Rambe, ST, MT selaku dosen pengujian penulis yang sudah membantu penulis dalam menyelesaikan paper ini, serta teman-teman penulis yang sudah memberikan dukungan selama pembuatan paper ini.

9. Daftar Pustaka

- [1]. Subhedar, Mansi and Gajanan Birajdar. *Spectrum Sensing Techniques in Cognitive Radio Networks: A Suvey*. International Journal of Next-Generation Networks (IJNGN), Vol.3, No.2, Juni 2011.
- [2]. Alaydrus, Mudrik. 2010. *Cognitive Radio: Sistem Radio Cerdas*. Magister Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana.
- [3]. Sirait, Rumi. *Sistem Transmisi Telekomunikasi*. Pusat Pengembangan Bahan Ajar : UMB.
- [4]. Asif, Mirza dan Faique Bin Arshad. May 2011. *Performance Analysis of Cyclostationary Sensing in Cognitive Radio Networks*. Thesis, School of Information Science, Computer and Electrical Engineering, Halmstad University.
- [5]. Doyle, Linda E. 2005. *Essentials Of Cognitive Radio*. Cambridge University Press, United States.
- [6]. Poularikans, Alexander D dan Zayed M. Ramadan. 2006. *Adaptive Filtering Primer with Matlab*. Taylor & Francis Group.
- [7]. Percival, D.B. dan A.T. Walden. 1993. *Spectral Analysis for Physical Applications: Multitaper and Conventional Univariate Techniques*. Cambridge University Press.