

ANALISIS DAN SIMULASI SISTEM *SPECTRUM SENSING* MENGGUNAKAN *HIGHER ORDER STATISTIC ANALYSIS* DENGAN METODE EKSTRAKSI CIRI TRISPECTRUM

Simon Perdananta, ST¹

Kris Sujatmoko, MT²

Afief Dias Pambudi, MT³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

¹simonperdananta@gmail.com, ²kris.sujatmoko@gmail.com, ³afb@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Permintaan terhadap penggunaan spektrum frekuensi sangat besar sedangkan spektrum frekuensi yang tersedia terbatas. Kondisi ini membuat perkembangan *cognitive radio* sangat dibutuhkan. Salah satu kemampuan krusial dari *cognitive radio* adalah *spectrum sensing* yang berfungsi mendeteksi sinyal *primary user* dan mampu mendeteksi celah kosong (*spectrum holes*), yaitu waktu dimana *primary user* sedang tidak menggunakan spektrum frekuensinya. Dalam Penelitian ini dilakukan simulasi sistem *spectrum sensing* dengan menggunakan metode *Higher-Order Statistical Analysis* (HOSA), dengan ekstraksi ciri *Trispectrum*. Sinyal inputnya adalah sinyal *multisine* yang dibangkitkan sendiri dan diberi *noise* dengan kondisi SNR tertentu. Kemudian sinyal input dianalisis dengan metode *trispectrum* pada HOSA. Simulasi sistem ini mampu mendeteksi *spectrum holes* dan sinyal *primary user* dengan masukan informasi sederhana yaitu amplitudo spektrum sinyal yang diamati. Metode HOSA ini mampu mendeteksi *non-minimum phase*, tahan terhadap AWGN, dan mampu merekonstruksi sinyal yang rusak sehingga sinyal yang akan diproses nantinya memiliki rasio SNR yang relatif tinggi. Akhirnya dimasukkan nilai *threshold* untuk menentukan apakah sinyal *primary user* sedang *idle* atau *present*. Akurasi deteksi dipengaruhi oleh SNR dan harus memenuhi standar IEEE 802.22 mengenai parameter *probability detection* yaitu $>0,9$ dan *probability false alarm* yaitu $<0,1$. Dari simulasi yang dilakukan didapatkan hasil bahwa untuk mencapai kondisi ini, sistem *spectrum sensing* dengan HOSA *trispectrum* membutuhkan nilai SNR -13 dB. Artinya dengan kondisi diatas -13 dB sistem dipastikan dapat bekerja dengan akurasi tinggi dan tingkat kesalahan yang rendah.

Kata kunci : *spectrum sensing*, *cognitive radio*, *Higher Order Statistical Analysis*, HOSA, *trispectrum*

Abstract

The demand for the use of the frequency spectrum is very large while the available frequency spectrum is limited. This condition makes the development of cognitive radio is needed. One of the crucial capabilities of cognitive radio is a spectrum sensing function detects the primary signal and the user is able to detect gaps (spectrum holes), ie the time when the primary user is not using the frequency spectrum. In this final project is simulated about spectrum sensing system using Higher-Order Statistical Analysis (HOSA), the feature extraction Trispectrum. Input signal manually generated is multisine signal and given the noise with certain SNR conditions. Then the input signal is analyzed by the method of trispectrum on HOSA. The simulation system is able to detect the spectrum holes and the primary user signal with simple information input signal is amplitude spectrum observed. HOSA method is able to detect non-minimum phase, resistant to AWGN, and is able to reconstruct the damaged signal so that the signal to be processed will have a relatively high SNR ratios. Finally put the threshold value to determine whether a primary signal is present or idle. Detection accuracy is affected by SNR and must meet the IEEE 802.22 standards regarding detection probability parameters ie > 0.9 and false alarm probability is <0.1 . From the simulation showed that to achieve this, the system of spectrum sensing requires a trispectrum Hosa -13 dB SNR values. This means that the conditions above -13 dB ensured system can work with high accuracy and low error rates.

Keywords : spectrum sensing, cognitive radio, Higher Order Statistical Analysis, HOSA, trispectrum

I Pendahuluan

Saat ini, banyaknya penyedia layanan jasa telekomunikasi yang menggunakan spektrum frekuensi membuat spektrum frekuensi yang tersedia menjadi semakin terbatas. Penggunaan spektrum

frekuensi sebenarnya sudah diatur oleh Kementerian Komunikasi dan Informatika dengan memberikan jatah penggunaan spektrum frekuensi dalam tarif dan jangka waktu tertentu yang sudah ditetapkan. Namun, pengaturan penggunaan spektrum frekuensi dengan cara demikian sebenarnya kurang efisien dan tidak

optimal. Di sisi lain, ada pihak kedua, biasa disebut dengan *secondary user*, yang membutuhkan spektrum frekuensi untuk mengadakan pertukaran informasi, sementara spektrum frekuensi yang ingin digunakan belum tersedia. Maka dari itu, *cognitive radio* menjadi salah satu solusi yang dapat menjawab permasalahan tersebut. *Cognitive radio* merupakan suatu sistem dimana suatu perangkat mampu mendeteksi spektrum frekuensi milik *primary user* yang sedang tidak digunakan, dan memanfaatkannya untuk transmisi data sendiri, sebagai pihak *secondary user*. Sistem ini dirancang agar *secondary user* dapat melakukan komunikasi melalui spektrum frekuensi milik *primary user* tanpa harus mengganggu *primary user* dalam menggunakan spektrum frekuensinya sendiri. *Spectrum sensing* memegang peranan penting dalam sistem *cognitive radio*. Karena dengan kemampuan *spectrum sensing* lah *cognitive radio* dapat mendeteksi kekosongan pada spektrum frekuensi milik *primary user*. Namun terjadinya kesalahan pada proses *spectrum sensing* dapat berakibat cukup fatal. Dalam penelitian Penelitian ini, diterapkan metode HOSA trispectrum pada sistem *spectrum sensing* yang disimulasikan. Masukan dari sistem ini adalah sinyal gelombang radio yang ditangkap dengan *signal analyzer*. Namun karena keterbatasan alat dan data, penulis sebagai peneliti menggunakan sinyal yang dibangkitkan sendiri menggunakan Matlab. Sinyal yang dibangkitkan ini disesuaikan dengan kondisi sinyal real pada umumnya. Sinyal yang dibangkitkan ini lah yang akan diobservasi dengan metode HOSA trispectrum untuk mengamati bagaimana pola level daya sinyal tersebut pada setiap frekuensi. Dari pola level daya yang terbentuk kemudian ditentukan threshold untuk mengklasifikasikan sinyal dan *noise*.

II Dasar Teori

A. Pengertian Cognitive Radio

Cognitive radio merupakan sistem radio cerdas yang mampu mengenali kondisi lingkungan, mempelajarinya, dan beradaptasi dengan dinamis. Istilah *cognitive radio* (CR) diperkenalkan ke publik untuk pertama kalinya oleh Joseph Mitola pada tahun 1999^[8]. Sistem komunikasi radio kemudian semakin banyak digunakan dalam beberapa dekade terakhir. Maka dari itu, diperlukan suatu kecerdasan pada sistem radio yang mampu secara otomatis mempelajari kondisi lingkungannya untuk beradaptasi sesuai dengan kebutuhan user. Hal ini dilakukan dengan mengubah beberapa parameter seperti frekuensi, pola pancar antena, modulasi, dan daya pancar. Keseluruhan proses radio cerdas ini dilakukan dalam kondisi real time.

Kunci utama pengembangan teknologi *cognitive radio* adalah untuk memaksimalkan efisiensi penggunaan spektrum radio agar bisa diakses oleh sebanyak mungkin user namun tetap memastikan nilai interferensi antar user tersebut tetap terkontrol dengan baik. Perlu diketahui pula, terminologi “radio” yang

digunakan pada teknologi ini mengacu pada suatu sistem komunikasi yang menggunakan sinyal termulasi pada spektrum frekuensi radio yang ada.

Sistem *cognitive radio* bisa dikatakan mampu direalisasikan secara nyata apabila telah memenuhi syarat utama fungsinya^[8], yaitu:

- a. **Flexibilitas dan Ketangkasan**
Sistem *cognitive radio* sudah mampu beradaptasi dengan mengubah kondisi parameternya sesuai dengan keadaan lingkungannya.
- b. **Sensing**
Kemampuan untuk mengobservasi dan mengukur kondisi lingkungan, termasuk *spectrum occupancy*. Sensing amat penting jika handset yang digunakan sudah memiliki kemampuan untuk mengenali kondisi lingkungan
- c. **Learning dan Adaptability**
Sistem *cognitive radio* mampu menganalisa suatu pola dari sensor input dan mengambil keputusan untuk memodifikasi sistemnya sendiri sesuai hasil observasi.

B. Spectrum Sensing

Spectrum sensing bisa dibidang sebagai tahap paling awal dan paling krusial dalam *cognitive radio*. *Spectrum sensing* memungkinkan *cognitive radio* untuk mendeteksi aktivitas *primary user* dalam menggunakan spektrum frekuensinya pada satu waktu dan lokasi tertentu.

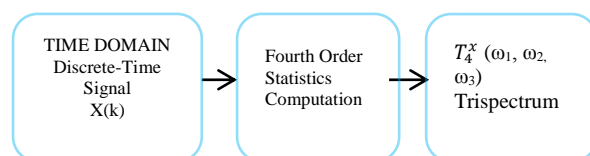
C. Trispectrum^[6]

Trispectrum merupakan salah satu fitur statistical dalam HOSA. *Trispectrum* didefinisikan sebagai transformasi Fourier 3-D, yang juga berasal dari *4th order cumulant*^[5]. Perlu dicatat, bahwa *trispectrum* bekerja dalam domain frekuensi, dan merupakan fungsi yang tersusun dari tiga variabel frekuensi yang berbeda.

Trispectrum akan digunakan sebagai ekstraksi ciri yang akan mengkalkulasi dan memetakan keadaan spektrum frekuensi serta mencari *holes*.

III Perancangan dan Simulasi

A. Komputasi Trispectrum



Gambar 1 Ilustrasi Teori Trispectrum

Komputasi menggunakan HOSA melalui pendekatan *trispectrum* dapat dilakukan secara *direct* dan *indirect*. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah pendekatan melalui *trispectrum*

secara indirect. Adapun tahapan proses yang harus dilakukan ialah sebagai berikut:

1. Jika dimiliki suatu set data, misalkan: $\{x(1), x(2), \dots, x(N)\}$
2. Lakukan segmentasi data (record data) menjadi K segmen dengan data sejumlah M sample. Maka akan diperoleh bahwa nilai $N = K \times M$.
3. Kurangi nilai rata-rata dari tiap data (record data)
4. Asumsikan bahwa $x^i(k), K = 0, 1, \dots, M - 1$ adalah data set per segmen $i = 1, 2, \dots, K$, maka diperoleh estimasi *fourth-moment sequence* nya sebagai berikut:

$$r^i(m, n, o) = \frac{1}{M} \sum_{l=i}^{\frac{M}{2}} x^i(l)x^i(l+m)x^i(l+n)x^i(l+o) \quad (1)^{[3]}$$

dimana

$$i = 1, 2, \dots, K$$

$$l = 1, 2, \dots, M$$

$$m, n = 0, 1, 2, \dots, M/2$$

5. Hitung nilai rata-rata dari semua segmen, dengan:

$$\hat{c}_4^x(m, n, o) = (\tilde{r}(m, n, o) = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K r^{(i)}(m, n, o) \quad (2)^{[3]}$$

6. Hitung nilai estimasi *trispectrum*, dengan:

$$\tilde{T}(\omega_1, \omega_2, \omega_3) = \hat{C}_4^x(\omega_1, \omega_2, \omega_3) = \sum_{m=1}^{\frac{M}{2}} \sum_{n=1}^{\frac{M}{2}} \sum_{o=1}^{\frac{M}{2}} \tilde{r}(m, n, o) W(m, n, o) \exp[-j(\omega_1 m + \omega_2 n + \omega_3 o)] \quad (3)^{[3]}$$

dimana $W(m, n, o)$ merupakan fungsi window tiga dimensi.

B. Threshold

Pilihan nilai threshold ditentukan berdasarkan sebagaimana batas kemampuan nilai trispectrum dalam menentukan sinyal present atau sinyal absent. Jika skenario radio kognitif memerlukan probabilitas false alarm rendah untuk menghindari interferensi yang merugikan PU, maka nilai threshold relatif besar yang dipilih. Sebaliknya, jika skenario penginderaan membutuhkan probabilitas deteksi yang tinggi untuk menemukan lebih banyak band-band spektrum yang kosong, threshold kecil yang dipilih^[3].

Maka dari itu untuk menentukan nilai threshold didapat persamaan berikut

$$\lambda = \left[Q^{-1}(P_{FA}) \sqrt{\frac{1}{N} + 1} \right] \sigma_\omega^2 \quad (4)^{[7]}$$

dimana:

λ = nilai threshold

PFA = nilai probability false alarm yang diinginkan

N = panjang sampel sinyal diamati
 σ_ω^2 = variance noise AWGN

C. Probability of Detection dan Probability of False Alarm

Kinerja dari sistem deteksi sinyal dapat dilihat dari dua nilai probabilitas penentunya, yaitu probabilitas deteksi (P_D) dan probabilitas *false alarm* (P_{FA}). Probabilitas deteksi adalah kemungkinan deteksi sinyal pada frekuensi tertentu dengan pertimbangan sinyal tersebut benar-benar sinyal informasi, bukan hanya derau saja. Probabilitas *false alarm* adalah kemungkinan salah deteksi, artinya sinyal yang berisi informasi di suatu frekuensi akan dianggap kosong atau sebaliknya sinyal kosong akan dianggap sebagai sinyal informasi.

Berdasarkan standar IEEE 802.22, tahun 2006 tentang *Wireless RANs* yang membuat aturan tentang *Spectrum Sensing Requirements Summary*, telah ditetapkan bahwa batas P_D dan P_{FA} dengan sebagai berikut:

$$P_{FA} \leq 0,1$$

$$P_D \geq 0,9$$

IV Analisis

Pada bab ini dilakukan analisis mengenai hasil simulasi *spectrum sensing* pada sistem cognitive radio dengan metode HOSA trispectrum. Parameter yang dianalisis adalah nilai SNR, threshold, Probability of detection dan Probability False Alarm. Hasil analisis akan menemukan parameter terbaik untuk sistem sehingga memberikan hasil terbaik terhadap kemampuan *spectrum sensing* untuk mendeteksi keberadaan sinyal pada spektrum frekuensi dengan probabilitas false alarm yang tergolong baik.

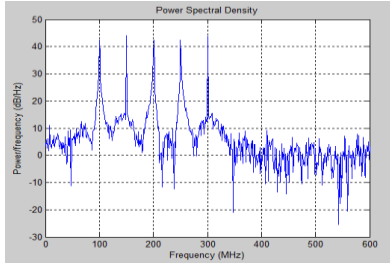
A. Analisis Power Spectrum

Setiap sinyal yang dibangkitkan dengan SNR yang berbeda akan menghasilkan power spectrum yang berbeda. Hal ini disebabkan adanya noise yang besarnya pun dipengaruhi oleh nilai SNR. Power spectrum atau PSD sinyal dapat dihitung dengan persamaan berikut:

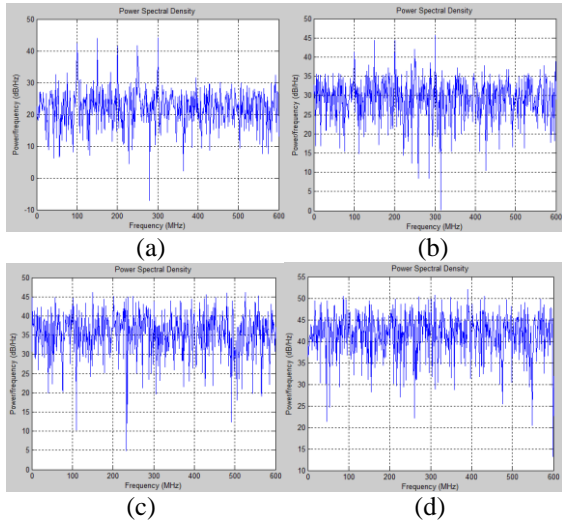
$$P(\omega) = X(\omega) \cdot X^*(\omega) \quad (6)^{[3]}$$

Dari simulasi diperoleh bahwa untuk nilai SNR= 0 dB terlihat perbedaan nilai power spectrum yang cukup signifikan antara sinyal dan noise. Hal ini disebabkan karena nilai SNR selalu berbanding terbalik dengan besar daya noise. Sedangkan untuk SNR= -7 dB, power spectrum antara sinyal dan noise semakin menyatu demikian seterusnya untuk SNR= -14 dB dan -20 dB power dari noise terlihat semakin besar hingga mendekati atau setara dengan power spectrum sinyal.

Power spectrum sendiri dapat digunakan untuk mengamati keberadaan sinyal PU dan spectrum holes. Power spectrum adalah nilai yang biasanya dipakai dalam metode *traditional energy detection*. Namun dalam kondisi SNR yang rendah penggunaan power spectrum menjadi tidak relevan dikarenakan sudah sulit mengamati dan membedakan antara sinyal dan noise.



Gambar 2 PSD sinyal transmitted



Gambar 3 PSD sinyal received dengan SNR : (a) 0 dB, (b) -7 dB, (c) -14 dB, (d) -20 dB

B. Analisis trispectrum amplitude

Trispectrum amplitude adalah nilai yang dihasilkan dari proses metode komputasi trispectrum terhadap sinyal input. Trispectrum sendiri seperti telah dijelaskan adalah transformasi Fourier 3-D dari 4^{th} order cumulant. Nilai trispectrum ini yang nantinya diperlukan dalam proses klasifikasi sinyal idle dan present.

Salah satu yang menjadi kelebihan dari metode HOSA ini adalah dimana pada orde tinggi (>2), nilai cumulant orde tinggi dari suatu sinyal Gaussian adalah sama dengan nol. Kelebihan lainnya, untuk gabungan dua buah sinyal, nilai cummulant nya adalah penjumlahan antara nilai cumulant masing-masing sinyal. Jika diasumsikan gabungan sinyal dinotasikan dalam persamaan $z(n) = s(n) + g(n)$ [4] dimana $s(n)$ adalah sinyal non-Gaussian dan $g(n)$ adalah Gaussian noise, maka nilai cumulant sinyal berdasarkan

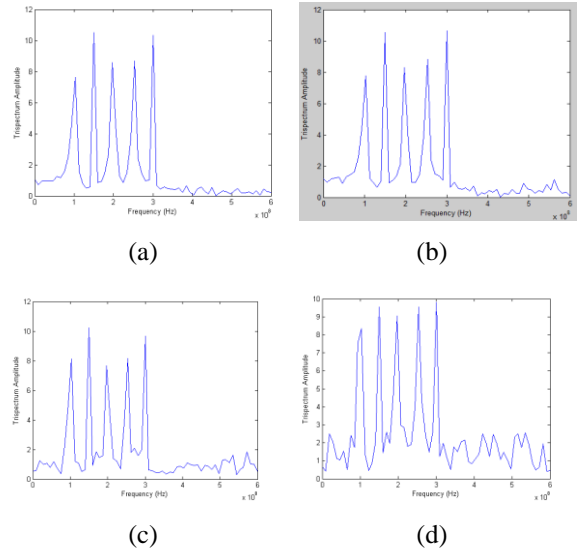
pernyataan di atas dapat dituliskan dengan persamaan berikut :

$$c_2^z(i) = c_2^s(i) + c_2^g(i) \quad (7)^{[4]}$$

$$c_3^z(i) = c_3^s(i) \quad (8)^{[4]}$$

$$c_4^z(i) = c_4^s(i) \quad (9)^{[4]}$$

Grafik trispectrum slide amplitude adalah grafik representasi sinyal yang menunjukkan estimasi nilai amplitude trispectrum untuk setiap sample frekuensi.



Gambar 4 Trispectrum sinyal received pada SNR: (a) 0dB, (b) -7dB, (c) -14dB, (d) -20dB

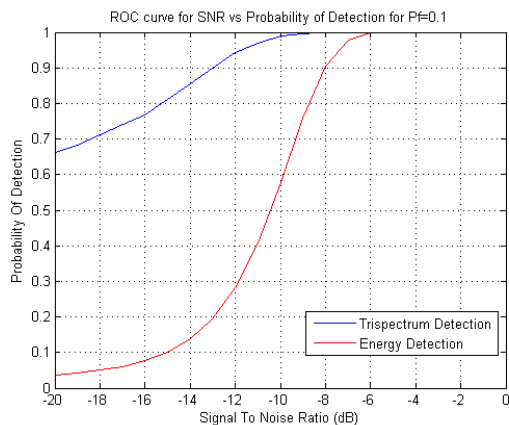
C. Analisis Probability of Detection

Nilai probability of detection yang ingin dicapai dalam simulasi sistem *spectrum sensing* penelitian ini adalah $P_d \geq 0,9$ dimana sistem diinginkan memiliki nilai $P_{fa} \leq 0,1$. Karena nilai P_{fa} yang ingin dicapai adalah nilai minimum, maka nilai P_{fa} diset menjadi variabel tetap. Sedangkan untuk threshold dipengaruhi nilai P_{fa} . Dan nilai P_d sendiri didapat berdasarkan hasil deteksi sinyal setelah diberi threshold.

Untuk mendapatkan nilai P_d dilakukan percobaan Monte Carlo, di mana dilakukan sejumlah simulasi deteksi *spectrum sensing* untuk setiap nilai SNR. Misal ditetapkan jumlah percobaan Monte Carlo sebanyak seribu(1000) kali. Jadi untuk setiap nilai SNR yang diuji dilakukan percobaan deteksi sebanyak seribu kali. Dari seribu percobaan tersebut didapat sejumlah percobaan dimana sistem berhasil mendeteksi kehadiran sinyal PU dengan benar. Maka nilai P_d didapat dari persamaan:

$$P_D = \frac{\text{jumlah percobaan berhasil deteksi}}{\text{jumlah percobaan Monte Carlo}} \quad (10)$$

Dari percobaan Monte Carlo dan perhitungan nilai threshold dan probability false alarm diperoleh hasil ditunjukkan seperti Gambar 5 di bawah.



Gambar 5 Grafik nilai PD terhadap SNR dengan metode trispectrum dan *energy detection*

Dapat dilihat dalam gambar perbedaan antara grafik PD dengan menggunakan *energy detection* dan trispectrum detection. Pada grafik *energy detection*, ditunjukkan bahwa untuk nilai $P_f = 0,1$ deteksi sistem mencapai nilai $P_d \geq 0,9$ pada kondisi nilai SNR = -8 dB. Pada kondisi SNR yang rendah sistem *energy detection* menghasilkan deteksi dengan nilai Pd yang cukup rendah juga.

Sedangkan dengan menggunakan metode trispectrum, untuk nilai $P_f = 0,1$ sistem mampu mencapai nilai $P_d \geq 0,9$ pada kondisi nilai SNR = -13 dB. Dan pada kondisi SNR yang rendah, grafik menunjukkan sistem trispectrum mampu menghasilkan nilai Pd yang cukup tinggi. Seperti pada gambar, dalam kondisi SNR = -20 dB sistem trispectrum memiliki nilai $P_d = 0,662$ sedangkan *energy detection* hanya mampu mendeteksi dengan nilai $P_d = 0,037$.

V Kesimpulan

Berdasarkan simulasi serta analisis yang telah dijelaskan sebelumnya, maka penulis mengambil beberapa kesimpulan antara lain:

1. Metode trispectrum mampu menjadi alternatif baru untuk mendeteksi kehadiran sinyal dalam *spectrum sensing*. Metode ini hanya memerlukan informasi yang sederhana berupa amplituda $A_x(k)$ dari spektrum frekuensi yang sedang diamati.
2. Karena skenario kondisi yang diinginkan penulis adalah sistem trispectrum mampu mendeteksi kehadiran sinyal dan meminimalisir terjadinya interferensi, maka sistem disimulasikan untuk mencapai nilai $P_f = 0,1$ dan nilai $P_d = 0,9$. Kondisi ini berhasil dicapai pada nilai SNR = -13 dB. Artinya, sistem bisa bekerja dengan sangat baik untuk kondisi $SNR \geq -13$ dB.
3. Untuk kondisi SNR rendah, *spectrum sensing* dengan menggunakan metode HOSA trispectrum

terbukti lebih handal dibandingkan dengan *energy detection* dalam mendeteksi kehadiran sinyal PU dan *spectrum idle*. Kesimpulan ini diambil berdasarkan perbandingan grafik nilai Pd antara metode HOSA trispectrum dan *energy detection*, pada nilai SNR -20 dB trispectrum telah mencapai nilai Pd 0,662 sedangkan metode *energy detection* hanya mencapai nilai PD sekitar 0,037.

Daftar Pustaka

- [1] Carvalho, Nuno B. et al. (2008). Application Notes: Multisine Signals for Wireless System Test and Design. IEEE Microwave Magazine
- [2] Collis, W. B., P. R. White And J. K. Hammond. (1998). HIGHER-ORDER SPECTRA: THE BISPECTRUM AND TRISPECTRUM, Mechanical Systems and Signal Processing ,12(3), 375-394
- [3] Fangmin Xu, Junhong Hui, Xufeng Zheng, Zheng Zhou. (2009). Accurate Blind Spectrum Sensing Based on High Order Statistical Analysis in Cognitive Radio System, Proc. ICCTA
- [4] Hanneschlager, Gunther. (2004). HOSA – Higher Order Spectra Analysis, Nov 24
- [5] Mendel, J. M. and fellow. (1991). Tutorial on Higher-Order Statistics (Spectra) in Signal Processing and System Theory: Theoretical Results and Some Applications. Proc. of The IEEE, Vol. 79, No.3
- [6] Nikias, C. L. and J. M. Mendel. (1993). Signal Processing with Higher-Order Spectra. Signal Processing
- [7] Sharma, Pulkit and Naresh Kumar. (2012). Dynamic *Energy detection* Approach for Spectrum Sensing in Cognitive Radio Networks
- [8] Wyglinski, Alexander M, dkk.(2009). Cognitive Radio Communications and Networks. Massachusets: Academic Press