ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE 141599

METODE *CLUSTERING* UNTUK *SPECTRUM SENSING* TERDISTRIBUSI PADA SISTEM RADIO KOGNITIF

AHMAD VIKKI YUDIONO
NRP 2212105086

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Wirawan, DEA.

PROGRAM STUDI S1 TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015

ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE 141599

CLUSTERING METHODS FOR DISTRIBUTED SPECTRUM SENSING IN COGNITIVE RADIO SYSTEMS

AHMAD VIKKI YUDIONO
NRP 2212105086

Supervisor
Dr. Ir. Wirawan, DEA

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2015

METODE *CLUSTERING* UNTUK *SPECTRUM SENSING* TERDISTRIBUSI PADA SISTEM RADIO KOGNITIF

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Sebagai Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Bidang Studi Teknik Telekomunikasi Multimedia
Jurusan Teknik Elektro
Institude Teknologi Sepuluh Nopember

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Wirawan , DEA.
NIP. 196311091989031011

SURABAYA
JANUARI, 2015

Metode Clustering untuk Spectrum Sensing Terdistribusi pada Sistem Radio Kognitif

ABSTRAK

Nama Mahasiswa	**:**	**Ahmad Vikki Yudiono (2212105086)**
Dosen Pembimbing 1	**:**	**Dr. Ir. Wirawan, DEA.**
NIP	**:**	**196311091989031011**

Spectrum sensing dalam sistem radio kognitif memiliki potensi untuk memperbaiki nilai dari *probability of detection* (P_d), *probability of false alarm* (P_{fa}), dan keputusan akhir. Dalam situasi ini, dimana tersebar beberapa radio kognitif yang berada di wilayah geografis tertentu. Karena setiap radio melakukan *spectrum sensing* secara individu, maka diperlukan pengelompokan (*clustering*) untuk dapat membagi informasi ke semua radio yang tidak dapat melakukan *sensing*.

Dalam Tugas Akhir ini, penulis mengusulkan metode *clustering* untuk melakukan didistribusi spektrum sensing dan membandingkannya dengan tanpa penggunaan metode *clustering.* Metode *clustering* yang digunakan adalah berdasarkan jarak (*distance-based clustering*). Dalam radio kognitif ada dua pengguna yaitu *primary user* (PU) yang terdaftar untuk mengakses spektrum dan *secondary user* (SU) merupakan pengguna yang tidak mempunyai lisensi spektrum. *Spectrum sensing* merupakan bagian penting dalam sistem radio kognitif, untuk mendeteksi keberadaan PU, yang berdasarkan hanya informasi daya *noise* atau daya sinyal. Teknik *spectrum sensing* yang digunakan di Tugas Akhir ini adalah detektor energi (*energy detector*), merupakan salah satu dari deteksi *semiblind*. Penggunan metode *clustering* untuk mengatasi masalah dimana terdapat *secondary user* yang berada diluar *region of potential interference* (RPI) dan tidak dapat mendeteksi keberadaan (sebenarnya PU hadir) menyebabkan nilai P_{fa} semakin tinggi. Maka dari itu dengan metode *clustering* dapat memberikan informasi tentang keberadaan PU dan meningkatkan nilai dari P_d.

Hasil simulasi menunjukkan tanpa menggunakan metode *clustering* terdapat 3 *secondary user* yang hanya mendeteksi keberadaan PU dengan nilai P_d 0.9 dan P_{fa} 0.1 serta keputusan akhir dengan logika OR saja yang mendeteksi keberadaan. Dengan diterapkannya metode *clustering*, seluruh *secondary user* dapat mendeteksi keberadaan PU dengan nilai P_d 0.9 dan P_{fa} 0.1 serta keputusan akhirnya dapat mendeteksi keberadaan PU untuk kedua logika (AND dan OR).

Kata Kunci : *Metode clustering, energy detector, spectrum sensing terdistribusi, sistem radio kognitif*

Clustering Methods for Distributed Spectrum Sensing in Cognitive Radio Systems

ABSTRACT

Student Name	**:**	**Ahmad Vikki Yudiono (2212105086)**
Lecture Counsellor 1	**:**	**Dr. Ir. Wirawan, DEA.**
ID Number	**:**	**196311091989031011**

Spectrum sensing in cognitive radio system has the potential to improve the value of the probability of detection (P_d), the probability of false alarm (P_{fa}), and the final decision. In this situation, where the spread some cognitive radios that are in a particular geographic area. Because each radio individually perform spectrum sensing, it is necessary grouping (clustering) to be able to share information to all radio can not perform sensing.

In this Final Project, the authors propose a clustering method to perform distributed sensing spectrum and compared withouth use of clustering methods. Clustering method used is based on the distance (distance-based clustering). In cognitive radio there are two users are the primary user (PU) which is licensed to access spectrum and secondary user (SU) is a user who does not have a spectrum license. Spectrum sensing is an important part of cognitive radio systems, to detect the presence of PU, which is based only information noise power or signal power. Spectrum sensing technique used in this Final Project is the energy detector (energy detector), is one of the semiblind detection. Use of clustering method to overcome the problem where there is a secondary user is outside the region of potential interference (RPI) and not be able to detect the presence (PU actually present) led to the higher value of PFA. Therefore the clustering method can provide information about the presence of PU and increase the value of P_d.

Simulation results show without using clustering methods are 3 secondary users only detect the presence of PU with P_d values 0.9 and 0.1 P_{fa} and the final decision with rule OR just that detect the presence. With the implementation of the clustering method, the entire secondary user can detect the presence of PU with P_d values 0.9 and 0.1 as well as

the decision ultimately P_{fa} can detect the presence of PU for both rule (AND and OR).

Key Words : *Clustering methods, energy detector, distributed spectrum sensing, radio cognitive system*

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur kami ucapkan kepada Allah SWT, atas berkat dan rahmat-NYA, kami dapat menyeleseikan buku Tugas Akhir yang berjudul :

METODE *CLUSTERING* UNTUK *SPECTRUM SENSING* PADA SISTEM RADIO KOGNITIF

Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademis yang harus ditempuh untuk menyelesaikan program studi *Strata-I* di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini terdapat kekurangan dan masih ada beberapa hal yang perlu diperbaiki. Saran dan kritik yang membangun dari semua pihak sangat membantu penulis untuk pengembangan dari penelitian ini lebih lanjut.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa syukur atas rahmat dan petunjuk dari Allah SWT yang telah memberi kemudahan selama proses pengerjaan Tugas Akhir. Serta tidak lupa ucapan terima kasih terhadap pihak-pihak yang telah menyukseskan antara lain:

1. Kedua orang tuaku, Nimbar dan Nikmah yang selalu memberi dukungan moril maupun material serta saudara-saudaraku yang selalu memberi dukungan dan doa.
2. Bapak Dr. Ir. Wirawan, DEA. Selaku dosen pembimbing 1 yang telah memberi bimbingan dan arahan selam proses pengerjaan Tugas Akhir.
3. Segenap Dosen dan Karyawan Teknik Elektro ITS
4. Teman-teman bidang studi telekomunikasi multimedia yang selalu memberi semangat dan kebersamaan dalam dua tahun menemani masa studi di Elektro ITS.
5. Teman-teman Lintas Jalur Genap Angkatan 2012 yang selalu memberi dukungan.

6. Sahabat-sahabatku yang selalu ada untukku.
7. Semua pihak yang mendukung kegiatan Tugas Akhir

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ..... **iii**
ABSTRAK ..... **v**
ABSTRACT ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **ix**
DAFTAR ISI ..... **xi**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiii**
DAFTAR TABEL ..... **xv**
BAB I **1**
PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 1
1.3 Batasan Masalah 2
1.4 Tujuan Penelitian 2
1.5 Metodologi Penelitian 2
1.6 Relevansi 3
BAB II **5**
TINJAUAN PUSTAKA **5**
2.1 Radio Kognitif 5
2.2 *Spectrum Sensing* 11
2.2.1 *Distributed Spectrum Sensing* 11
2.3 *Energy Detector* 12
2.4 Data Fusion 14
2.5 Decision Fusion 14
2.6 Teori Neyman-Pearson 15
2.7 Metode *Clustering* 16
BAB III **19**
PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM **19**
3.1 Metode Perencanaan Sistem 19
3.2 Pemodelan Sistem 20
3.3 Pemancar (*Transmitter*) 21
3.3.1 Modulasi 22
3.3.2 FFT dan IFFT 23
3.3.3 Pemodelan Kanal 24
3.3.4 Kanal Rayleigh *Multipath* 24
3.3.5 Model Rayleigh *Fading* 24
3.3.6 *Path Loss* 25
3.4 Penerima (*Receiver*) 26

3.5 *Energy Detector* (Deteksi Energi) 27
3.6 Perhitungan Jarak Setiap *Secondary User* (SU) Terhadap *Cluster Head* (CH) 28
3.7 Distance-based Clustering 28
3.8 *Distributed Spectrum Sensing* 29
BAB IV 31
ANALISIS DAN PEMBAHASAN 31
4.1 Analisis Hasil *Energy Detector* tanpa Metode *Clustering* 32
4.2 Analisis Hasil *Energy Detector* dengan Metode *Clustering* 35
BAB V 39
PENUTUP 39
5.1 Kesimpulan 39
5.2 Saran 39
DAFTAR PUSTAKA 41
LAMPIRAN 43
Lampiran A 43
Lampiran B 49
RIWAYAT HIDUP 69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konsep *Spectrum Hole* 6
Gambar 2. 2 Siklus Radio Kognitif 6
Gambar 2. 3 Arsitektur Jaringan Radio Kognitif 7
Gambar 2. 4 Teknik Deteksi Spektrum 11
Gambar 2. 5 Ilustrasi *Distributed Spectrum Sensing* 12

Gambar 3. 1 Alur perencanaan sistem 20
Gambar 3. 2 Penyebaran *Secondary User* (SU) 21
Gambar 3. 3 Blok Sistem yang Digunakan 22
Gambar 3. 4 Modulator BPSK 23
Gambar 3. 5 Sinyal Modulasi BPSK 23
Gambar 3. 6 Respon Impuls Pada Kanal *Multipath* 24
Gambar 3. 7 Blok Diagram untuk *Energy Detector* 27
Gambar 3. 8 Proses *Distance-based Clustering* 29
Gambar 3. 9 Proses *Distributed Spectrum Sensing* 30

Gambar 4. 1 BER vs Eb/N0 (dB) 34
Gambar 4. 2 Probabilitas Deteksi tanpa Metode *Clustering* 35
Gambar 4. 3 *Probability of False Alarm* tanpa Metode *Clustering* 36
Gambar 4. 4 Keputusan Akhir tanpa Metode *Clustering* 37
Gambar 4. 5 *Probability of Detection* dengan Metode *Clustering* 38
Gambar 4. 6 *Probability of False Detection* dengan Metode *Clustering* 39
Gambar 4. 7 Keputusan Akhir dengan Metode *Clustering* 40

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam beberapa tahun terakhir, konsep *cognitive radio* (CR) memperkenalkan pendekatan baru pada sistem komunikasi yang lebih efisien untuk penggunaan spektrum [1], [2]. Sebagai hasil dari perkembangan dan kemampuan adaptasi, CR dapat menemukan frekuensi yang tidak terpakai oleh pengguna utama (PU) pada lokasi dan waktu tertentu serta akses secara dinamis pada spektrum ini. Namun, tuntutan akses spektrum dinamis yang dilakukan CR, baik secara mandiri, terdistribusi, handal dan *spectrum sensing* secara efisien. Jika perkiraan spectrum sensing tidak dapat diandalkan, keputusan akses spektrum akan didasarkan pada informasi bising, yang dapat menyebabkan gangguan yang membahayakan.

Mengingat bahwa penggunaan spektrum adalah fenomena spasial, adalah wajar untuk melakukan *spectrum sensing* secara terdistribusi. Di antara keuntungan lainnya, memiliki potensi untuk mengurangi sensitivitas persyaratan-persyaratan dari CR individual dan untuk meminimalkan kemungkinan gangguan karena masalah hidden node [3]. Dalam penginderaan didistribusikan masing-masing CR agar memperoleh informasi yang relevan dari spektrum, memproses informasi ini, dan kemudian berbagi "*summary*" dari penginderaan dengan CR yang lain. Didefinisikan satu set CR yang melakukan distribusi spectrum sensing sebagai sensing cluster. Saat pengggunaan summary, *sensing cluster* membuat keputusan apakah pita frekuensi yang diberikan sedang digunakan oleh PU. Berdasarkan keputusan ini, baik semua CR dalam penggunaan sensing cluster (tidak terdeteksi PU) atau tidak menggunakan (PU terdeteksi) band yang ada. Tujuan dibalik penelitian ini adalah untuk mengalanisa pengelompokan CR dalam konteks didistribusikan spectrum sensing. Serta menganalisis kinerja metrik untuk evaluasi metode clustering untuk didistribusikan pada spectrum sensing.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana skenario dan model *clustering methods* pada radio kognitif?

2. Bagaimana perfomansi *clustering methods* pada sistem radio kognitif?
3. Apa dampak pengaruh metode *clustering* pada sistem radio kognitif ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dari pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. 1 pemancar *primary user* (PU) dan pengguna PU tidak ada.
2. 6 *secondary user* (SU), dimana ada yang dapat menerima sinyal PU dengan baik (berada dalam RPI) dan ada yang tidak dapat menerima sinyal karena berada di luar RPI pemancar PU.
3. Frekuensi yang digunakan GSM900 dengan *uplink* 890-915 MHz dan *downlink* 935-960 MHz yang setiap *channel* berjarak 45 MHz. Lebar pita band untuk *uplink* dan *downlink* 25 MHz dengan alokasi 0.2 MHz untuk masing-masing kanal.
4. Metode *clustering* yang digunakan hanya *distance-based clustering*.
5. Modulasi yang digunakan adalah BPSK.
6. Asumsi kanal nirkabel yang digunakan mengalami *multipath fading* dan *shadowing*.
7. Deteksi dan metode *clustering* tidak memperhitungkan waktu komputasi dan kompleksitas komputasi.
8. Nilai Eb/N0 untuk deteksi paling rendah -20 dB.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang diharapkan dengan selesainya tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mendapatkan hasil simulasi dengan penggunaan metode *clustering* mampu meningkatkan keputusan akhir.
2. Mendapatkan hasil perbandingan dan analisa dengan dan tanpa penggunaan metode *clustering*.

1.5 Metodologi Penelitian

Pada pengerjaan Tugas Akhir ini yang dimulai dari persiapan, perencanaan, pengerjaan, dan perbaikan serta hasil dan analisa yang

didapat maka diwujudkan ke dalam bentuk buku laporan Tugas Akhir dengan sistematika sebagai berikut :

Bab I Pendahuluan

Pada bab ini akan diuraikan pendahuluan yang terdiri dari latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika pembahasan dan relevansi penulisan tugas akhir.

Bab II Teori Penunjang

Bab ini menjelaskan mengenai teori pendukung yang digunakan sebagai referensi dalam melakukan simulasi diantara lain teori dasar radio kognitif, propagasi gelombang pada komunikasi nirkabel, trafik dan *clustering methods.*

Bab III Perencanaan dan Pembuatan Alat

Bab ini menjelaskan mengenai rancangan penelitian berupa metode perencanaan sistem kemudian dilanjutkan dengan parameter simulasi serta tahap-tahap dalam *clustering methods*.

Bab IV Pengukuran dan Pengujian Alat

Pada bab ini berisi hasil simulasi yang sudah dilakukan pada bab 3, kemudian akan dianalislis data maupun table yang telah dihasilkan pada simulasi tersebut.

Bab V Penutup

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari analisis data dan saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Relevansi

Hasil yang diperoleh tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan pembelajaran dan penelitian mengenai teknologi radio kognitif sebagai bahan untuk penelitian selanjutnya.
2. Memberikan referensi peningkatan keputusan akhir sistem radio kognitif pada *spectrum sensing* terdistribusi dengan menggunakan *clustering methods*.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

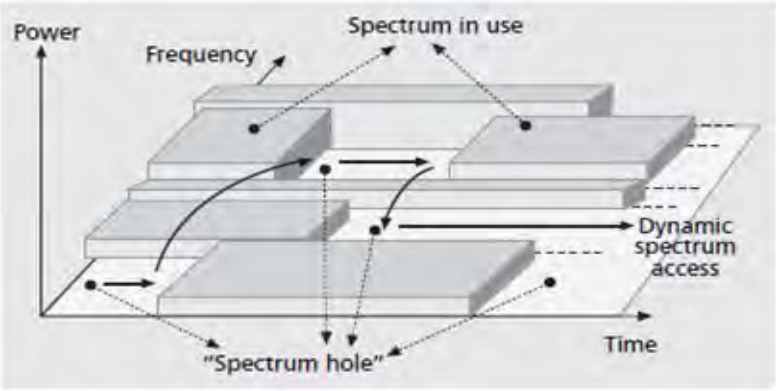
Pada bab ini dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan topik penelitian yang dilakukan. Teori yang mendukung penyelesaian tugas akhir ini diantaranya adalah radio kognitif, *spectrum sensing*, *distributed spectrum sensing*, *energy detector*, teori Neyman-Parson, *data fusion*, *decision fusion*, dan *clustering methods*.

2.1 Radio Kognitif

Radio kognitif merupakan sistem komunikasi nirkabel cerdas yang berkemampuan adaptasi dengan lingkungan dan mengambil tindakan yang dibutuhkan sesuai kepentingannya. Ada beberapa karakteristik dari radio kognitif, antara lain kognitif, rekonfigurasi dan *self-management*. Kognitif yaitu tentang kemampuan untuk *sensing* (merasakan) dan mengambil informasi dari lingkungan. Informasinya berupa frekuensi transisi, *bandwidth*, daya pancar, dan strategi modulasi secara *real-time*. Kemudian kemampuan rekonfigurasi yakni kemampuan dalam mengadaptasi parameter operasional secara cepat terhadap informasi yang telah di-*sensing* untuk performansi yang optimal. Dan selanjutnya kemampuan *self-management* yaitu kemampuan radio kognitif untuk beradaptasi terhadap lingkungan sekitar tanpa instruksi dari entitas pusat manajemen sehingga mengurangi kompleksitas sistem.

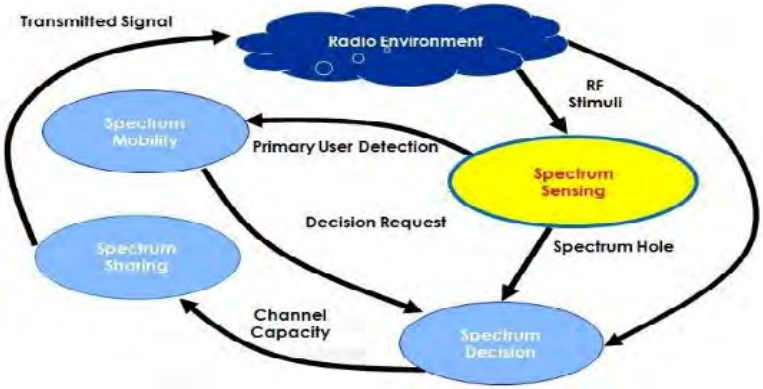
Cognitive radio atau CR diperkenalkan pertama kali oleh Joseph Mitola yang menjelaskan bahwa radio kognitif sebagai radio cerdas (*smart*) yang memiliki kesadaran diri (*self-aware*), kesadaran RF (RF-*aware*), kesadaran pengguna (*user-aware*) yang mencakup teknologi bahasa dan visi mesin yang mempunyai pengetahuan yang tinggi terhadap lingkungan radio [1]. Menurut Haykins, radio kognitif adalah sebuah radio yang memiliki kepedulian terhadap lingkungan sekelilingnya, mempelajari, dan beradaptasi megnubah parameter operasinya secara *real-time* dengan tujuan menyediakan kapanpun, dimanapun *frequency spectrum* yang efisien [2]. Tujuan utama *radio cognitive* adalah mendapatkan ketersediaan *hole spectrum* terbaik melalui kemampuan kognitif dan rekonfigurasi seperti yang dijelaskan sebelumnya [4]. Dalam radio kognitif terdapat dua kategori *user* yaitu *primary user* dan *secondary user*. *Primary user* merupakan pengguna

yang terdaftar dan mempunyai lisensi spectrum, sedangkan *secondary user* merupakan pengguna yang tidak mempunyai lisensi spectrum. Kebanyakan dari spectrum sudah banyak digunakan (diduduki), maka tantangan terpenting adalah untuk men-*sharing* spectrum berlisensi tanpa menggangu pengguna utamanya seperti pada gambar 2.1



Gambar 2. 1 Konsep *Spectrum Hole* [1]

Pada gambar 2.1 diketahui bahwa radio kognitif memungkinkan penggunaan spectrum yang tidak terpakai secara temporal yang disebut *spectrum hole* atau *white space*. Dengan keterbatasan alokasi spectrum frekuensi, pada kenyataannya *primary user* tidak sepenuhnya memanfaatkan sepanjang waktu.

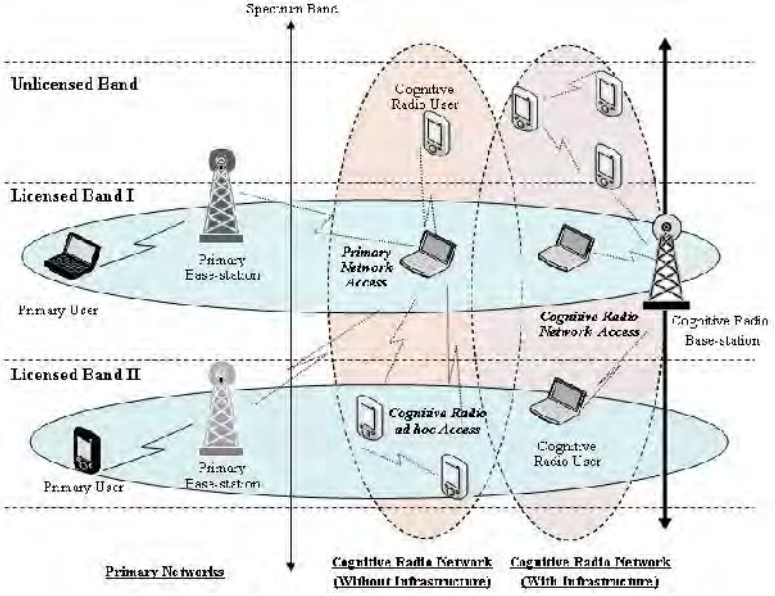


Gambar 2. 2 Siklus Radio Kognitif [3]

Dengan menerapkan *Dynamic Spectrum Access* (DSA), dimana mengijinkan *secondary user* untuk menggunakan spectrum primary user yang sementara tidak digunakan, *secondary user* dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan spectrum tanpa mengganggu *primary user*.

Siklus dari sistem kerja radio kognitif ditunjukkan pada Gambar 2.2. dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa terdapat 4 unsur utama, yang dilakukan secara *real-time* dan terus menerus.

Seperti yang dijelaskan sebelumnya dengan *sensing* maka *secondary user* radio kognitif dapat mendeteksi *spectrum white space* dan memanfaatkan spectrum tersebut. Setelah menemukan *spectrum white space* , manajemen spectrum dan fungsi *handoff* dibutuhkan agar *secondary user* dapat memilih alokasi frekuensi terbaik menurut karakteristik kanal. Pada sisi lain ketika *primary user* mulai menggunakan lisensinya, *secondary* mendeteksi aktifitas tersebut dari *sensing real time* yang dilakukan. Setelah itu *secondary user* tersebut mengarahkan proses transmisinya ke frekuensi lain yang tersedia menurut kapasitas kanal yang dilihat dari tingkat *noise*, interferensi, *path loss, delay*, dll.



Gambar 2. 3 Arsitektur Jaringan Radio Kognitif [2]

Pada teknologi DSA, *secondary user* dapat berbagi sumber daya spectrum fekuensi kepada *primary user, secondary user* lainnya atau keduanya. Diperlukan adanya pembatasan tingkat interferensi pada nilai tertentu ketika *secondary user* dan *primary user* bertemu menggunakan lisensi spectrum yang sama agar mencapai efisiensi spectrum yang tinggi.

Arsitektur jaringan radio kognitif secara umum terdiri dari jaringan *primary* dan *secondary* seperti yang tampak pada gambar 2.3. jaringan *secondary* adalah jaringan yang berisi beberapa *secondary user* dengan atau tanpa infrastruktur.

Tabel 2. 1 Skema klasifikasi dari sectrum allocation and sharing [3]

Klasifikasi kriteria	**Tipe 1**	**Tipe 2**
Spektrum yang digunakan oleh *secondary user*	Open *spectrum sharing* : akses hanya pada *unlicensed spectrum band*	*Hierarchical access / licensed spectrum sharing* : akses pada pita *licensed spectrum.*
Teknologi akses dari *licensed spectrum sharing*	*Spectrum underlay : secondary user* boleh menggunakan *licensed spectrum* bersamaan *primary user* dengan nilai interferensi tertentu.	*Spectrum overlay : secondary user* hanya menggunakan spectrum berlisensi ketika *primary user* tidak melakukan transmisi.
Arsitektur jaringan	*Centralized* (terpusat) : sebuah sentral unit mengkoordinasi alokasi spektrum dan akses	*Distributed* (terdistribusi) : setiap pengguna memiliki keputusannya sendiri-sendiri dalam strategi akses spektrum
Perilaku akses	*Cooperative :* semua *secondary user* bekerja untuk tujuan yang umum.	*Non-cooperative* : pengguna yang berbeda mempunyai tujuan yang berbeda pula.

Akses spectrum *secondary user* biasanya dikoordinasikan oleh *secondary base station.* Baik *secondary user* maupun *secondary base station* dilengkapi dengan kemampuan radio kognitif. Jaringan *primary* merupakan jaringan dengan beberapa *primary user* dan *primary base station.*

Primary user diijinkan menggunakan lisensi *spectrum* tertentu dibawah koordinasi dari *base station.* Transmisi mereka harus terbebas dari interferensi *secondary user. Primary user* dan *primary base station* tidak dilengkapi kemampuan radio kognitif, oleh sebab itu *secondary user* harus selalu mendeteksi kemunculan dari *primary user* dan mengarahkan transmisi mereka pada spectrum lain yang tersedia.

Radio kognitif terbagi beberapa kriteria menurut *spectrum allocation* dan *sharing* [3]. Skema pembagian klasifikasi kriteria tersebut disajikan pada Tabel 2.1.

Klasifikasi pertama yaitu menurut kriteria spectrum yang digunakan oleh *secondary user*. *Spectrum sharing* dimana *secondary user* mengakses *unlicensed spectrum band* disebut dengan *open spectrum sharing.* Contoh dari jenis *spectrum sharing* ini adalah *unlicensed sharing* untuk industrial, penelitian, dan medis. Pada *open spectrum sharing* ketika tidak ada yang memiliki ijin menggunakan spectrum, semua user mempunyai hak yang sama dalam menggunakan *unlicensed spectrum* tersebut. *Spectrum sharing* dimana *secondary user* dan *primary user* berada pada *licensed spectrum band* disebut dengan model akses *hierarchical / licensed spectrum sharing. Primary user* biasanya tidak dilengkapi dengan radio kognitif sebab mereka tidak membutuhkan mekanisme DSA. Hal tersebut dikarenakan *primary user* mempunyai prioritas utama dalam pemanfaatan pita spectrum mereka. Selama *primary user* menduduki penggunaan spektrumnya, *secondary user* harus mengatur parameter operasi mereka seperti daya, frekuensi, dan bandwidth untuk menghindari terjadinya gangguan pada *primary user.*

Berdasarkan teknologi akses dari *secondary user, licensed spectrum sharing* terbagi dalam 2 kategori:

1. *Spectrum underlay* : pada *spectrum underlay, secondary user* diijinkan mengirimkan data pada pita *licensed spectrum* ketika *primary user* juga sedang beroperasi. Model pembatasan *interference temperature* yang diijinkan dan *primary user* dapat mengirimkan data ke penerima dengan

lancer. Teknik *spread spectrum* biasanya digunakan oleh *secondary user* dalam pemanfaatan spectrum pada skala besar. Bagaimanapun, adanya kendala pada daya transmisi, *secondary user* hanya dapat mencapai komunikasi jarak pendek. Pada *spectrum underlay* ini, jika *primary user* mengirimkan data sepanjang waktu dalam mode konstan, *secondary user* tidak perlu melakukan deteksi spectrum untuk menemukan pita spectrum yang tersedia.

2. *Spectrum overlay* : juga disebut sebagai *opportunistic spectrum access.* Berbeda dengan *spectrum underlay*, *secondary user* dalam *spectrum overlay* haya akan menggunakan *licensed spectrum* ketika *primary user* tidak beroperasi, sehingga tidak ada batas *interference temperature* yang dikenakan pada transmisi *secondary user*. Sebaliknya, *secondary user* perlu melakukan *sensing* pada pita *licensed frequency* dan mendeteksi *spectrum white space*, dengan bertujuan untuk menghindari interferensi yang mengganggu *primary user*.

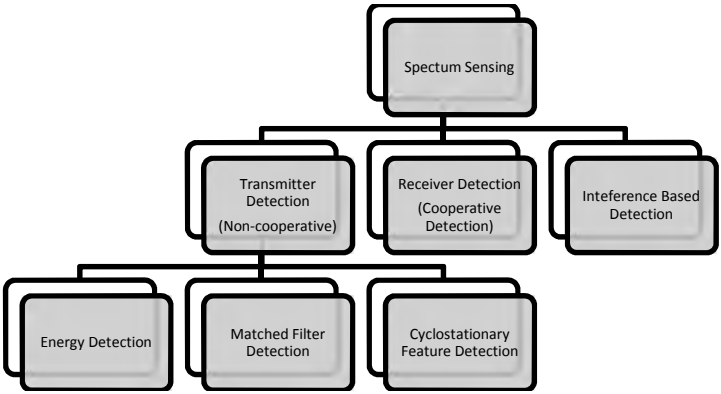
Klasifikasi kedua adalah berdasrkan arsitektur jaringan. Ketika terdapat suatu pusat yang mengontrol dan mengkoordinasi alokasi serta akses spectrum *secondary user,* maka arsitektur tersebut adalah *centralized.* Jika tidak ada kontrol pusat pada arsitektur jaringan, maka jenis ini disebut dengan *distributed spectrum sharing*. Dalam *distributed spectrum sharing,* setiap pengguna membuat keputusan sendiri tentang strategi akses spektrumnya, terutama didasarkan pada pengamatan local dari dinamika spectrum.

Klasifikasi ketiga adalah sesuai dengan perilaku akses *secondary user.* Jika semua *secondary user* bekerja menuju tujuan bersama, misalnya mereka milik operator atau penyedia layanan yang sama, maka mereka akan mengkoordinasi alokasi dan akses dalam rangka memaksimalkan kesjahteraan social mereka. Jenis ini disebut *cooperative spectrum sharing.* Sebagian besar *centralized spectrum allocation* dapat digolongkan *cooperative.* Di sisi lain, tidak selalu semua *secondary user* milik dari penyedia layanan yang sama, seperti mereka yang mengakses open *spectrum band.* Pengguna yang berbeda memiliki tujuan yang berbeda, oleh karena itu mereka hanya bertujuan memaksimalkan keuntungan dari mereka sendiri dari penggunaan sumber daya spectrum. Karena pengguna tidak lagi kooperatif dalam

mencapai tujuan yang sama, maka jenis *spectrum sharing* ini adalah *non-cooperative* dan *secondary user* cenderung mengejar keuntungan mereka sendiri.

2.2 *Spectrum Sensing*

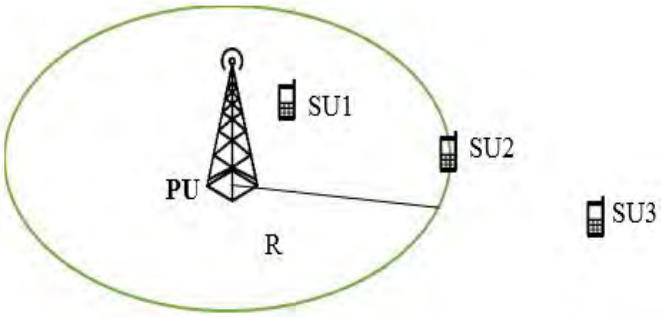
Spectrum sensing adalah tugas utama dalam siklus dan tantangan utama pada radio kognitif. Dalam *spectrum sensing* mempelajari spectrum dan menemukan band-band yang tidak terpakai dan sekaligus menghindari spectrum yang ditempati oleh *primary user*. Hal ini dapat didefinisikan sebagai tindakan radio kognitif mengukur parameter sinya. Banyak teknik deteksi spectrum yang dapat digunakan untuk meningkatkan probabilitas deteksi, seperti ditunjuk gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Teknik Deteksi Spektrum [1]

2.2.1 *Distributed Spectrum Sensing*

Pada arsitektur *centralized*, banyak informasi yang harus dilewatkan melalui jaringan dan *central controller* (kontrol pusat) untuk mengkoordinasi spektrum mereka. Hal ini mengakibatkan terjadinya jumlah trafik yang padat. Oleh karena itu *spectrum sensing* terdistribusi lebih unggul dan diutamakan. Pada *spectrum sensing* terdistribusi deteksi band frekuensi yang kosong dari setiap pengguna kognitif radio dapat berbeda-beda tergantung dari tingkat deteksi mereka terhadap kondisi sebenarnya. Hal ini dapat dipengaruhi oleh trafik, jarak dan lain sebagainya.



Gambar 2. 5 Ilustrasi *Distributed Spectrum Sensing*

Dari gambar 2.5 diatas dapat dilihat kognitif radio (CR) bertindak sebagai *secondary user*. Dengan menggunakan metode *energy detector*, pengguna kognitif radio dapat melakukan spectrum sensing dari pengaruh jarak. SU1 diibaratkan dapat mendeteksi keberadaan PU sedangkan SU2 dan SU3 tidak mendeteksi keberadan PU, maka salah satu cara untuk dapat mengetahui kondisi sebenarnya dari PU adalah dengan mendapatkan informasi dari SU1 yang hasil deteksinya sesuai dengan kondisi sebenarnya. Oleh karena itu hal ini dapat dilakukan jika ketiga SU saling berbagi atau mendistribusi informasi tentang keberadaan PU atau tidak.

Saat beberapa *user* atau pengguna disebar pada lokasi yang berbeda, dimungkinkan mereka untuk mendistribusikan informasi tentang kehadiran *primary user* (PU) untuk mencapai deteksi *sensing* yang lebih tinggi. Untuk mendapatkan sebuah keputusan akhir dibutuhkan semua *user* untuk mengirim data dari hasil *sensing* yang dikumpulkan menjadi satu. Maka dari itu dibutuhkan *data fusion* dan *deicion fusion* untuk mengolah data yang hasil *sensing* dari seluruh *user* yang diamati secara independen, yang akan dihasilkan keputusan.

2.3 *Energy Detector*

Energy detection merupakan salah satu contoh metode *semiblind detector* dimana metode ini mengharuskan informasi daya derau saja. *Energy detector* ini nantinya dipakai untuk melakukan *spectrum sensing* sehingga dapat diketahui band spektrum yang dipakai oleh *primary user* dalam keadaan kosong atau tidak.

Dalam mendeteksi sinyal primer, *energy detector* membuat sebuah keputusan tentang uji hipotesa dalam memilih H_0 atau H_1 didasarkan pada sinyal yang diterima.

$\mathcal{H}_0 : x(n) = w(n)$ *Primary User* (PU) tidak ada.....(2.1)
$\mathcal{H}_1 : x(n) = hs(n) + w(n)$ *Primary User* (PU) ada .....(2.2)

Keterangan :

h adalah gain saluran dari pemancar PU dan penerima SU.

s(n) adalah sampel sinyal yang ditransmisikan yang telah melalui sebuah kanal nirkabel yang terdiri dari *path loss*, *multiple fading* dan juga pengaruh *time dispertion*.

w(n) adalah *noise* AWGN dengan *mean nol varian* (σ_s^2) dan i.i.d (*identically and independent distribution*).

x(n) adalah sinyal yang diterima dari hipotesa yang dilakukan.

Dalam prakteknya beberapa tantangan untuk spectrum sensing adalah diharuskan SNR untuk deteksi serendah mungkin. Pada kanal nirkabel ada *multipath fading* dan *time dispertion* yang dapat mempersulit masalah deteksi. *Multipath fading* menyebabkan daya sinyal berfluktuasi sebesar 30 dB. Tantangan lainnya saat level derau/interferensi yang dapat berubah terhadap lokasi dan waktu, dimana daya derau yang tidak menentu adalah masalah untuk deteksi. Tujuan utama dari deteksi yaitu menentukan ada dan tidak adanya pengguna primer pita frekuensi (*band frequency*). Dari setiap metode deteksi yang digunakan untuk menentukan keberadaan pengguna primer dapat ditentukan oleh nilai probabilitas deteksi (P_d) dan probabilitas *false-alarm* (P_{fa}).

Probabilitas deteksi adalah probabilitas bahwa detector memutuskan bahwa saluran tersebut kosong atau tidak sesuai dengan keadaan sebenarnya. Probabilitas *false alarm* adalah probabilitas yang memutuskan bahwa sinyal utama ada ketika sinyal itu sebenarnya tidak ada. Satu lagi probabilitas yang dikenal dalam metode deteksi adalah probabilitas *missed detection* (P_{md}). Probabilitas *missed detection* ini adalah probabilitas bahwa *detector* memutuskan bahwa saluran tersebut kosong ketika saluran tersebut diduduki. Jika P_{fa} tinggi maka tingkat pemanfaatan spektrum akan dikurangi dan pada sisi lain jika P_{md} tinggi maka gangguan kepada pengguna primer meningkat. Hubungan antara P_d dan P_{fa} saling bertolak belakang. Apabila nilai P_d semakin besar maka nilai P_{fa} semakin kecil. Untuk mendapatkan nilai P_d yang besar

maka diperlukan jumlah hasil deteksi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan P_{fa}. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meningkatkan nilai P_d diantara pengguna sekunder dapat dilakukan dengan saling berbagi hasil penginderaan mereka dimana perilaku ini dikenal dengan penginderaan kooperatif (*cooperative sensing*).

Pada *energy detector* ini tidak mengharuskan informasi dari sumber sinyal sehingga optimal untuk mendeteksi sinyal yang terdistribusi identik dan independen (*independent and identically distributed*) tetapi derau yang tidak menentu membatasi *energy detector* dalam melakukan *spectrum sensing*.

2.4 Data Fusion

Pada skema penginderaan terdistribusi sederhana berdasarkan *energy detector* adalah gabungan dari *energy detector*. Dari skema ini, setiap pengguna mengkomputasi sumber sinyal yang diterimanya termasuk *noise* sebagai $T_{ED,i} = (\frac{1}{N}) \sum_{n=0}^{N-1} |x_i(n)|^2$ dan mengirimkan sinyal tersebut ke prosesor utama, yang merangkum nilai-nilai energi yang dikumpulkan menggunakan *linear combination* (LC) untuk mendapatkan tes statistik[5]:

$$T_{LC}(x) = \sum_{i=1}^{M} g_i T_{ED,i} \quad \text{.....(2.3)}$$

Dimana g_i adalah koefisien gabungan dengan $g_i \geq 0$ dan $\sum_{i=1}^{M} g_i = 1$

2.5 Decision Fusion

Pada keputusan *fusion* dibangkitkan aturan *fusion* untuk membuat keputusan akhir. Secara spesifik jika setiap pengguna hanya mengirimkan keputusan dalam satu bit yakni "1" untuk sinyal ada dan "0" untuk sinyal tidak ada.

a. Logika-OR (LO)

   Pada aturan OR ini jika salah satu keputusannya adalah "1" maka keputusan akhir adalah "1". Pada aturan ini diasumsikan bahwa seluruh keputusan adalah independen sehingga probabilitas deteksi dan probabilitas *false alarm* adalah:

$$P_d = 1 - \prod_{i=1}^{M} (1 - P_{d,i}) \quad \text{.....(2.4)}$$

$$P_{fa} = 1 - \prod_{i=1}^{M} (1 - P_{fa,i}) \quad \text{.....(2.5)}$$

b. Logika-AND (LA)

Pada aturan AND ini jika dan hanya jika seluruh keputusan adalah "1" maka keputusan akhir adalah "1". Probabilitas deteksi dan probabilitas *false alarm* adalah:

$$P_d = \prod_{i=1}^{M}(1 - P_{d,i}) \quad \text{.....(2.6)}$$

$$P_{fa} = \prod_{i=1}^{M}(1 - P_{fa,i}) \quad \text{.....(2.7)}$$

2.6 Teori Neyman-Pearson

Teori ini mengenalkan tujuan melakukan pengujian sebagai contoh, anggap satu hipotesis dikenal sebagai *null hypothesis*, menyatakan data pengamatan hanya berua *noise* saja. Anggap hipotesis lainnya, dinamakan *alternative hypothesis*, menyatakan data pengamatan terdiri dari sinyal deterministic ditambah *noise*. Untuk memutuskan pengujian ini maka dibutuhkan aturan keputusan dari kriteria yang spesifik untuk memilih diantara kedua hipotesis tersebut. Aturan keputusan yang optimal bersumber dari *likelihood ratio test* (LRT). LRT memilih antara *null hypothesis* dan *alternative hypothesis* berdasarkan nilai rasio probabilitas dari kondisi yang ada.

Pada teori ini diketahui bahwa untuk sebuah probabilitas *false-alarm* yang diberikan, uji statistik yang memaksimalkan probabilitas deteksi adalah *likelihood ratio test* (LRT) yang didefinisikan yaitu:

$$T_{LRT}(x) = \frac{p(x|\mathcal{H}_1)}{p(x|\mathcal{H}_0)} \quad \text{.....(2.8)}$$

Keterangan :

$p(.)$ menyatakan *probability density function* (PDF)

x menyatakan vector sinyal yang diterima gabungan dari *x(n)*, *n* = 0, 1,…,N-1. LRT memutuskan $\mathcal{H}_1$ ketika $T_{LRT}(x)$ melebihi *threshold* γ dan $\mathcal{H}_0$ sebaliknya.

Selanjutnya dari uji statistik *energy detector* menggunakan teori neyman-parson ini diperoleh pendekatan yakni:

$$T_{ED} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}|x[n]|^2 \quad \text{.....(2.9)}$$

Keterangan:

T_{ED} adalah pendekatan Neyman-Pearson untuk *energy detector*

N adalah total sampel yang terkumpul selama periode *sensing*

N adalah indeks waktu diskrit dimulai dari 1, 2, …, N

x(n) adalah sinyal yang diterima dari hipotesa yang dilakukan

2.7 Metode *Clustering*

Metode *clustering* memiliki asumsi yang berbeda mengenai informasi yang tersedia tentang posisi *cognitive radio* (CR) dan/atau *secondary user*. Dalam hal ini dimana posisi dari *secondary user* dan *primary user* (PU) tidak diketahui, maka metode *clustering* dikelompokkan sebagai berikut:

- *Random clustering* : CR dibagi menjadi beberapa *cluster* secara *random*, dengan jumlah CR (kurang lebih sama) sama setiap *cluster*.

Terdapat dua metode untuk kasus dimana CR diketahui dan PU tidak diketahui. Informasi posisi CR dapat diperoleh melalui penggunaan GPS atau dengan menggunakan salah satu dari banyak algoritma yang berbeda, misalnya untuk lokalisai node jaringan nirkabel. Metodenya adalah :

- *Referenced-based clustering* : Pada metode ini, pembagian *cluster* CR berdasarkan posisi mereka sehubungan dengan referensi yang diberikan. Sebagai contoh, CR di Manhattan dapat dibagi menjadi 3 (tiga) *cluster* apakah berada di *downtown*, *midtown*, atau *uptown*; atau menjadi 2 (dua) kelompok, tergantung apakah CR berada di sisi timur atau barat dari *Fifth Avenue*.

- *Statistical clustering* : CR dibagi ke dalam *cluster* menggunakan statistic yang mengambil posisi relative dari semua CR dalam sistem. Artinya, CR ini terkelompokkan sesuai dengan proximitis relative mereka.

Clustering telah dipelajari secara ekstensif di berbagai bidang seperti kompresi data, pola klasifikasi [10], [11] dan dalam konteks jaringan *ad-hoc* dan sensor (misalnya, sebagai pendekatan efisiensi untuk mengatur “jaringan topologi dengan bertujuan menyeimbangkan beban dan memperpanjang *lifetime* jaringan” [12]). Dalam aplikasinya akan diasumsikan posisi CR-nya dan jumlah dari *cluster* diketahui,

digunakanlah metode klasik k-means *clustering*. Metode k-mean dimulai dengan dimulai dengan inisialisasi *head cluster cluster,* 2 langkah berikut dilakukan iteratif sampai kondisi konvergensi terpenuhi.

1) CR ditugaskan meng-*cluster* dengan *head cluster* terdekat.
2) Kemudian *head cluster* menghitung untuk *cluster* baru [10], [14].

Pada metode *cluster* terakhir ini dimana CR dan PU sama-sama diketahui :

- *Distance-based clustering* : Diluar dari K di CR pada sebuah *sensing cluster*, hanya k (k < K) terdekat CR dari PU yang dapat melakukan *distributed spectrum sensing.*

Informasi posisi PU dapat diperoleh dari *database* di *regulatory agencies* atau diestimasikan sebagai bagian dari proses *spectrum sensing*. (Perhatikan bahwa *spectrum sensing* diperlukan jika posisi PU dikenal karena PU mungkin atau tidak mungkin berkomunikasi dalam waktu singkat).

.

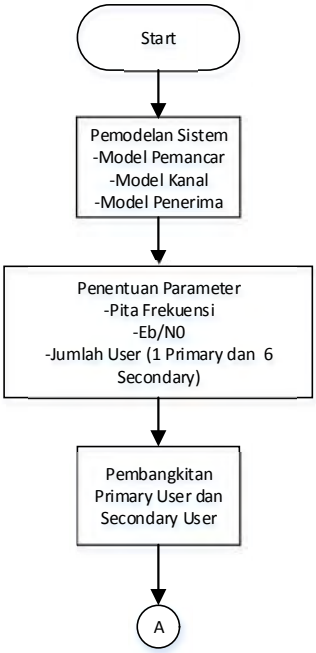
BAB III
PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM

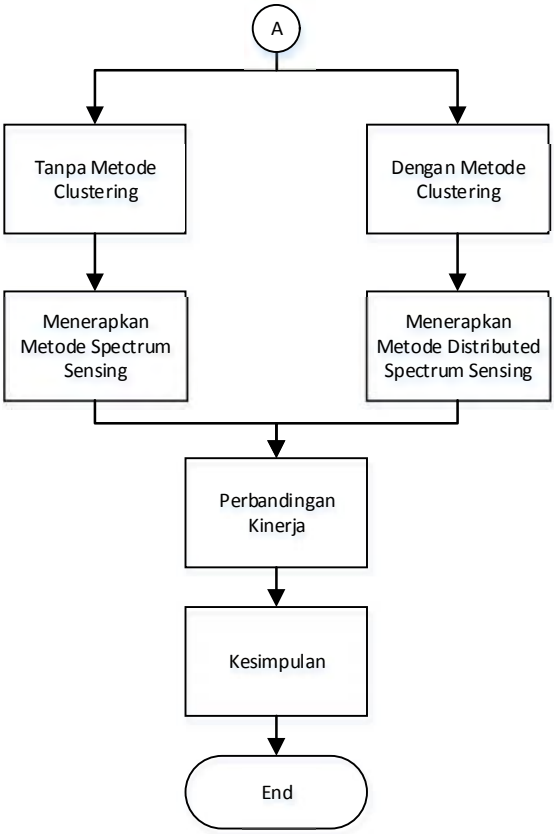
Pada bab ini akan dijelaskan tentang metode dan proses simulasi yang digunakan untuk menganalisa metode clustering pada sistem radio kognitif. Media simulasi yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah software MATLAB yang nantinya hasilnya akan dinalisa pada bab berikutnya.

Pada tahap ini akan dijelaskan gambaran umum serta metode pengerjaan simulasi dengan dilanjutkan dengan pemodelan secondary user, primary user dan distributed spectrum sensing. Bagian akhir pada bab ini menjelaskan tentang metode clustering pada sistem radio kognitif

3.1 Metode Perencanaan Sistem

Pada pemodelan simulasi tugas akhir ini digunakan beberapa asumsi dan parameter yaitu :





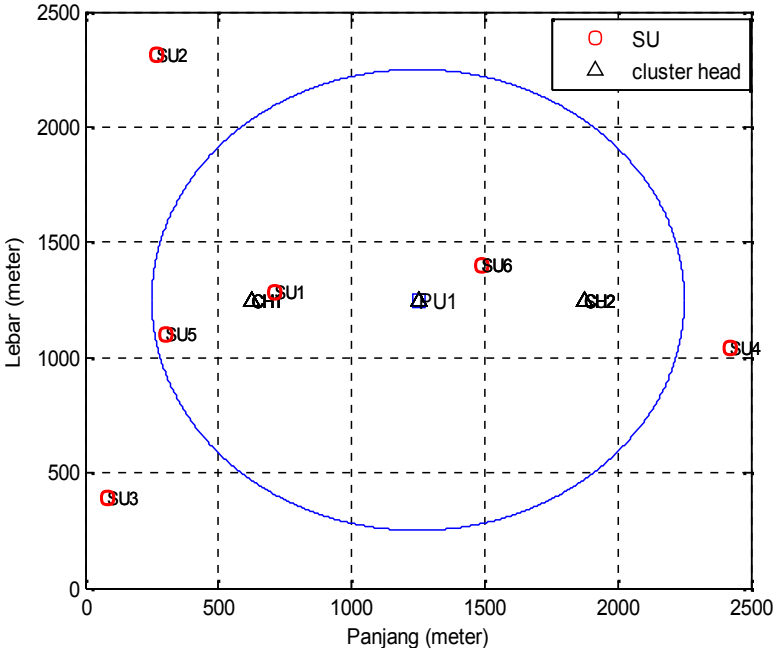
Gambar 3. 1 Alur Perencanaan Sistem

3.2 Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem yang dirancang dalam tugas akhir ini terdiri dari satu *primary user* (PU) dan 6 *secondary user* (SU), dimana SU disebar secara acak. Dari penyebaran SU tersebut ada dua keadaan yaitu ada yang *sensing* dari pemancar dengan baik dikarenakan SU berada dalam *region of potential interference* (RPI) dengan PU atau berada dalam radius pancaran *primary user* dan keadaan yang kedua adalah SU yang berada diluar RPI/radius dari PU dimana tidak mendapatkan sinyal

menyebabkan daya pancar atau sensivitasnya lebih besar daripada daya yang diterima, seperti gambar 3.2.

Model kanal yang digunakan yaitu *additive white gaussian noise* (AWGN) serta kondisi kanal yang mengalami *multipath fading*, yang mengakibatkan sinyal di penerima tidak sampai, maka diasumsikan juga distribusi Rayleigh.



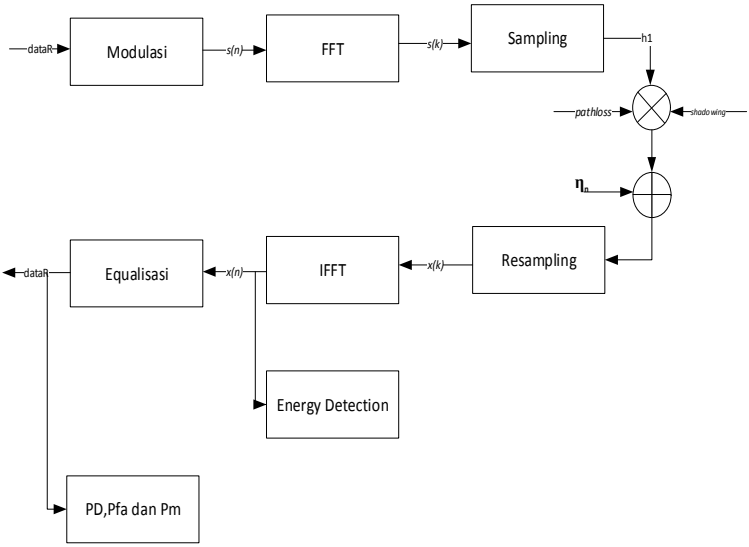
Gambar 3. 2 Penyebaran *Secondary User* (SU)

Disisi penerima, setelah penyebaran *user* maka digunakan metode *clustering*, dimana dalam 1 *cluster* terdapat 1 *head cluster* (HC) yang berfungsi sebagai *data fussion* dan *decision fussion*. Setiap *user* (SU1-SU6) dapat saling berkomunikasi atau saling bertukar informasi dari hasil *sensing* diantara mereka terhadap kehadiran *primary user* (PU).

3.3 Pemancar (*Transmitter*)

Primary User (PU) diasumsikan bekerja pada GSM dengan frekuensi 900 MHz atau biasa disebut dengan GSM900, yang memiliki

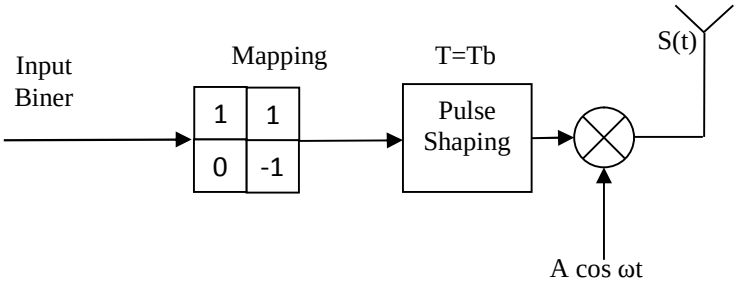
downlink antara 935 sampai 960 MHz dengan masing-masing kanal memiliki bandwidth 0,2 MHz. Dalam 1 kanal terdapat 8 *time slot* (TS) dan setiap 1 TS terdapat 156,25 bit, dimana hanya 148 bit yang digunakan data karena 8.25 bit lainnya sebagai guard bit.



Gambar 3. 3 Blok Sistem yang Digunakan

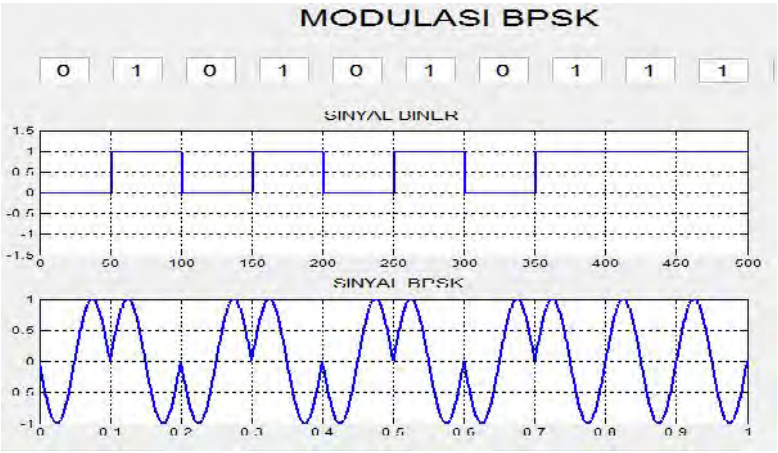
3.3.1 Modulasi

Modulasi yang dilakukan dengan mengubah sinyal pada dataT kedalam bentuk tertentu sesuai persyaratan yang diusulkan berdasarkan kecepatan data (*data rate*), lebar pita *bandwidth* serta jenis *noise* atau gangguan terhadap informasi. Dalam tugas akhir ini digunakan modulasi BPSK, dimana data bit 1 dan 0 diubah menjadi +1 dan -1 seperti gambar 3.4 dalam satu simbol untuk modulasi PSK lainnya berbeda. Jumlah bit ini tergantung dengan multi level modulasi PSK. PSK yang mempunyai multi level ini disebut dengan M-array PSK. Untuk BPSK nilai M adalah 2. Hasil mapping merupakan sinyal baseband BPSK. Untuk membentuk sinyal dalam bentuk pulsa, sinyal baseband dibentuk melalui pulse shaping untuk mereduce interferensi antar symbol dan menghemat spectrum frekuensi.



Gambar 3. 4 Modulator BPSK

Pulse shaping yang digunakan mempunyai perioda T=Tb ini hanya berlaku untuk BPSK karena satu simbol mewakili satu bit.



Gambar 3. 5 Sinyal Modulasi BPSK

Untuk sistem pada GSM900, modulasi yang digunakan adalah GMSK (*Gaussian Miimum Shift Keying*) tetapi dalam tugas akhir ini tidak digunakan.

3.3.2 FFT dan IFFT

Fast Fourier Transform digunakan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu disktrit ke dalam domain frekuensi.

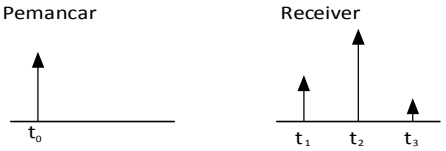
Sementara itu *Inverse Fast Fourier Transform* merupakan perubahan sinyal dari domain frekuensi ke waktu diskrit, dimana perubahan FFT ke IFFT menggunakan DFT (*Discrete Fouries Transform*). DFT merupakan metode transformasi matematis untuk sinyal waktu diskrit ke dalam domain frekuensi. Secara sederhana jika DFT merupakan metode transformasi matematis sinyal waktu diskrit, sedangkan FFT meupakan algoritma yang digunakan untuk melakukan tranformasi tersebut.

3.3.3 Pemodelan Kanal

Dalam tugas akhir ini diasumsikan *spectrum sensing*-nya dilakukan pada daerah kota (urban), dimana diantara pemancar dan penerima terdiri dari banyak lintasan (*multipath*), menyebabkan penerima daya yang diterima berkurang. Selanjutnya, lintasannya tidak ada yang LOS (*Light of Side*) atau biasa disebut dengan NLOS (*Non Light of Side*). Maka dari itu pemodelan kanal yang digunakan adalah model kanal *Rayleigh*. Daya pancar *primary user* (PU) segala arah (*omnidirectional*) dengan letak PU berada di tengah area. Asumsi luas area panjang 2000 meter dan lebar 2000 meter (*rectangular region*).

3.3.4 Kanal Rayleigh *Multipath*

Pada lingkungan yang memiliki banyak lintasan (*multipath*), sebuah daya impuls yang dikirimkan dari *transmitter* ke *receiver* berupa deretan impuls, seperti pada gambar 3.5. Dari gambar tersebut terlihat sebuah contoh respon impuls dari hasil yang diterima *receiver*, dimana waktu dan amplitudo yang berbeda.



Gambar 3. 6 Respon Impuls Pada Kanal *Multipath*

3.3.5 Model Rayleigh *Fading*

Fase dari setiap lintasa bisa berubah sebesar 2π radian saat delay berubah dengan $1/f_c$. Jika f_c jauh lebih besar, maka gerakan relatif kecil dalam ruang menyebabkan perubahan 2π radian. Jika jarak antara pemancar dan penerima lebih besar daripada lamda (panjang gemombang) frekuensi *carrier* (pembawa), maka diasumsikan jika fase

terdistribusi merata (*uniformly distributed*) yaitu antara 0 dan 2π radian serta fase setiap lintasan adalah independen.

Saat beberapa lintasan diterapkan *central limit theorem* (CLT), setiap lintasan dapat dimodelkan dalam *circularly symmetric complex Gaussian random variable* (CSGRV) dengan variabelnya waktu. Persamaannya ialah

$$\boldsymbol{Z} = \boldsymbol{X} + \boldsymbol{j}Y \quad \text{.....(3.1)}$$

Dalam persamaan ini bagian *real* dan *imajiner*-nya adalah *zero independent and indentically distributed* (i.i.d) variable acak *Gaussian*.

Untuk persamaan CSCGRV (*Circulary Symetric Complex Gaussian Random* Variable) dari Z adalah

$$\boldsymbol{E}[\boldsymbol{Z}] = \boldsymbol{E}[\boldsymbol{e}^{\boldsymbol{j\theta}}\boldsymbol{Z}] = \boldsymbol{e}^{\boldsymbol{j\theta}}\boldsymbol{E}[\boldsymbol{Z}] \quad \text{.....(3.2)}$$

Statistik dari CSCGRV ditentukan berdasarkan varian,

$$\boldsymbol{\sigma^2} = \boldsymbol{E}[\boldsymbol{z^2}] \quad \text{.....(3.3)}$$

Magnitude |Z| mempunyai kepadatan pobabilitas,

$$\boldsymbol{P}(\boldsymbol{z}) = \frac{\boldsymbol{z}}{\boldsymbol{\sigma^2}}\boldsymbol{e}^{\frac{-\boldsymbol{z^2}}{\boldsymbol{2a^2}}}, \boldsymbol{z} \geq \boldsymbol{0} \quad \text{.....(3.4)}$$

Persamaan 3.13 merupakan *Rayleigh random variable*, yang digunakan untuk daerah lingkangan yang terdapat beberapa *reflector.*

3.3.6 *Path Loss*

Fase dari setiap lintasa bisa berubah sebesar 2π radian saat delay berubah dengan $1/f_c$. Jika f_c jauh lebih besar, maka gerakan relatif kecil dalam ruang menyebabkan perubahan 2π radian. Jika jarak antara pemancar dan penerima lebih besar daripada lamda (panjang gemombang) frekuensi *carrier* (pembawa), maka diasumsikan jika fase terdistribusi merata (*uniformly distributed*) yaitu antara 0 dan 2π radian serta fase setiap lintasan adalah independen.

Saat beberapa lintasan diterapkan *central limit theorem* (CLT), setiap lintasan dapat dimodelkan dalam *circularly symmetric complex Gaussian random variable* (CSGRV) dengan variabelnya waktu. Persamaannya ialah

$$\boldsymbol{Z} = \boldsymbol{X} + \boldsymbol{j}Y \quad \text{.....(3.5)}$$

Dalam persamaan ini bagian *real* dan *imajiner*-nya adalah *zero independent and indentically distributed* (i.i.d) variable acak *Gaussian*.

Untuk persamaan CSCGRV (*Circulary Symetric Complex Gaussian Random* Variable) dari Z adalah

$$\boldsymbol{E[Z] = E[e^{j\theta}Z] = e^{j\theta}E[Z]} \quad \text{.....(3.6)}$$

Statistik dari CSCGRV ditentukan berdasarkan varian,

$$\boldsymbol{\sigma^2 = E[z^2]} \quad \text{.....(3.7)}$$

Magnitude |Z| mempunyai kepadatan pobabilitas,

$$\boldsymbol{P(z) = \frac{z}{\sigma^2} e^{\frac{-z^2}{2a^2}}, z \geq 0} \quad \text{.....(3.8)}$$

Persamaan 3.8 merupakan *Rayleigh random variable*, yang digunakan untuk daerah lingkangan yang terdapat beberapa *reflector*.

3.4 Penerima (*Receiver*)

Dari pemancar kemudian melalui kanal, *secondary user* (SU) terdiri dari dua kategori yaitu SU1 yang diasumsikan bisa menerima sinyal dengan baik dan SU2 yang diasumsikan tidak menerima sinyal dengan baik dikarenakan efek *shadowing* atau berada diluar RPI dari *primary user* (PU). Dari kondisi ini SU2 yang tidak dapat menerima sinyal dengan baik akan menyatakan tidak ada *spectrum* yang kosong dan SU1 menyatakan hadirnya *primary user* (PU). Maka dari itu, untuk meningkatkan hasil *spectrum sensing*, diperlukan SU2 untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya.

Salah satu carnya untuk mendapatkan informasi hadir atau tidak PU yaitu dengan distribusi informasi dari SU1, dimana hasil *sensing*-nya sesuai dengan keadaan sebenarnya. Sebelum proses *spectrum sensing* terdistribusi, adanya penggunaan metode *clustering* untuk menjadikan dalam 1 *cluster* dari beberapa *secondary user*. Di dalam *cluster* tersebut dilakukan *distributed spectrum sensing*.

Di sisi *receiver* dilakukan IFFT yang kemudian dilakukan equalisasi untuk mendaptakan kembali sinyal yaitu dengan demodulasi dengan menggunakan *hard decision decoding*. Setelah proses IFFT dan equalisasi, dilakukan deteksi sinyal.

3.5 *Energy Detector* (Deteksi Energi)

Energy detection adalah metode deteksi yang digunakan untuk melakukan *spectrum sensing* sehingga dapat diketahui band spektrum yang dipakai oleh *primary user* dalam keadaan kosong atau tidak. Dalam tugas akhir ini diasumsikan *primary user* dan *secondary user* memiliki satu antena *transmitter* dan satu antenna *receiver*, maka pendeteksian energy diturunkan dalam domain waktu dan juga domain frekuensi menggunakan FFT (Urkowitz 1967, lethomaki, et al. 2005).

Energy detector secara sederhana terdapat pada gambar 3.6 yang menggunakan *bandpass filter* berupa A/D *converter*, kemudian proses normalisasi dengan *square law devices* dan penjumlahan sinyal dengan sebuah *integrator*. Sinyal *x(n)* digunakan pada *bandpass filter* dan kemudian ke *square law devices*, lalu melalui sebuah *integrator*.

Output dari *detector* adalah,

$$\boldsymbol{ED} = \sum_{n=1}^{N} |\boldsymbol{x(n)}|^2 \quad \text{.....(3.9)}$$

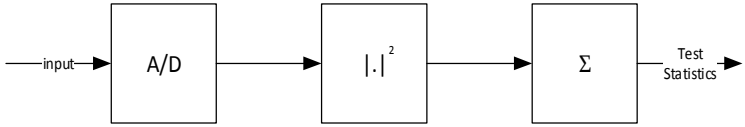
Dimana *x(n)* merupakan sinyal yang diterima dan *n* adalah symbol atau bit yang digunakan. *Output* dari *energy detector* digunakan lalu dibanding dengan *threshold (γ)* untuk diputuskan apakah *primary user* hadir atau tidak pada frekuensi band tersebut.

Threshold untuk *energy detector* dimana P_{fa} telah ditentukan,

$$\boldsymbol{\gamma} = \boldsymbol{\sigma_\eta^2}\left(\mathbf{1} + \frac{Q^{-1}(P_{fa})}{\sqrt{N}}\right) \quad \text{..... (3.10)}$$

Sedangkan P_m atau *probability of missed detection* adalah,

$$\boldsymbol{P_m} = \boldsymbol{Q}\left(\frac{\sqrt{N}}{\sigma_s^2+\sigma_\eta^2}\left(\boldsymbol{\sigma_s^2} + \boldsymbol{\sigma_\eta^2} - \boldsymbol{\gamma}\right)\right) \quad \text{..... (3.11)}$$



Gambar 3. 7 Blok Diagram untuk *Energy Detector*

Kinerja dari *energy detection* pada sistem radio kognitif diukur dengan beberapa metrik yaitu *probability of detection* (P_d), *probability of missed detection* (P_m) dan *probability of false alarm* (P_{fa}).

3.6 Perhitungan Jarak Setiap *Secondary User* (SU) Terhadap *Cluster Head* (CH)

Setelah SU dibangkitkan secara random maka didapatkan koordinat x dan y setiap *user*. Setelah itu akan dihitung jarak setiap SU terhadap *cluster head* (CH). Perhitungan setiap SU terhadap CH dilakukan pada persamaan berikut:

$$dd = \sqrt{((x_i - x_{ch}(j))^2 + ((y_i - y_{ch}(j))^2} \quad \text{.....(3.12)}$$

Dimana : x = koordinat sumbu x *secondary user*

y = koordinat sumbu y *secondary user*

x_{ch} = koordinat sumbu x *cluster head*

y_{ch} = koordinat sumbu y *cluster head*

Tabel 3.1 Jarak *Cluster Head* Terhadap *Secondary User*

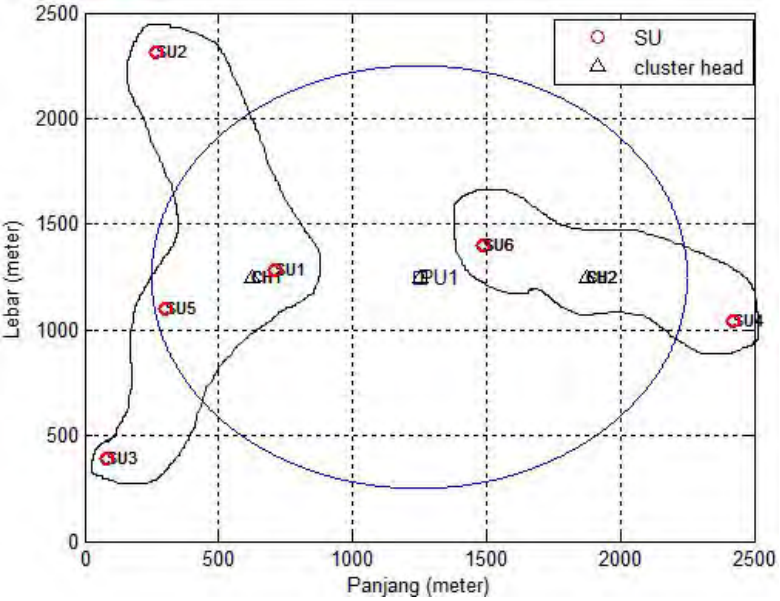
dd(km)	SU1	SU2	SU3	SU4	SU5	SU6
CH1	0.095	1.121	1.015	1.808	0.355	0.876
CH2	1.161	1.927	1.988	0.584	1.579	0.412

Dalam radio kognitif, *secondary user* memiliki jangkauan terbatas dalam melakukan *sensing*. Dari jarak antara *secondary user* dan *cluster head* maka dapat diketahui SU mana yang dekat dengan CH1 maupun CH2. Dari informasi ini bisa diketahui bagaimana proses *distance-based clustering.*

3.7 Distance-based Clustering

Dari informasi perhitungan jarak antar *cluster head* dan *secondary user* dapat dilakukan proses *clustering*, dimana yang terdekat terhadap CH1 atau CH2, maka akan ter-*cluster* terhadap *cluster head* tersebut. Hasil *clustering* berdasarkan jarak dapat dilihat pada gambar 3.8.

Dari proses tersebut didapat 2 cluster, dimana SU6 dan SU4 menjadi 1 cluster terhadap *cluster head 2*, sedangkan *cluster head 1*memiliki SU1, SU2, SU 3 dan SU5 menjadi 1 group (satu *cluster*).



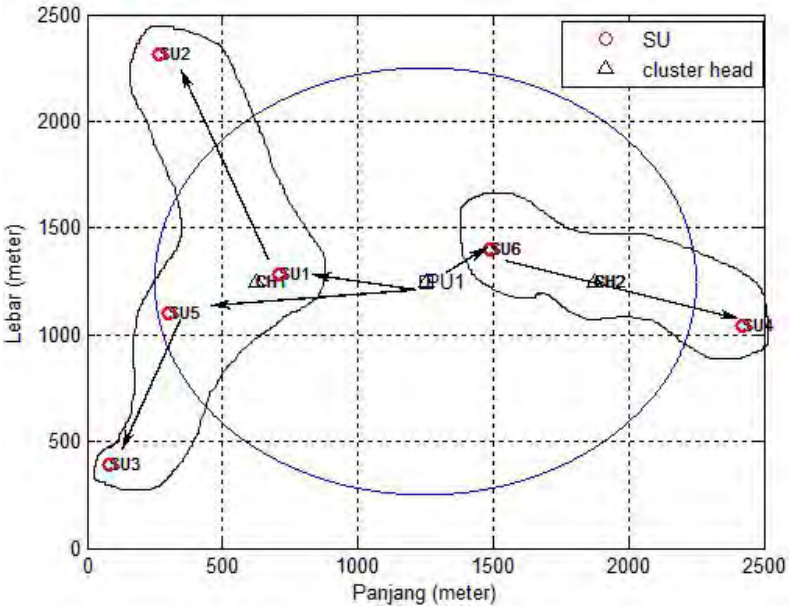
Gambar 3. 8 Proses *Distance-based Clustering*

3.8 *Distributed Spectrum Sensing*

Setelah proses *clustering* , terdapat 6 user yaitu *secondary user* yang akan melakukan sensing, *primary user* yang merupakan *user licensed*, *head cluster* sebagai penerima informasi dari *secondary user* yang berada dalam *cluster*-nya dan mengirimkan *"summary"* ke *fusion center* yang akan menghasilkan keputusan dari "summary" yang didapat.

Terdapat 6 *secondary user* yang melakukan *spectrum sensing* dengan keadaan lintasan dan jarak yang berbeda. Kemudian masing-masing *secondary user* memberikan laporan ke *fusion center*.

Secara khusus setiap SU hanya mengirim 1 bit keputusan, dimana '1' jika terdeteksi PU hadir dan '0' jika PU tidak hadir. Pada *decision fusion*, aturan yang digunakan yaitu "logika OR" dan "logika AND."



Gambar 3. 9 Proses *Distributed Spectrum Sensing*

Pada tugas akhir ini, SU tidak mendapat informasi dikarenakan diluar jangkuan RPI dari PU dan pengaruh dari *shadowing* ataupun *multipath* yang mengakibatkan sinyal diterima dengan baik. Dan diasumsikan pengiriman sinyal hanya terjadi sekali, maka skema *distributed spectrum sensing* pada SU yang menerima sinyal dengan baik akan berfungsi sebagai relai untuk *secondary user* lainnya. Terdapat dua fase dalam skema ini, sinyal PU yang diterima oleh SU1 dan SU1 ke SU2. Skema *distributed spectrum sensing* ini menggunakan *decode* dan *forward* (DF) *basic*. Berikut adalah dua fase yang digunakan,

$$X_{SU1} = R_0^{-\alpha} 10^{-\xi/10} H_{PU,CR1} s_{PU} + \eta_{SU1} \quad \text{.....(3.13)}$$

$$X_{SU2} = H_{PU,CR2} s_{PU} + \eta_{SU2} \quad \text{..... (3.14)}$$

Dari persamaan 3.13 dan persamaan 3.14 terlihat bahwa sinyal yang diterima SU2 seperti sinyal pada fase pertama tetapi dengan kondisi kanal yang tidak sama.

BAB IV
ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dilakukan analisis data serta pembahasan mengenai hasil pemodelan dan simulasi yang telah dilakukan pada bab 3 sebelumnya. Hasil simulasi dibagi menjadi pembahasan kinerja tanpa menggunakan metode *clustering* dan dengan menggunakan metode *clustering* pada sistem radio kognitif. Kedua skema ini akan dianalisa kerjanya dalam hal *probability of false alarm* (P_{fa}), *probability of detection* (P_d) dan keputusan akhir dari *decision fusion*.

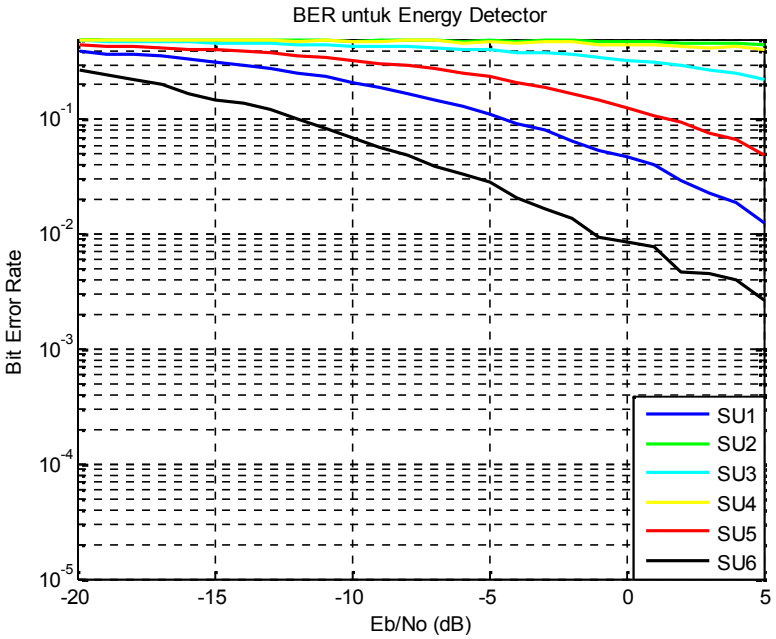
Sebelum dibahas secara detail untuk setiap metode yang digunakan, berikut adalah parameter yang digunakan dalam tugas akhir ini,

Tabel 4.1 Parameter yang digunakan

Parameter	**Keterangan**
Frekuensi	935-960 MHz
Bandwidth	200 kHZ/kanal
Jumlah kanal	125
Jumlah bit/kanal	148 x 8 TS = 1184 bit
Data Rate	270.833 kbps
Sensivitas penerima	-97 dBm
Gain	12 dB
Feeder loss	3 dB
Daya pancar	250 mW
Eb/N0 efektif	-20 sampai 5 dB
PU dan SU	1 dan 6 *user*
Tinggi pemancar	30 m
Tinggi penerima	1.5 m
Modulasi	BPSK

4.1 Analisis Hasil *Energy Detector* tanpa Metode *Clustering*

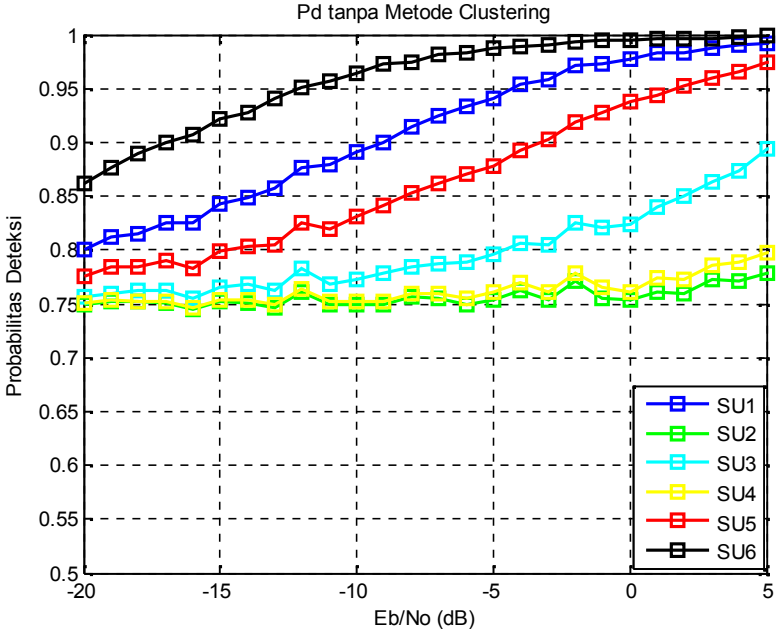
Pada gambar 4.1 menunjukkan nilai BER untuk SU1, SU2, SU3, SU4, SU5 dan SU6 dengan modulasi BPSK. *Secondary user* ke-6 merupakan dengan nilai BER terkecil dimana letaknya dalam RPI dan tidak mengalami shadowing. Nilai BER-nya sampai dengan 10^{-2}. SU2, SU3 dan SU4 memiliki nilai tidak sampai dengan BER 10^{-1}, dikarenakan SU2, SU3 dan SU4 berada diluar radius dari pancaran PU serta SU1 yang mengalami shadowing miliki nilai BER tidak sampai dengan 10. Tujuan dari pengamatan BER dari masing-masing *secondary user* (SU) adalah untuk memperkirakan nilai *probability of detection* (P_d).



Gambar 4. 1 BER vs Eb/N0 (dB)

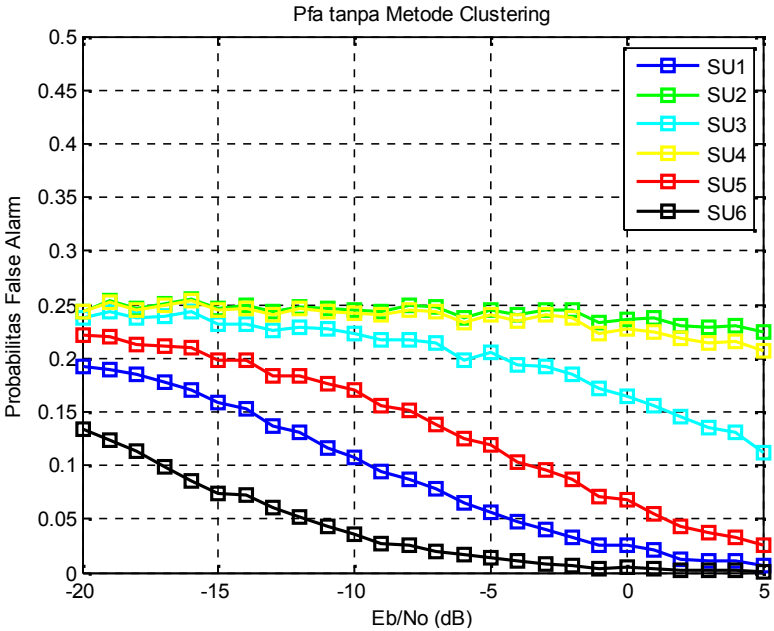
Hubungannya adalah jika nilai BER semakin kecil, maka nilai P_d yang semakin besar atau nilai BER semakin besar, maka nilai *probability of detection*-nya kecil. Dari gambar 4.1 ada tiga *secondary user* yang memiliki nilai BER yang lebih besar dari 10^{-1} yaitu SU1, SU5 dan SU6.

Pada gambar 4.2 dapat dibuktikan dengan nilai BER dari SU6 adalah 10^{-2} dengan P_d sama dengan 1 pada saat Eb/N0 5. P_d diatas *threshold* hanya dicapai oleh SU1 (Eb/N0 -8 dB), SU5 (Eb/N0 -3 dB) dan SU6, sedangkan lainnya memiliki deteksi dibawah *threshold* bila Eb/NO sampai 5 dB. P_d (*probability of detection*) yang ditampilkan pada gambar 4.2 tanpa diterapkan metode *clustering*.



Gambar 4. 2 Probabilitas Deteksi tanpa Metode *Clustering*

Parameter deteksi lain yang digunakan adalah dengan *probability of false alarm*, dimana *secondary user* menyatakan ketidakhadiran PU sedangkan sebenarnya PU hadir atau bisa disebut kesalahan deteksi, kondisi ini berlawanan dengan P_d. Semakin besar P_{fa} maka semakin kecil nilai dari *probability of detection*. Pada gambar 4.3 merupakan hasil simulasi dari *probability of false alarm* ($P_{fa)}$ dimana metode *clustering* belum diterapkan.

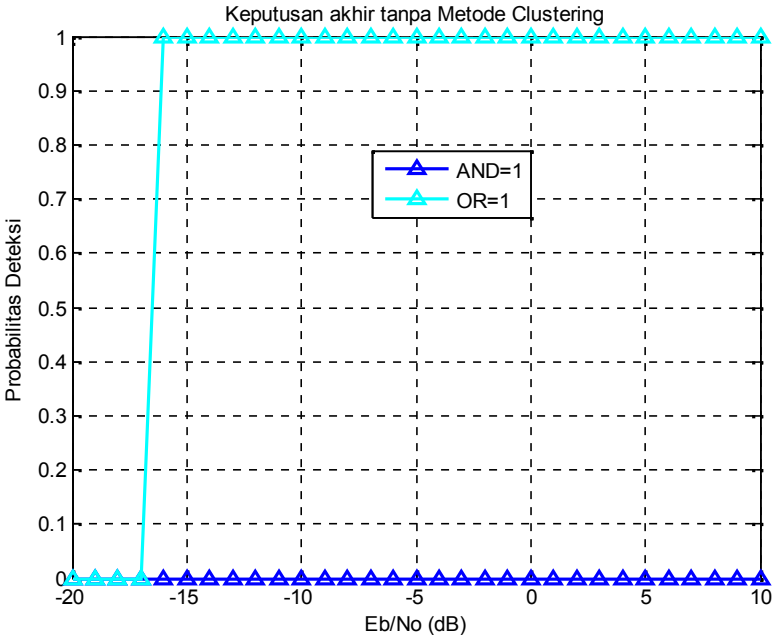


Gambar 4. 3 *Probability of False Alarm* tanpa Metode *Clustering*

Dari gambar sebelumnya yang mendeteksi keberadaan *primary user* (PU) adalah SU1, SU5 dan SU6, maka nilai P_{fa} untuk ketiga *secondary user* tersebut dibawah 0.1 saat Eb/N0 -18 dB untuk SU6, Eb/N0 -9 dB untuk SU1 dan Eb/N0 -4 dB untuk SU5 serta untuk *secondary user* lainnya, nilai P_{fa} tidak mencapai 0.1 (SU2, SU3, dan SU4).

Pada gambar berikut merupakan keputusan akhir tanpa menggunakan metode *clustering*, dimana dengan menggunakan logika AND (rumus 2.6 dan 2.7 diterapkan) keputusan akhir *sensing* dari 6 *secondary user* menyatakan ketidakhadiran dari *primary user*. Dengan menggunakan logika OR sesuai dengan persamaan 2.4 dan 2.5, keputusan akhir diperoleh *primary user* (PU) hadir saat Eb/N0 lebih besar dari -17 dB. Keputusan akhir seperti pada gambar diatas dilakukan setelah setiap *secondary user* (SU) mengirim hasil keputusan berupa bit "1" (probabilitas deteksi lebih besar sama dengan 0,9) dan bit "0" (bila probabilitas deteksi kurang dari 0,9). Keputusan akhir dari logika OR

sesuai dengan *probability of detection* dari SU6 yang mendeteksi keberadaan PU seperti pada gambar 4.2.



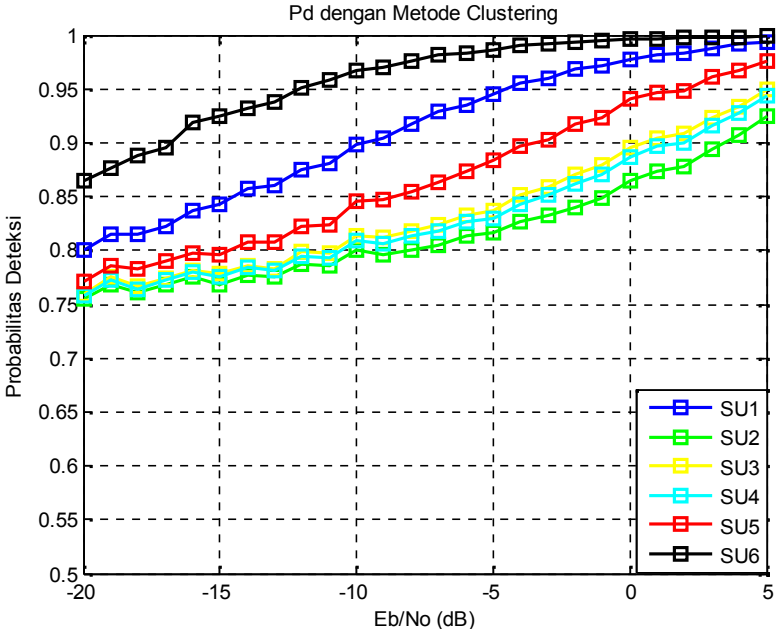
Gambar 4. 4 Keputusan Akhir tanpa Metode *Clustering*

4.2 Analisis Hasil *Energy Detector* dengan Metode *Clustering*

Metode *clustering* yang digunakan adalah *distance-based clustering*, dimana beberapa *secondary user* akan ter-*cluster* menjadi satu berdasarkan jarak tedekat dengan *head-cluster*. Selanjutnya SU yang mendeteksi keberadaan *primary user* akan melakukan *distributed spectrum sensing* dalam satu *cluster* tersebut. Dengan metode *clustering* ini, ada 3 *secondary user* yang berfungsi sebagai relay bagi masing-masing *cluster* yaitu SU1, SU5, dan SU6, dimana SU2, SU3, dan SU4 berada diluar *region of potential interference* dari PU. Dengan demikian data yang diterima SU2, SU3 dan SU4 setelah berasal dari SU1, SU5 dan SU6. Setelah data dikodekan ulang kemudian dikirimkan dan

diteruskan. Diasumsikan pada simulasi dengan metode *clustering* hanya sekali kirim saja.

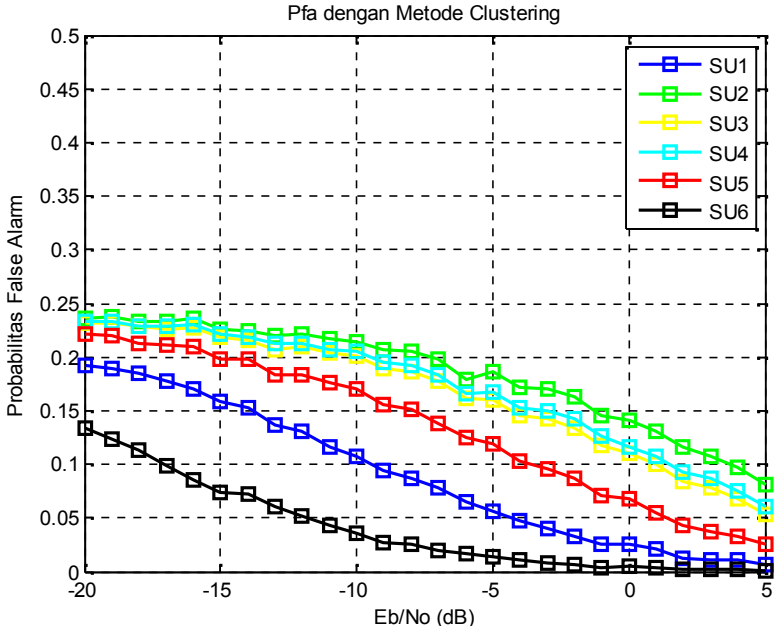
Selanjutnya pada gambar 4.5 memberi gambaran nilai dari *probabilitas of detection* setelah diterapkan metode *clustering*. Probabilitas deteksi SU1, SU5, dan SU6 sama seperti sebelum penerapan metode *clustering.* Adapun perbedaan (kenaikan) nilai dialami oleh *secondary user* adalah SU2, SU3 dan SU4. Dimana nilai *probability of detection* ($P_{d)}$ pada SU2, SU3 dan SU4 adalah 0.92 , 0.94 dan 0.95 saat Eb/N0 5 dB. Dari hasil ini menunjukkan bahwa SU2, SU3, dan SU4 sudah dapat mendeteksi keberadaan sinyal PU.



Gambar 4. 5 *Probability of Detection* dengan Metode *Clustering*

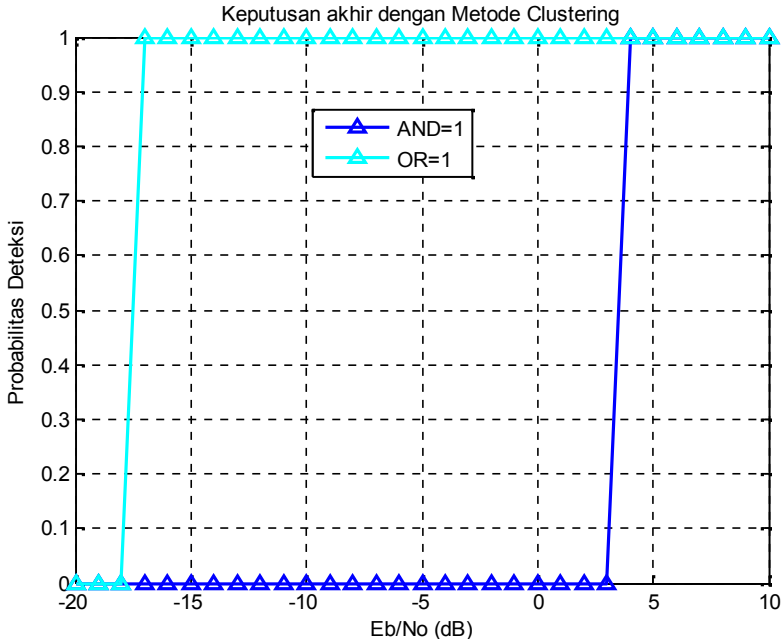
Pada hasil simulasi *probability of false alarm* (P_{fa}) dengan menggunakan metode *clustering* juga menunjukkan keadaan yang sama tetapi kebalikan dari P_d. Dimana nilai P_{fa} pada SU1, SU5 dan SU5 sama seperti sebelumnya (tanpa metode *clustering*), tetapi untuk SU2, SU3, dan SU4 nilai P_{fa} menurun sampai 0.1 saat Eb/N0 lebih besar dari 4 dB.

Dapat dikatakan jika metode *clustering* untuk semua *secondary user* P_{fa} –nya telah menurun dibawah 0.1 saat Eb/N0 5 dB.



Gambar 4. 6 *Probability of False Detection* dengan Metode *Clustering*

Dengan perubahan nilai dari SU2, SU3 dan SU4 baik *probability of detection* ataupun *probability of false alarm* tentu akan mengubah hasil keputusan akhir, baik dari keputusan yang menggunakan logika AND dan logika OR. Sebelum penerapan metode *clustering* deteksi PU dideteksi pada saat Eb/N0 lebih besar dari -17 dB dengan menggunakan aturan OR dan aturan AND tidak mendeteksi keberdaaan PU. Sedangkan dengan penerapan metode *clustering* keberadaan *primary user* (PU) pada saat Eb/N0 lebih besar sama dengan -13 dB (aturan OR) dan lebih besar sama dengan 4 dB (aturan AND).



Gambar 4. 7 Keputusan Akhir dengan Metode *Clustering*

Dengan demikian memperlihatkan jika penggunaan metode *clustering* dapat mengubah keputusan akhir yaitu dengan mendeteksi keberadaan PU (dengan logika OR ataupun logika AND). Jika sebelumnya tanpa penerapan metode *clustering*, keputusan akhir dengan logika OR saja yang mendeteksi *primary user*, karena permasalahnnya adalah tidak semua *secondary user* mendeteksi keberadaan PU, hanya SU1, SU5, dan SU6 yang mendeteksi. Dengan penerapan metode *clustering*, maka dengan logika AND dapat mendeteksi keberadaan PU karena semua *secondary user* sudah dapat mendeteksi keberadaan PU.

BAB V
PENUTUP

Dari perencanaan dan pengujian simulasi, dapat ditarik kesimpulan dan saran mengenai Tugas Akhir sebagai berikut :

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada pembahasan Bab IV, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Tanpa menggunakan metode *clustering* yang mendeteksi keberadaaan PU hanya 3 SU yaitu SU1, SU3, dan SU5.
2. Dengan penggunaan metode *clustering*, seluruh *secondary user* (SU) dapat mendeteksi *primary user*.
3. Tanpa penerapan metode *clustering*, keputusan akhir menggunakan logika OR saja yang mendeteksi keberadaan dari *primary user* (PU).
4. Dengan penerapan metode pengelompokan (*clustering*) dapat mempengaruhi keputusan akhir, khususnya pada AND *rule*, yaitu menyatakan keberadaan *primary user* (PU), sedangkan tanpa penerapan metode *clustering* dinyatakan ketidakhadiran PU.
5. Penerapan metode *clustering* dalam sistem radio kognitif dapat memperbaiki nilai dari *probability of detection*, menurunkan nilai dari *probability of false alarm* serta memperbaiki keputusan akhirnya.

5.2 Saran

Dalam penelitian selanjutnya, untuk membuktikan kinerja dari metode *clustering*, perlu dilakukan berbagai macam metode *clustering* lainnya, kemudian dilakukan perbandingan antar metode *clustering*. Dan juga jumlah dari *secondary user* lebih banyak serta bervariasi agar mengetahui efektifnya dari kinerja metode *clustering* itu sendiri.

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Skema Klasifikasi dari *Spectrum Allocation* dan *Sharing* 8
Table 3.1 Jarak *Cluster* Terhadap *Secondary User* 28
Tabel 4.1 Parameter yang Digunakan 33

Lampiran B

Listing program

```
%% luas area (p x l)
p=2500;
l=2500;
 %% jumlah node
node=6;
 %% generate data (random)
x=p*rand(1,node);
y=l*rand(1,node);
%% PU
rp=500;                  %diameter radius
xp=-rp:.001:rp;
yp1=sqrt(rp^2-xp.^2);
yp2=-sqrt(rp^2-xp.^2);
pux=p*0.50;
puy=l*0.50;
 %% head cluster
CH=2;                              %jumlah cluster
head
xCH=zeros(1,CH);
yCH=zeros(1,CH);
xCH(1)=0.25*l; yCH(1)=0.50*p;   %Cluster Head 1
xCH(2)=0.75*l; yCH(2)=0.50*p;   %Cluster Head 2
xCH(3)=0.50*l; yCH(3)=0.50*p;   %PU
% jarak node ke head cluster
d=sqrt(2*p^2)*ones(1,node);
 % clustering
figure('Name','Distance-based
Clustering','NumberTitle','off')
CHafil=zeros(1,node);
for i=1:node
    for j=1:CH
        dd=sqrt((x(i)-xCH(j))^2+(y(i)-yCH(j))^2);
        if dd<d(i)
              CHafil(i)=j;
              d(i)=dd;
        end
```

```
    end
end
for i=1:node
    for j=1:CH
        plot(x,y,'ko')

text(x(i),y(i),['SU',num2str(i)],'FontSize',6)
        grid on
        xlabel('Panjang (meter)');
        ylabel('Lebar (meter)');
        hold on
        plot (xCH,yCH, 'r^')

text(xCH(j),yCH(j),['CH',num2str(j)],'FontSize',
8)
    end
end
plot(x,y,'ko')
text(x(i),y(i),['SU',num2str(i)],'FontSize',6)
grid on
xlabel('Panjang (meter)');
ylabel('Lebar (meter)');
hold on
plot(pux,puy,'bs',xp+pux,yp1+puy,'b',xp+pux,yp2+
puy,'b')
text(pux,puy,['PU',num2str(1)],'FontSize',6)
plot (xCH,yCH, 'r^')
text(xCH(j),yCH(j),['SU',num2str(j)],'FontSize',
6)
axis([0 2000 0 2000])
legend('secondary user','cluster
head','location','b')

%% inisialisasi
N=1000; %jumlah bit dalam 1 timeslot GSM efektif
totTS=8;%jumlah time slot dalam 1 frame
PU=1;   %jumlah primary user
totBit=N*totTS*PU;
totNifft=1184;
```

```
dataRate=270.833e3;     %data rate
Ts=1/dataRate*totTS*PU; %durasi simbol atau bit
fc_kanal=200e3;         %bandwidth kanal
tc=1/fc_kanal;
SU=6;
ch=[1:SU];
frek=935;                %frekuensi downlink (MHz)
fc=(frek+0.2*ch)*1e6;
fc1=(fc(:,1));
fc2=(fc(:,2));
fc3=(fc(:,3));          %frekuensi carrier
fc4=(fc(:,4));
fc5=(fc(:,5));
fc6=(fc(:,6));
Bw=PU*fc_kanal; %lebar bandwidth downlink GSM900
Ts=1/Bw;                %40 ns
TB=PU*totTS*N;          %ukuran efektif bit
dalam 1 frame
Tb=TB*Ts;               %5.92 ms
Nr=1;
%% parameter pemancar GSM (PU)
Pt=8;   %daya pancar dalam miliwatt
Pt_dB=10*log10(Pt/1000); %dalam dB
Ga=12;                   %gain antena (dB)
LF=1;                    %loss feeder (dB)
EIRP=Pt_dB+Ga-LF; %daya pancar efektif (dBm)
EbN0_dB=[EIRP:25];%dalam dB
hPU=30;      %tinggi antena BTS atau PU (m)
hSU=1.5;     %tinggi antena pelanggan atau SU (m)
dis0=[0.537 1.447 1.449 1.189 0.958 0.28];%jarak
dis02=[1.447 1.449 1.189]; %SU2 SU3 SU4
shad=[4 8 0 8 0 8];    %shadowing effect
shad2=[8 0 8];
ple=[2.75 2.75 2.75 2.75 2.75 2.75]; %PLexponent
ple2=[2.75 2.75 2.75];

% path loss
a_hSU=3.2*(log10(11.75*hSU))^2-4.79;
%path loss daerah urban
```

```
for k=1:length(ch)
    for kk=1:length(dis0)

PLu(kk)=69.55+26.26*log10((frek+0.2*(k)))-
13.82*log10(hPU)-a_hSU+(44.9-
6.66*log10(hPU))*log10(dis0(:,(kk)));
    end
end
PLu1=ple(:,1);
PLu2=ple(:,2);
PLu3=ple(:,3);
PLu4=ple(:,4);
PLu5=ple(:,5);
PLu6=ple(:,6);
PLu22=ple2(:,1);
PLu33=ple2(:,2);
PLu44=ple2(:,3);
lambda1=3e8/fc1;
lambda2=3e8/fc2;
lambda3=3e8/fc3;
lambda4=3e8/fc4;
lambda5=3e8/fc5;
lambda6=3e8/fc6;
d01=4*hPU*hSU/lambda1;
d02=4*hPU*hSU/lambda2;
d03=4*hPU*hSU/lambda3;
d04=4*hPU*hSU/lambda4;
d05=4*hPU*hSU/lambda5;
d06=4*hPU*hSU/lambda6;
kp=2;                    %konstata propagasi

%RSL
RSL1=EIRP-PLu1-(dis0(:,1)*kp/d01);
RSL2=EIRP-PLu2-(dis0(:,2)*kp/d02);
RSL3=EIRP-PLu3-(dis0(:,3)*kp/d03);
RSL4=EIRP-PLu4-(dis0(:,4)*kp/d04);
RSL5=EIRP-PLu5-(dis0(:,5)*kp/d05);
RSL6=EIRP-PLu6-(dis0(:,6)*kp/d06);
%path loss dan shadowing
```

```
R1=dis0(:,1)^(-PLu1);
R2=dis0(:,2)^(-PLu2);
R3=dis0(:,3)^(-PLu3);
R4=dis0(:,4)^(-PLu4);
R5=dis0(:,5)^(-PLu5);
R6=dis0(:,6)^(-PLu6);
R22=dis02(:,1)^(-PLu22);
R33=dis02(:,2)^(-PLu33);
R44=dis02(:,3)^(-PLu44);
shadow1=10^(-shad(:,1)/10);
shadow2=10^(-shad(:,2)/10);
shadow3=10^(-shad(:,3)/10);
shadow4=10^(-shad(:,4)/10);
shadow5=10^(-shad(:,5)/10);
shadow6=10^(-shad(:,6)/10);
shadow22=10^(-shad2(:,1)/10);
shadow33=10^(-shad2(:,2)/10);
shadow44=10^(-shad2(:,3)/10);
%% tansmitter
in=rand(1,totBit)>0.5; %0,1 dg probabilitas 0.5
% in=zeros(1,totBit);
s=2*in-1;                    %modulasi BPSK
nRx=[1];
EbN0_dB=[-20:5];            %multiple Eb/N0
values
for bb=1:length(nRx)
    for aa=1:length(EbN0_dB)
    %AWGN, 0 dB variance

n=1/sqrt(2)*[randn(nRx(bb),totBit)+j*randn(nRx(b
b),totBit)];
    %kanal Rayleight

h=1/sqrt(2)*[randn(nRx(bb),totBit)+j*randn(nRx(b
b),totBit)];
    %Channel and noise addition
    sD=kron(ones(nRx(bb),1),s);
    y=h.*sD+10^(-EbN0_dB(aa)/20)*n;
    y1=R1*shadow1.*h.*sD+10^(-EbN0_dB(aa)/20)*n;
    y2=R2*shadow2.*h.*sD+10^(-EbN0_dB(aa)/20)*n;
```

```
    y3=R3*shadow3.*h.*sD+10^(-EbN0_dB(aa)/20)*n;
    y4=R4*shadow4.*h.*sD+10^(-EbN0_dB(aa)/20)*n;
    y5=R5*shadow5.*h.*sD+10^(-EbN0_dB(aa)/20)*n;
    y6=R6*shadow6.*h.*sD+10^(-EbN0_dB(aa)/20)*n;
    %maximal ratio combining
    MRC=sum(conj(h).*y,1);
    MRC1=sum(conj(h).*y1,1);
    MRC2=sum(conj(h).*y2,1);
    MRC3=sum(conj(h).*y3,1);
    MRC4=sum(conj(h).*y4,1);
    MRC5=sum(conj(h).*y5,1);
    MRC6=sum(conj(h).*y6,1);
    %SNR efektif

EbN0EffTheory(aa,bb)=nRx(bb);           %simulas
i

EbN0EffSim(aa,bb)=mean(abs(MRC));      %theory
    EbN0EffSim1(aa,bb)=mean(abs(MRC1)); %theory
    EbN0EffSim2(aa,bb)=mean(abs(MRC2)); %theory
    EbN0EffSim3(aa,bb)=mean(abs(MRC3)); %theory
    EbN0EffSim4(aa,bb)=mean(abs(MRC4));
    EbN0EffSim5(aa,bb)=mean(abs(MRC5));
    EbN0EffSim6(aa,bb)=mean(abs(MRC6));
    %equalization maximal ratio combining
    MRC=sum(conj(h).*y,1)./sum(h.*conj(h),1);
    Ed(bb,aa)=1/totBit*sum(norm(MRC).^2);
    MRC1=sum(conj(h).*y1,1)./sum(h.*conj(h),1);
    Ed1(bb,aa)=1/totBit*sum(norm(MRC1).^2);
    MRC2=sum(conj(h).*y2,1)./sum(h.*conj(h),1);
    Ed2(bb,aa)=1/totBit*sum(norm(MRC2).^2);
    MRC3=sum(conj(h).*y3,1)./sum(h.*conj(h),1);
    Ed3(bb,aa)=1/totBit*sum(norm(MRC3).^2);
    MRC4=sum(conj(h).*y4,1)./sum(h.*conj(h),1);
    Ed4(bb,aa)=1/totBit*sum(norm(MRC4).^2);
    MRC5=sum(conj(h).*y5,1)./sum(h.*conj(h),1);
    Ed5(bb,aa)=1/totBit*sum(norm(MRC5).^2);
    MRC6=sum(conj(h).*y6,1)./sum(h.*conj(h),1);
    Ed6(bb,aa)=1/totBit*sum(norm(MRC6).^2);
    %receiver - hard decicion decoding
```

```
    inHCD=real(MRC)>0;
    inHCD1=real(MRC1)>0;
    inHCD2=real(MRC2)>0;
    inHCD3=real(MRC3)>0;
    inHCD4=real(MRC4)>0;
    inHCD5=real(MRC5)>0;
    inHCD6=real(MRC6)>0;
    %counting the errors
    totError(bb,aa)=size(find([in-inHCD]),2);
    totError1(bb,aa)=size(find([in-inHCD1]),2);
    totError2(bb,aa)=size(find([in-inHCD2]),2);
    totError3(bb,aa)=size(find([in-inHCD3]),2);
    totError4(bb,aa)=size(find([in-inHCD4]),2);
    totError5(bb,aa)=size(find([in-inHCD5]),2);
    totError6(bb,aa)=size(find([in-inHCD6]),2);
    %counting energy
    NoiseEnergy=norm(n)^2;
        EnergiSinyal1=norm(MRC1)^2;
        SNR1(bb,aa)=EnergiSinyal1/NoiseEnergy;
        EnergiSinyal2=norm(MRC2)^2;
        SNR2(bb,aa)=EnergiSinyal2/NoiseEnergy;
        EnergiSinyal3=norm(MRC3)^2;
        SNR3(bb,aa)=EnergiSinyal3/NoiseEnergy;
        EnergiSinyal4=norm(MRC4)^2;
        SNR4(bb,aa)=EnergiSinyal4/NoiseEnergy;
        EnergiSinyal5=norm(MRC5)^2;
        SNR5(bb,aa)=EnergiSinyal5/NoiseEnergy;
        EnergiSinyal6=norm(MRC6)^2;
        SNR6(bb,aa)=EnergiSinyal6/NoiseEnergy;

%deteksaaon parameter (Pd, Pfa, Pm)
for iterasi=1:totBit
    if inHCD1(iterasi)==1 && in(iterasi)==1;
        deteksi1(iterasi)=1;
    else
        deteksi1(iterasi)=0;
    end
    if inHCD1(iterasi)==1 && in(iterasi)==0
        deteksi_false1(iterasi)=1;
```

```
else
    deteksi_false1(iterasi)=0;
end
if inHCD1(iterasi)==0 && in(iterasi)==1;
    deteksi_missed1(iterasi)=1;
else
    deteksi_missed1(iterasi)=0;
end
if inHCD2(iterasi)==1 && in(iterasi)==1;
    deteksi2(iterasi)=1;
else
    deteksi2(iterasi)=0;
end
if inHCD2(iterasi)==1 && in(iterasi)==0
    deteksi_false2(iterasi)=1;
else
    deteksi_false2(iterasi)=0;
end
if inHCD2(iterasi)==0 && in(iterasi)==1;
    deteksi_missed2(iterasi)=1;
else
    deteksi_missed2(iterasi)=0;
end
if inHCD3(iterasi)==1 && in(iterasi)==1;
    deteksi3(iterasi)=1;
else
    deteksi3(iterasi)=0;
end
if inHCD3(iterasi)==1 && in(iterasi)==0
    deteksi_false3(iterasi)=1;
else
    deteksi_false3(iterasi)=0;
end
if inHCD3(iterasi)==0 && in(iterasi)==1;
    deteksi_missed3(iterasi)=1;
else
    deteksi_missed3(iterasi)=0;
end
    if inHCD4(iterasi)==1 && in(iterasi)==1;
        deteksi4(iterasi)=1;
```

```
else
    deteksi4(iterasi)=0;
end
if inHCD4(iterasi)==1 && in(iterasi)==0
    deteksi_false4(iterasi)=1;
else
    deteksi_false4(iterasi)=0;
end
if inHCD4(iterasi)==0 && in(iterasi)==1;
    deteksi_missed4(iterasi)=1;
else
    deteksi_missed4(iterasi)=0;
end
if inHCD5(iterasi)==1 && in(iterasi)==1;
    deteksi5(iterasi)=1;
else
    deteksi5(iterasi)=0;
end
if inHCD5(iterasi)==1 && in(iterasi)==0
    deteksi_false5(iterasi)=1;
else
    deteksi_false5(iterasi)=0;
end
if inHCD5(iterasi)==0 && in(iterasi)==1;
    deteksi_missed5(iterasi)=1;
else
    deteksi_missed5(iterasi)=0;
end
if inHCD6(iterasi)==1 && in(iterasi)==1;
    deteksi6(iterasi)=1;
else
    deteksi6(iterasi)=0;
end
if inHCD6(iterasi)==1 && in(iterasi)==0
    deteksi_false6(iterasi)=1;
else
    deteksi_false6(iterasi)=0;
end
if inHCD6(iterasi)==0 && in(iterasi)==1;
    deteksi_missed6(iterasi)=1;
```

```
        else
            deteksi_missed6(iterasi)=0;
        end
end %end iterasi

%deteksi bit
deteksi1_ttl=sum(deteksi1);
    deteksi_false1_ttl=sum(deteksi_false1);
    deteksi_missed1_ttl=sum(deteksi_missed1);
deteksi2_ttl=sum(deteksi2);
    deteksi_false2_ttl=sum(deteksi_false2);
    deteksi_missed2_ttl=sum(deteksi_missed2);
deteksi3_ttl=sum(deteksi3);
    deteksi_false3_ttl=sum(deteksi_false3);
    deteksi_missed3_ttl=sum(deteksi_missed3);
        deteksi4_ttl=sum(deteksi4);

deteksi_false4_ttl=sum(deteksi_false4);

deteksi_missed4_ttl=sum(deteksi_missed4);
        deteksi5_ttl=sum(deteksi5);

deteksi_false5_ttl=sum(deteksi_false5);

deteksi_missed5_ttl=sum(deteksi_missed5);
        deteksi6_ttl=sum(deteksi6);

deteksi_false6_ttl=sum(deteksi_false6);

deteksi_missed6_ttl=sum(deteksi_missed6);
%pd, pfa dan Pm
Pd_ED1(bb,aa)=deteksi1_ttl/totBit;
    Pf_ED1(bb,aa)=deteksi_false1_ttl/totBit;
    Pm_ED1(bb,aa)=deteksi_missed1_ttl/totBit;
    PdED1=1-Pm_ED1;
Pd_ED2(bb,aa)=deteksi2_ttl/totBit;
    Pf_ED2(bb,aa)=deteksi_false2_ttl/totBit;
    Pm_ED2(bb,aa)=deteksi_missed2_ttl/totBit;
    PdED2=1-Pm_ED2;
```

```
Pd_ED3(bb,aa)=deteksi3_ttl/totBit;
    Pf_ED3(bb,aa)=deteksi_false3_ttl/totBit;
    Pm_ED3(bb,aa)=deteksi_missed3_ttl/totBit;
    PdED3=1-Pm_ED3;
        Pd_ED4(bb,aa)=deteksi4_ttl/totBit;

Pf_ED4(bb,aa)=deteksi_false4_ttl/totBit;

Pm_ED4(bb,aa)=deteksi_missed4_ttl/totBit;
           PdED4=1-Pm_ED4;
        Pd_ED5(bb,aa)=deteksi5_ttl/totBit;

Pf_ED5(bb,aa)=deteksi_false5_ttl/totBit;

Pm_ED5(bb,aa)=deteksi_missed5_ttl/totBit;
           PdED5=1-Pm_ED5;
        Pd_ED6(bb,aa)=deteksi6_ttl/totBit;

Pf_ED6(bb,aa)=deteksi_false6_ttl/totBit;

Pm_ED6(bb,aa)=deteksi_missed6_ttl/totBit;
           PdED6=1-Pm_ED6;
%% Energy deteksior, hasil langsung dikirim

%logika OR
Pd_OR_ED(bb,aa)=1-((1-PdED1(bb,aa))*(1-
PdED2(bb,aa))*(1-PdED3(bb,aa))*(1-
PdED4(bb,aa))*(1-PdED5(bb,aa))*(1-PdED6(bb,aa)));
Pfa_OR_ED(bb,aa)=1-((1-Pf_ED1(bb,aa))*(1-
Pf_ED2(bb,aa))*(1-Pf_ED3(bb,aa))*(1-
Pf_ED4(bb,aa))*(1-Pf_ED5(bb,aa))*(1-
Pf_ED6(bb,aa)));
%logika AND
Pd_AND_ED(bb,aa)=(PdED1(bb,aa))*(PdED2(bb,aa))*(
PdED3(bb,aa))*(PdED4(bb,aa))*(PdED5(bb,aa))*(PdE
D6(bb,aa));
Pfa_AND_ED(bb,aa)=(Pf_ED1(bb,aa))*(Pf_ED2(bb,aa)
)*(Pf_ED3(bb,aa))*(Pf_ED4(bb,aa))*(Pf_ED5(bb,aa)
)*(Pf_ED6(bb,aa));
```

```
%hasil keputusan yang dikirim dengan nilai
keputusan deteksi=1
if PdED1(bb,aa)>=0.9
    PdEDhs1(bb,aa)=1;
else PdEDhs1(bb,aa)=0;
end
if PdED2(bb,aa)>=0.9
    PdEDhs2(bb,aa)=1;
else PdEDhs2(bb,aa)=0;
end
if PdED3(bb,aa)>=0.9
    PdEDhs3(bb,aa)=1;
else PdEDhs3(bb,aa)=0;
end
    if PdED4(bb,aa)>=0.9
        PdEDhs4(bb,aa)=1;
    else PdEDhs4(bb,aa)=0;
    end
    if PdED5(bb,aa)>=0.9
        PdEDhs5(bb,aa)=1;
    else PdEDhs5(bb,aa)=0;
    end
    if PdED6(bb,aa)>=0.9
        PdEDhs6(bb,aa)=1;
    else PdEDhs6(bb,aa)=0;
    end
%logika OR
Pd_ORhs_ED(bb,aa)=1-((1-PdEDhs1(bb,aa))*(1-
PdEDhs2(bb,aa))*(1-PdEDhs3(bb,aa))*(1-
PdEDhs4(bb,aa))*(1-PdEDhs5(bb,aa))*(1-
PdEDhs6(bb,aa)));
Pfa_ORhs_ED(bb,aa)=1-((1-Pf_ED1(bb,aa))*(1-
Pf_ED2(bb,aa))*(1-Pf_ED3(bb,aa))*(1-
Pf_ED4(bb,aa))*(1-Pf_ED5(bb,aa))*(1-
Pf_ED6(bb,aa)));
%logika AND
Pd_ANDhs_ED(bb,aa)=(PdEDhs1(bb,aa))*(PdEDhs2(bb,
aa))*(PdEDhs3(bb,aa))*(PdEDhs4(bb,aa))*(PdEDhs5(
bb,aa))*(PdEDhs6(bb,aa));
```

```
Pfa_ANDhs_ED(bb,aa)=(Pf_ED1(bb,aa))*(Pf_ED2(bb,a
a))*(Pf_ED3(bb,aa))*(Pf_ED4(bb,aa))*(Pf_ED5(bb,a
a))*(Pf_ED6(bb,aa));

%% skema distributif yang diusulkan (DF basic)
y22=R22*shadow22.*h.*sD+10^(-EbN0_dB(aa)/20)*n;
y33=R33*shadow33.*h.*sD+10^(-EbN0_dB(aa)/20)*n;
y44=R44*shadow44.*h.*sD+10^(-EbN0_dB(aa)/20)*n;
%MRC
MRC22=sum(conj(h).*y22,1);
MRC33=sum(conj(h).*y33,1);
MRC44=sum(conj(h).*y44,1);
%SNR efektif
EbN0EffSim22(aa,bb)=mean(abs(MRC22)); %theory
EbN0EffSim33(aa,bb)=mean(abs(MRC33)); %theory
EbN0EffSim44(aa,bb)=mean(abs(MRC44)); %theory
%equalization MRC
MRC22=sum(conj(h).*y22,1)./sum(h.*conj(h),1);
Ed22(bb,aa)=1/totBit*sum(norm(MRC22).^2);
MRC33=sum(conj(h).*y33,1)./sum(h.*conj(h),1);
Ed33(bb,aa)=1/totBit*sum(norm(MRC33).^2);
MRC44=sum(conj(h).*y44,1)./sum(h.*conj(h),1);
Ed44(bb,aa)=1/totBit*sum(norm(MRC44).^2);
%receiver-hard decision decoding
inHCD22=real(MRC22)>0;
inHCD33=real(MRC33)>0;
inHCD44=real(MRC44)>0;
%counting error
totErroR22(bb,aa)=size(find([in-inHCD22]),2);
totErroR33(bb,aa)=size(find([in-inHCD33]),2);
totErroR44(bb,aa)=size(find([in-inHCD44]),2);
%deteksaaon parameter
for iterasi2=1:totBit
    if inHCD22(iterasi2)==1 && in(iterasi2)==1;
        deteksi22(iterasi2)=1;
    else
        deteksi22(iterasi2)=0;
    end
    if inHCD22(iterasi2)==1 && in(iterasi2)==0
```

```
        deteksi_false22(iterasi2)=1;
    else
        deteksi_false22(iterasi2)=0;
    end
    if inHCD22(iterasi2)==0 && in(iterasi2)==1;
        deteksi_missEd22(iterasi2)=1;
    else
        deteksi_missEd22(iterasi2)=0;
    end
    if inHCD33(iterasi2)==1 && in(iterasi2)==1;
        deteksi33(iterasi2)=1;
    else
        deteksi33(iterasi2)=0;
    end
    if inHCD33(iterasi2)==1 && in(iterasi2)==0
        deteksi_false33(iterasi2)=1;
    else
        deteksi_false33(iterasi2)=0;
    end
    if inHCD33(iterasi2)==0 && in(iterasi2)==1;
        deteksi_missEd33(iterasi2)=1;
    else
        deteksi_missEd33(iterasi2)=0;
    end
        if inHCD44(iterasi2)==1 &&
in(iterasi2)==1;
        deteksi44(iterasi2)=1;
    else
        deteksi44(iterasi2)=0;
    end
    if inHCD44(iterasi2)==1 && in(iterasi2)==0
        deteksi_false44(iterasi2)=1;
    else
        deteksi_false44(iterasi2)=0;
    end
    if inHCD44(iterasi2)==0 && in(iterasi2)==1;
        deteksi_missEd44(iterasi2)=1;
    else
        deteksi_missEd44(iterasi2)=0;
    end
```

```
end %end iterasi
%deteksi bit
deteksi22_ttl=sum(deteksi22);
    deteksi_false22_ttl=sum(deteksi_false22);
    deteksi_missEd22_ttl=sum(deteksi_missEd22);
deteksi33_ttl=sum(deteksi33);
    deteksi_false33_ttl=sum(deteksi_false33);
    deteksi_missEd33_ttl=sum(deteksi_missEd33);
deteksi44_ttl=sum(deteksi44);
    deteksi_false44_ttl=sum(deteksi_false44);
    deteksi_missEd44_ttl=sum(deteksi_missEd44);
%pd, pfa dan Pm analyze
Pd_Ed22(bb,aa)=deteksi22_ttl/totBit;
Pf_Ed22(bb,aa)=deteksi_false22_ttl/totBit;
Pm_Ed22(bb,aa)=deteksi_missEd22_ttl/totBit;
PdEd22=1-Pm_Ed22;
Pd_Ed33(bb,aa)=deteksi33_ttl/totBit;
Pf_Ed33(bb,aa)=deteksi_false33_ttl/totBit;
Pm_Ed33(bb,aa)=deteksi_missEd33_ttl/totBit;
PdEd33=1-Pm_Ed33;
Pd_Ed44(bb,aa)=deteksi44_ttl/totBit;
Pf_Ed44(bb,aa)=deteksi_false44_ttl/totBit;
Pm_Ed44(bb,aa)=deteksi_missEd44_ttl/totBit;
PdEd44=1-Pm_Ed44;
%% hasil langsung dikirim

%logika OR
Pd_OR_Ed22(bb,aa)=1-((1-PdEd22(bb,aa))*(1-
PdEd33(bb,aa))*(1-PdEd44(bb,aa)));
Pfa_OR_Ed33(bb,aa)=1-((1-Pf_Ed22(bb,aa))*(1-
Pf_Ed33(bb,aa))*(1-Pf_Ed44(bb,aa)));
%logika AND
Pd_AND_Ed22(bb,aa)=(PdEd22(bb,aa))*(PdEd33(bb,aa
))*(PdEd44(bb,aa));
Pfa_AND_Ed33(bb,aa)=(Pf_Ed22(bb,aa))*(Pf_Ed33(bb
,aa))*(Pf_Ed44(bb,aa));
%hasil keputusan yang dikirim dengan nilai
keputusan deteksi=1
if PdEd22(bb,aa)>=0.9
```

```
    PdEDhs22(bb,aa)=1;
else PdEDhs22(bb,aa)=0;
end
if PdEd33(bb,aa)>=0.9
    PdEDhs33(bb,aa)=1;
else PdEDhs33(bb,aa)=0;
end
if PdEd44(bb,aa)>=0.9
    PdEDhs44(bb,aa)=1;
else PdEDhs44(bb,aa)=0;
end
%% keputusan akhir
%logika OR
Pd_ORhs_EdClus(bb,aa)=1-((1-PdEDhs1(bb,aa))*(1-
PdEDhs5(bb,aa))*(1-PdEDhs6(bb,aa))*(1-
PdEDhs22(bb,aa))*(1-PdEDhs33(bb,aa))*(1-
PdEDhs44(bb,aa)));
Pfa_ORhs_EdClus(bb,aa)=1-((1-Pf_ED1(bb,aa))*(1-
Pf_ED5(bb,aa))*(1-Pf_ED6(bb,aa))*(1-
Pf_Ed22(bb,aa))*(1-Pf_Ed33(bb,aa))*(1-
Pf_Ed44(bb,aa)));
%logika AND
Pd_ANDhs_EdClus(bb,aa)=(PdEDhs1(bb,aa))*(PdEDhs5
(bb,aa))*(PdEDhs6(bb,aa))*(PdEDhs22(bb,aa))*(PdE
Dhs33(bb,aa))*(PdEDhs44(bb,aa));
Pfa_AND_EdClus(bb,aa)=(Pf_ED1(bb,aa))*(Pf_ED5(bb
,aa))*(Pf_ED6(bb,aa))*(Pf_Ed22(bb,aa))*(Pf_Ed33(
bb,aa))*(Pf_Ed44(bb,aa));
    end %end aa
end %en bb

BERsim=totError/totBit; %simulasi BER
BERsimED1=totError1/totBit;
BERsimED2=totError2/totBit;
BERsimED3=totError3/totBit;
BERsimED4=totError4/totBit;
BERsimED5=totError5/totBit;
BERsimED6=totError6/totBit;
EbN0Lin=10.^(EbN0_dB/10);
```

```
theoryBer_nRx1=0.5.*(1-1*(1+1./EbN0Lin).^(-0.5));
p=1/2-1/2*(1+1./EbN0Lin).^(-1/2);
theoryBer_nRx2=p.^2.*(1+2*(1-p));
theoryBer_nRx3=p.^3.*(1+3*(1-p)+6*(1-p).^2);
theoryBer_nRx4=p.^4.*(1+4*(1-p)+10*(1-
p).^2+20*(1-p).^3);
theoryBer_nRx5=p.^5.*(1+5*(1-p)+15*(1-
p).^2+35*(1-p).^3+70*(1-p).^4);

%% plotting
figure(1)   %plot BER simulasi
semilogy(EbN0_dB,BERsimED1(1,:),'b-
','linewidth',2);
hold on
semilogy(EbN0_dB,BERsimED2(1,:),'g-
','linewidth',2);
semilogy(EbN0_dB,BERsimED3(1,:),'c-
','linewidth',2);
semilogy(EbN0_dB,BERsimED4(1,:),'y-
','linewidth',2);
semilogy(EbN0_dB,BERsimED5(1,:),'r-
','linewidth',2);
semilogy(EbN0_dB,BERsimED6(1,:),'k-
','linewidth',2);
axis([-20 5 10^-5 0.5])
grid on
legend('SU1','SU2','SU3','SU4','SU5','SU6');
xlabel('Eb/No (dB)');
ylabel('Bit Error Rate');
title('BER untuk Energy deteksior');

figure(2) %Pd tanpa metode clustering
plot(EbN0_dB,PdED1(1,:),'b-s','linewidth',2);
hold on
plot(EbN0_dB,PdED2(1,:),'g-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,PdED3(1,:),'c-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,PdED4(1,:),'y-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,PdED5(1,:),'r-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,PdED6(1,:),'k-s','linewidth',2);
```

```
axis([-20 5 0.5 1])
grid on
legend('SU1','SU2','SU3','SU4','SU5','SU6');
xlabel('Eb/No (dB)');
ylabel('Probabilitas Deteksi');
title('Pd tanpa Metode Clustering');

figure(3) %Pfa tanpa metode clustering
plot(EbN0_dB,Pf_ED1(1,:),'b-s','linewidth',2);
hold on
plot(EbN0_dB,Pf_ED2(1,:),'g-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,Pf_ED3(1,:),'c-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,Pf_ED4(1,:),'y-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,Pf_ED5(1,:),'r-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,Pf_ED6(1,:),'k-s','linewidth',2);
axis([-20 5 0 0.5])
grid on
legend('SU1','SU2','SU3','SU4','SU5','SU6');
xlabel('Eb/No (dB)');
ylabel('Probabilitas False Alarm');
title('Pfa tanpa Metode Clustering');

figure(4)
plot(EbN0_dB,Pd_ANDhs_ED(1,:),'b-
^','linewidth',2);
hold on
plot(EbN0_dB,Pd_ORhs_ED(1,:),'c-
^','linewidth',2);
axis([-20 5 0 1])
grid on
legend('AND=1','OR=1');
xlabel('Eb/No (dB)');
ylabel('Probabilitas Deteksi');
title('Keputusan akhir tanpa Metode Clustering');

figure(5) %Pd dengan metode clustering
plot(EbN0_dB,PdED1(1,:),'b-s','linewidth',2);
hold on
plot(EbN0_dB,PdEd22(1,:),'g-s','linewidth',2);
```

```
plot(EbN0_dB,PdEd33(1,:),'y-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,PdEd44(1,:),'c-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,PdED5(1,:),'r-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,PdED6(1,:),'k-s','linewidth',2);
axis([-20 5 0.5 1])
grid on
legend('SU1','SU2','SU3','SU4','SU5','SU6');
xlabel('Eb/No (dB)');
ylabel('Probabilitas Deteksi');
title('Pd dengan Metode Clustering');

figure(6) %Pfa dengan skema clustering
plot(EbN0_dB,Pf_ED1(1,:),'b-s','linewidth',2);
hold on
plot(EbN0_dB,Pf_Ed22(1,:),'g-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,Pf_Ed33(1,:),'y-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,Pf_Ed44(1,:),'c-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,Pf_ED5(1,:),'r-s','linewidth',2);
plot(EbN0_dB,Pf_ED6(1,:),'k-s','linewidth',2);
axis([-20 5 0 0.5])
grid on
legend('SU1','SU2','SU3','SU4','SU5','SU6');
xlabel('Eb/No (dB)');
ylabel('Probabilitas False Alarm');
title('Pfa dengan Metode Clustering');

figure(7)
plot(EbN0_dB,Pd_ANDhs_EdClus(1,:),'b-
^','linewidth',2);
hold on
plot(EbN0_dB,Pd_ORhs_EdClus(1,:),'c-
^','linewidth',2);
axis([-20 5 0 1])
grid on
legend('AND=1','OR=1');
xlabel('Eb/No (dB)');
ylabel('Probabilitas Deteksi');
title('Keputusan akhir dengan Metode
Clustering');
```

DAFTAR PUSTAKA

[1] J. Mitola III and G. Q. Maguire Jr. , "Cognitive radio: Making software radios more personal," IEEE Pers. Commun., vol. 6, pp. 13-18, Aug. 1999.

[2] S. Haykin,"Cognitive radio: Brain-empowered wireless communiccation," IEEE J. Sel. Areas Commun., pp. 201-220, Feb. 2005.

[3] W. Krenik and A. Batra, "Cognitive radio techniques for wide area networks," in *Proc. Design Automation Conf.*, Anaheim, CA, 2005, pp. 409-412.

[4] D. Cabric, A. Tkachencko, and R.W. Broderres, "Experimental study of spectrum sensing based on energry detection and network cooperation," in *Proc. ACM TAPAS*, Boston, MA, 2006.

[5] C. Sun, W. Zhang, K. B. Lataief, "Cluster-based cooperative spectrum sensing in cognitive radio systems," in Proc, IEEE Intl, Conf. Commun., Glasgow, Scotland, 2007, pp, 2511-2515

[6] A. Ghasemi and E. S. Sousa, "Opportunistic spectrum access in fading channels through collaborative sensing," *J. Commun.*, vol. 2, pp. 71-82, Mar. 2007.

[7] M. Gandetto and C. Regazzoni, "Spectrum sensing: A distributed approach for cognitive radio terminals," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 25, pp. 546-557, April 2007.

[8] C. R. C. M. da Silva, W. C. Headley, J. D. Reed, and Y. Zhao, "The application of distributed spectrum sensing and available resources maps to cognitive radio systems," in *Proc. Information Theory and Appl. Workshop*, La Jolla, CA, 2008, pp. 53-57.

[9] W. C. Headley, J. D. Reed, and C. R. C. M. da Silva, "Distributed cyclic spectrum feature-based modulation classification," in *Proc. IEEE Wireless Comm. and Netw. Conf.*, Las Vegas, NV, 2008, pp. 1200-1204.

[10] A. Gersho and R. M. Gray, *Vector Quantization and Signal Compresion*. Springer, 1991.

[11] R. O. Duda, P. E. Hart, and D. G. Stork, *Pattern Clasification.* Wiley-Interscience, 2000.

[12] O. Younis, M. Krunz, and S. Ramasubramanian, "Node Clustering in wireless sensor networks: Recent development and deployment challenges," *IEEE Network*, vol. 20, pp. 20-25, May/June 2006.

RIWAYAT HIDUP

Ahmad Vikki Yudiono dilahirkan di Malang, Jawa Timur, pada tanggal 10 Desember 1989, merupakan putra ketiga dari pasangan Bapak Nimbar dan Ibu Nikmah. Pada tahun 2003, penulis menamatkan sekolahnya di SDN Kidul Dalem I Malang dan melanjutkan ke SMPN 5 Malang lalu melanjutkan ke SMK Negeri 8 Malang. Setelah tamat SMK pada tahun 2008, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan D3 Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang program studi Teknik Telekomunikasi dan lulus pada tahun 2011, kemudian melanjutkan ke jenjang sarjana di Jurusan Teknik Elektro ITS program studi Telekomunikasi Multimedia. Pada tahun 2014 penulis mengikuti seminar dan ujian Tugas Akhir di Bidang Studi Telekomunikasi Multimedia Jurusan Teknik Elektro FTI – ITS Surabaya sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana.