

II. TINJAUAN PUSTAKA

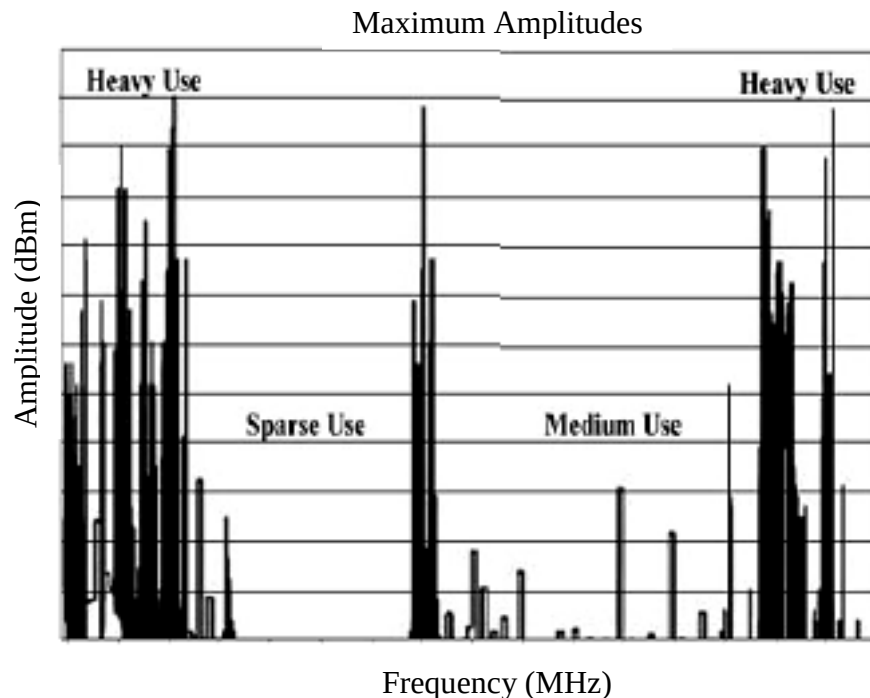
2.1 Kajian Pustaka

Penelitian ini akan membahas efisiensi spektrum dan energi dengan metode *energy detection* yang bertujuan untuk mengefisiensikan penggunaan spektrum dengan mencari *spectrum holes*. *Spectrum holes* dapat dicari dengan menggunakan *spectrum sensing* dengan metode *energy detection*. Metode ini akan menangkap sinyal dari PU, kemudian keluarannya akan dibandingkan dengan daya *threshold*

yang akan menunjukkan kelayakan spektrum. Proses perhitungan akan melibatkan SNR, SINR dan RSSI. Pendeteksian spektrum dengan *energy detection* tidak memerlukan informasi mengenai sinyal yang dideteksi, melainkan hanya memerlukan daya *transmitter* dan *receiver* [4]. Besar spektrum dan *bandwidth* berbanding lurus dengan daya yang dikonsumsi. Dengan kata lain semakin besar nilai spektrum atau *bandwidth* yang diakses maka energi yang dibutuhkan pun akan semakin meningkat yang telah dibuktikan sesuai dengan persamaan 2.1 [5].

2.2 Definisi Radio Kognitif

Spektrum frekuensi adalah sumber daya alam yang terbatas yang digunakan oleh *transmitter* dan *receiver* untuk proses komunikasi. Badan regulator telekomunikasi adalah institusi pemerintahan yang bertugas untuk mengalokasikan spektrum yang berlisensi. Tetapi penggunaan spektrum frekuensi masih tidak efisien dan masih menghasilkan *spectrum holes*. Meskipun spektrum yang berlisensi telah diatur oleh badan regulasi [7]. Pada Gambar 2.1 mengilustrasikan penggunaan spektrum.



Gambar 2.1 Penggunaan Spektrum [7]

Gambar 2.1 diatas menunjukkan penggunaan spektrum belum efisien. Penyebab tidak efisiennya penggunaan spektrum antara lain:

1. Penggunaan spektrum frekuensi pada siang hari sangat tinggi dibandingkan dengan penggunaan spektrum pada malam hari.

2. Adanya rugi-rugi (*guard bands*) dalam spektrum frekuensi yang berfungsi untuk mencegah gangguan antara saluran yang berdekatan.

Berdasarkan penelitian FCC (*Federal Communications Commission*) spektrum berlisensi (*primary users-PU*) memanfaatkan sekitar 15%-85% frekuensi *band* dibawah 3 GHz yang mengindikasikan adanya penggunaan yang signifikan terhadap spektrum [4].

Jika *spectrum holes* dapat dideteksi dan digunakan, maka masalah spektrum dapat diatasi untuk sementara waktu. Perlombaan untuk menduduki *spectrum holes* ini telah menghasilkan teknologi baru, yaitu radio kognitif.

Radio kognitif merupakan SDR (*Software Defined Radio*) yang mampu merasakan lingkungannya dan bereaksi atas respon sinyal disekitarnya. Radio kognitif adalah sebuah unit otonom dalam lingkungan komunikasi yang mempunyai kemampuan bertukar informasi dan mampu mengakses radio kognitif lainnya yang masih dalam satu jaringan [8].

Keuntungan radio kognitif yang saling bertukar informasi adalah masalah-masalah seperti *hidden terminal*, *multipath fading*, dan pembayangan (*shadowing*) pada jaringan sistem radio kognitif dapat teratasi.

Radio kognitif memungkinkan pengguna yang tidak terdaftar (*secondary users-SU*) pada lisensi spektrum dapat menggunakan lisensi spektrum *primary users* yang sedang tidak dipakai [2], [9].

Radio kognitif secara dinamis dan otomatis dapat menyesuaikan parameter operasi radio untuk memodifikasi sistem operasi. Berdasarkan definisi diatas radio

kognitif memiliki dua karakteristik, yaitu kemampuan untuk mengenali (*cognition capability*) dan kemampuan mengkonfigurasi ulang (*reconfigurability*).

Cognitive capability adalah kemampuan yang memungkinkan radio kognitif untuk melakukan *sensing* pada lingkungan untuk memperoleh informasi dan memutuskan untuk mengambil spektrum yang terbaik. Kemampuan ini tidak sekedar memonitoring kekuatan dari beberapa frekuensi tapi juga untuk menangkap *spectrum holes* dan mencegah terjadinya interferensi. Melalui kemampuan ini, jumlah spektrum yang tidak dipakai pada saat dan lokasi tertentu dapat diketahui [10].

Cognitive capability menentukan spektrum yang akan digunakan, sedangkan *reconfigurability* memampukan radio untuk berkonfigurasi ulang berdasarkan kondisi lingkungan. Tujuan utama dari radio kognitif adalah untuk memperoleh spektrum terbaik yang tersedia melalui *cognitive capability* dan *reconfigurability*. Perbedaan radio kognitif dengan SDR dan radio tradisional dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan Radio Tradisional, SDR dan CR

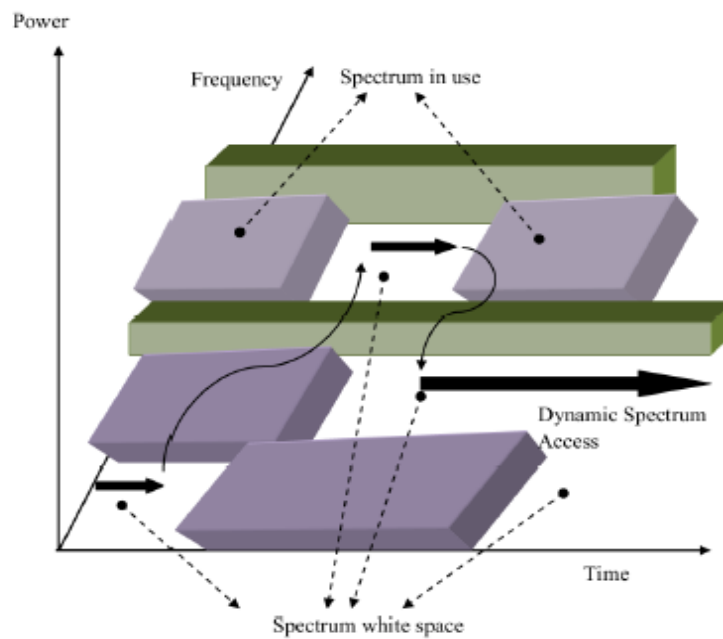
No	Radio Tradisional	<i>Software Defined Radio</i>	<i>Cognitive Radio</i>
1	Desain RF tradisional	<i>Conventional Radio + Software Architecture</i>	SDR + Kesadaran
2	Desain <i>baseband</i> tradisional	<i>Reconfigurability</i>	<i>Reconfigurability + Kepedulian</i>

Spectrum holes adalah spektrum kosong yang berlisensi yang dapat dimanfaatkan dengan syarat PU sedang tidak melakukan proses komunikasi sehingga SU dapat memanfaatkan spektrum kosong tersebut tanpa harus terjadi interferensi. Pada umumnya *spectrum holes* dibedakan menjadi dua, yaitu *temporal spectrum holes*

dan *spatial spectrum holes*. Sebuah *temporal spectrum hole* adalah spektrum kosong yang sedang tidak digunakan oleh PU selama proses *sensing*, sehingga spektrum tersebut bisa digunakan oleh SU dalam waktu tertentu. Jenis *spectrum sensing* seperti ini tidak memerlukan pemrosesan sinyal yang kompleks. Sebuah *spatial spectrum hole* adalah spektrum kosong yang sedang tidak dihuni oleh PU dalam beberapa area, oleh karena itu dapat dipergunakan meskipun SU berasal dari luar area tersebut. Jenis *spectrum sensing* ini memerlukan sinyal yang kompleks untuk pemrosesan algoritma. Berdasarkan daya spektrum yang masuk, *spectrum holes* dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. *Black spaces*: didominasi oleh daya yang besar sehingga memungkinkan terjadinya lokal interferensi pada waktu yang bersamaan.
2. *Grey spaces*: sebagian didominasi oleh gangguan daya rendah
3. *White spaces*: adalah spektrum yang bebas dari interferensi kecuali dari *White Gaussian Noise*.

Dari ketiga jenis spektrum diatas, *white spaces* dan *grey spaces* dapat dipergunakan oleh SU jika proses *sensing* yang dilakukan sudah akurat, sedangkan untuk *black spaces* tidak dapat dipergunakan karena pemakaian spektrum ini akan mengakibatkan interferensi dengan PU. Pada Gambar 2.2 dapat dilihat spektrum yang sedang dipakai dan spektrum yang kosong.



Gambar 2.2 *Spectrum White Space* [7]

2.3 *Spectrum Sensing*

Spectrum sensing adalah proses pendeteksian spektrum kosong (*spectrum holes*) dan mendiaminya tanpa menyebabkan interferensi dengan pengguna yang lain. *Spectrum sensing* merupakan syarat penting bagi radio kognitif untuk mendeteksi *spectrum holes*. Mendeteksi PU adalah cara paling efisien untuk mendeteksi *spectrum holes* [11].

PU dalam radio kognitif merupakan pengguna yang memiliki prioritas paling tinggi terhadap penggunaan spektrum frekuensi, sedangkan SU memiliki prioritas yang lebih rendah, dan seharusnya tidak menyebabkan gangguan terhadap pengguna utama saat menggunakan saluran. Teknik dan metode *spectrum sensing* yang dikenal dan sering digunakan ada tiga jenis, yaitu *matched filter detection*, *cyclostationary detection* dan *energy detection*

2.3.1. Matched Filter

Matched filter merupakan salah satu metode pada *spectrum sensing*. *Matched filter* bekerja dengan cara memaksimalkan SNR yang diterima dan hanya memerlukan waktu yang singkat untuk mencapai kondisi tertentu. Metode ini merupakan metode yang optimal karena memerlukan informasi yang berasal dari PU seperti jenis modulasi, operasi frekuensi, *bandwidth*, bentuk pulsa dan format *frame*. PU adalah alat komunikasi yang telah memiliki frekuensi yang telah dialokasikan, sedangkan SU adalah alat komunikasi yang dapat mengakses sebuah frekuensi berlisensi yang berada dalam keadaan kosong untuk dapat melakukan proses komunikasi [10].

2.3.2. Cyclostationary Feature Detection

Metode yang kedua pada *spectrum sensing* adalah *cyclostationary feature detection*. Metode ini bekerja dengan memanfaatkan periode waktu tertentu dari sinyal primer yang diterima untuk mengenal adanya pengguna primer. *Probability of Detection (Pd)* adalah waktu selama PU terdeteksi, sedangkan *Probability of False Alarm (Pf)* adalah probabilitas dari algoritma *sensing* melakukan kesalahan deteksi keberadaan PU yang sebenarnya tidak aktif [12].

2.3.3. Energy Detection

Energy detection adalah sebuah metode yang sederhana dan mudah untuk diimplementasikan. Metode ini tidak memerlukan data mengenai sinyal yang akan di-sense. Dalam metode *energy detection*, energi frekuensi radio akan diukur untuk menentukan apakah spektrum tersebut *idle*. Hasil dari perhitungan ini akan dibandingkan dengan daya *threshold*.

2.4 *Energy Detection Berbasis Spectrum Sensing*

Energy detection adalah metode *spectrum sensing* yang paling populer karena sederhana dan tidak memerlukan informasi sebelumnya mengenai PU. Meskipun *energy detection* dapat diimplementasikan tanpa data dari sinyal PU, metode ini masih memiliki kelemahan. Diantaranya metode ini tidak dapat bekerja dengan baik jika kondisi SNR bernilai rendah atau dibawah batas minimum. Parameter lain yang mempengaruhi *energy detection* adalah *daya threshold*, *probability of detecton* dan *probability of false alarm*. *Daya threshold* adalah nilai yang menentukan tingkat kesuksesan *energy detection*. *Daya threshold* berpengaruh langsung kepada parameter lainnya.

Persamaan *daya threshold* dapat dilihat pada persamaan 2.1 [5].

$$\text{Daya threshold} = \frac{(M_{\max}^2 - 1)(N_0 W)}{G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2} \dots \dots \dots (2.1)$$

dimana:

Daya threshold = daya transmisi maksimum (Watt)

$M_{\max}$ = Maksimum *Bit rate* (bps)

N_0 = Kerapatan spektral derau (Watt/Hz) = $4,14 \times 10^{-21}$

W = *Bandwidth* (Hz)

G_t = *Gain Transmit* (dB)

G_r = *Gain Received* (dB)

λ = panjang gelombang (m) = c/f

c = kecepatan cahaya (m/s)

f = frekuensi spektrum (Hz)

r = jarak (m)

Bit rate yang digunakan disini adalah *bit rate* dengan tipe modulasi 4 QAM. Modulasi yang digunakan adalah modulasi terkecil, demikian juga halnya dengan jarak dan penguatan yang digunakan pada penelitian ini. Sehingga diperoleh daya *threshold* minimum. *Bit rate* adalah besaran yang menyatakan jumlah data yang diproses persatuan waktu. *Bit rate* dapat dihitung dengan persamaan 2.2 [6]

$$M = \text{Jumlah RB} \times 12 \times \text{OFDMA symbol} \times \text{Tipe Modulasi} \dots \dots \dots (2.2)$$

dimana :

M = Maksimum *Bit rate* (bps)

RB = *resource block*

Daya *receiver* adalah kuat sinyal yang diterima pada UE. Daya *receiver* berguna untuk menghitung nilai SNR. Daya *receiver* dapat diperoleh melalui persamaan berikut [5].

$$Prx = PtGtGr\left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana:

Prx = Daya *receiver*

Gt = Gain Transmit (dB)

Gr = Gain Received (dB)

λ = panjang gelombang (m) = c/f

c = kecepatan cahaya (m/s)

f = frekuensi spektrum (Hz)

r = jarak (m)

SNR adalah rasio antara nilai maksimum dari sinyal yang diterima dengan besarnya derau yang berpengaruh pada sinyal tersebut. Pada perangkat penerima, kekuatan sinyal terima diubah menjadi indikator kekuatan sinyal terima (RSSI) yang didefinisikan sebagai rasio dari daya yang diterima sebagai daya referensi (P_{ref}). Biasanya daya referensi direpresentasikan sebagai sebuah nilai *absolute* dari $P_{ref} = 1\text{mW}$. Nilai SNR, RSSI dan SINR bisa diperoleh dengan menggunakan persamaan dibawah ini [8]:

$$\text{RSSI} = 10 \log \frac{P_{rx}}{P_{ref}} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\text{SNR} = 10 \log \frac{P_{rx}}{P_{noise}} \dots \dots \dots (2.5)$$

$$\text{SINR} = 10 \log \frac{P_{rx}}{I + P_{noise}} \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana:

$\text{RSSI} = \text{received signal strength indication}$

$\text{SNR} = \text{signal to noise ratio}$

$\text{SINR} = \text{signal interference to noise ratio}$

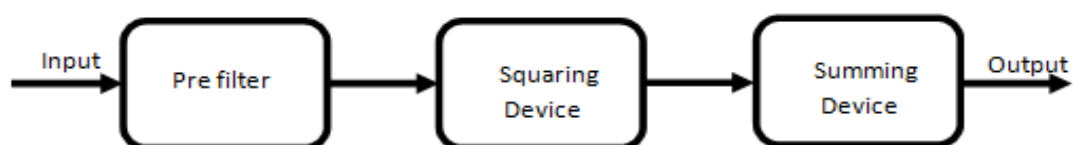
P_{rx} = daya dari sinyal terima

P_{ref} = daya referensi sebesar 1mW

P_{noise} = daya noise

I = interferensi yang diterima dari pengguna lain

Proses *energy detection* terdiri dari tiga tahap, seperti terlihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Blok Diagram *Energy Detection*

Sinyal input akan dilewatkan ke *band pass filter* untuk memilih spektrum frekuensi yang terbaik. Keluarannya akan diintegrasikan di integrator. Sinyal keluaran dari integrator akan dibandingkan dengan energi *threshold* untuk menentukan sinyal kelayakan sinyal tersebut. Keluaran dari integrator adalah energi sinyal yang diterima akan diproses dan keluaran ini dianggap sebagai statistik uji untuk menguji dua hipotesis, yaitu H_0 dan H_1 [13].

H_0 : adalah kondisi energi sinyal output lebih besar daripada daya *threshold*, yang mengindikasikan PU tidak sedang memakai spektrum

H_1 : adalah kondisi energi sinyal output lebih kecil daripada daya *threshold*, yang mengindikasikan PU sedang memakai spektrum

Hipotesis ini secara matematis dapat dituliskan menjadi [10]:

$$H_0: x(n) = w(n) \quad (2.7)$$

$$H_1: x(n) = s(n) + w(n) \quad (2.8)$$

dimana:

$w(n)$ adalah variasi nilai Gaussian *White Noise*

$s(n)$ adalah sinyal PU

$x(n)$ adalah sinyal yang diterima SU

n adalah 0,1,2,3,4,...,N yang merepresentasikan periode deteksi.

Probability of detection adalah probabilitas yang mengindikasikan bahwa PU sedang tidak menggunakan spektrum dan nilainya harus sebesar mungkin untuk melindungi PU dari kemungkinan terjadinya interferensi. Untuk menghitung *probability of detection* digunakan persamaan [11]:

$$P_d = Q_d(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\Lambda}) \dots \dots \dots (2.9)$$

dimana:

P_d = *probability of detection*

Λ = *daya threshold*

γ = SNR

Q_d = Marcum Q function

Probability of false alarm adalah probabilitas yang mengindikasikan PU sedang menggunakan spektrum tapi pada keadaan sebenarnya tidak demikian. Untuk menghitung *probability of false alarm* digunakan persamaan [11]:

$$P_f = \frac{\Gamma(d, \Lambda/2)}{\Gamma(d)} \dots \dots \dots (2.10)$$

dimana:

P_f = *probability of false alarm*

Λ = *daya threshold*

Γ = *incomplete gamma function*

d = jumlah user/2