

BAB 2

UWB DAN WLAN 802.11a

2.1 ULTRA WIDE BAND

Sinyal yang dapat diklasifikasikan sebagai Ultra Wide Band adalah jika *Fractional Bandwidthnya* (B_f) lebih dari 25% [8]. Seperti yang terlihat pada persamaan 2.1, B_f merupakan kelipatan 2 dari perbandingan selisih antara frekuensi tertinggi dan frekuensi rendah dengan jumlah dari frekuensi tertinggi dan frekuensi terendah.

$$B_f = 2 \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \quad (2.1)$$

Dimana f_L adalah frekuensi rendahnya dan f_H frekuensi tingginya.

Akan tetapi saat ini oleh FCC telah ditentukan bahwa sinyal dengan B_f lebih dari 20% juga telah dikategorikan sebagai UWB. Defenisi lain berdasarkan aturan FCC, sinyal yang dikategorikan sebagai UWB memiliki bandwidth sinyal lebih besar daripada 500 MHz [8].

UWB memiliki sinyal dengan durasi yang sangat pendek dalam bilangan nano detik dan pico detik, oleh karena itu sinyalnya sering disebut sebagai impuls response (IR). Dalam durasi yang sangat pendek tersebut sinyal UWB dapat menduduki rentang frekuensi yang sangat besar namun dengan power yang sangat rendah sehingga hal ini akan mengakibatkan UWB memiliki Power Spectral Density (PSD) yang juga sangat rendah dibandingkan dengan sistem komunikasi radio lainnya. Hal tersebut dapat dilihat pada persamaan 2.2 [1] berikut:

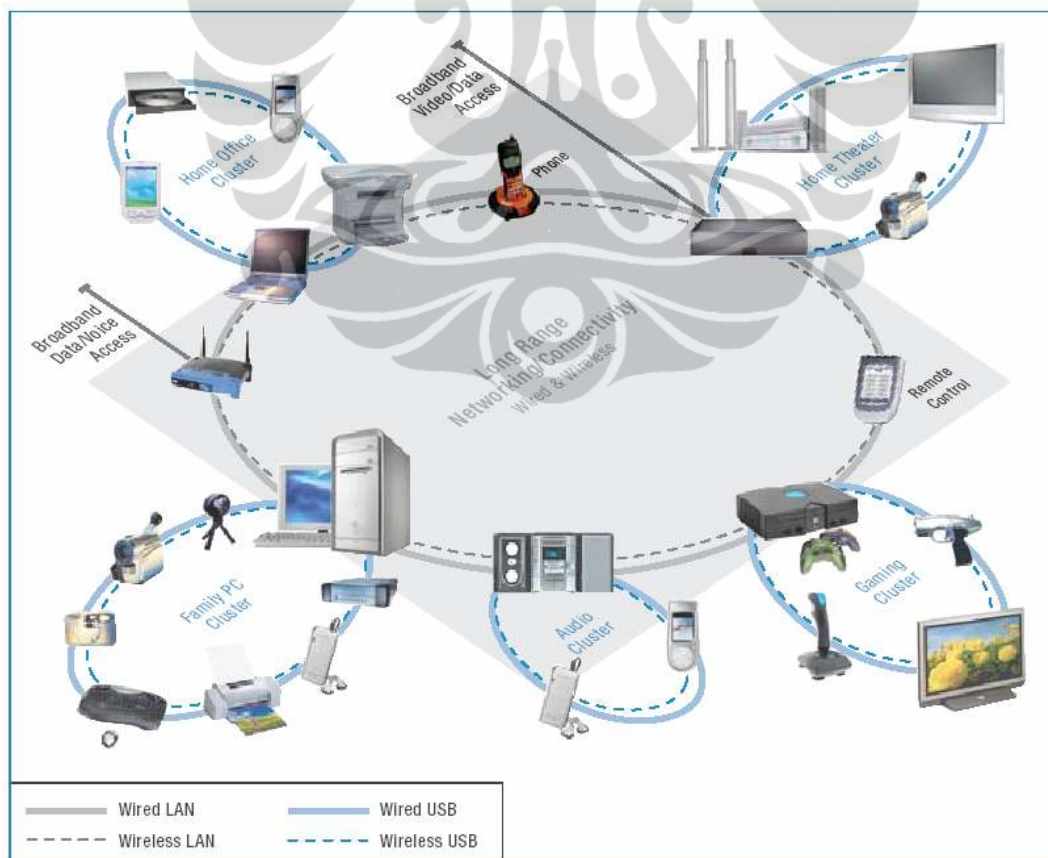
$$PSD = \frac{P}{B} \quad (2.2)$$

Dimana P adalah power dalam watt dan B adalah bandwidth dalam hertz, sehingga satuan PSD adalah watt/hertz.

2.1.1 Aplikasi UWB

Awalnya UWB hanya digunakan untuk keperluan militer karena karakteristik yang dapat menembus halangan, sinyalnya yang memiliki akurasi waktu dan power yang rendah sangat sulit terdeteksi dan cocok untuk aplikasi ini. Akan tetapi UWB menjadi sangat menarik bagi aplikasi komunikasi umum karena memiliki keunggulan antara lain:

1. Konsumsi daya yang rendah sehingga menghemat energi;
2. Sinyal bersifat seperti noise (PR);
3. Tahan terhadap penyadapan;
4. Memiliki resolusi ranah waktu yang baik sehingga cocok untuk pelacakan.



Gambar 2.1 Aplikasi UWB pada perangkat di rumah[9]

Pada Gambar 2.1 dapat kita lihat aplikasi UWB untuk perangkat yang ada di rumah dimana menghubungkan perangkat seperti kamera digital ke perangkat TV, printer ke perangkat computer, TV ke DVD tanpa menggunakan kabel.

Dengan keunggulan tersebut maka UWB yang memiliki standar : IEEE 802.15.3 a/b memiliki fitur sebagai berikut:

1. Standar desain radio WPAN
2. Durasi pulsa sangat pendek < 1 ns
3. Bandwidth yang sangat lebar ≥ 500 MHz
4. Kecepatan transmisi data ≥ 100 Mbps
5. Jarak sampai dengan 10 m

Hal yang membuat UWB berbeda dari sistem komunikasi radio lainnya adalah kemampuan UWB untuk membentuk sinyal dengan durasi yang sangat pendek yang dapat berpropagasi tanpa perlu adanya tahapan pencampuran ke RF frekuensi (mixing stage). Dengan karakteristiknya tersebut maka UWB dapat mengurangi biaya, ukuran dan konsumsi daya dibandingkan dengan komunikasi narrowband lain. Aplikasi UWB untuk komunikasi WPAN terbatas dari sisi jarak karena pada range lebih dari 10 m dia mengalami penurunan kapasitas transmisi yang sangat tajam. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2, dimana kapasitas maksimal hanya diperoleh pada jarak kurang dari 15 m.

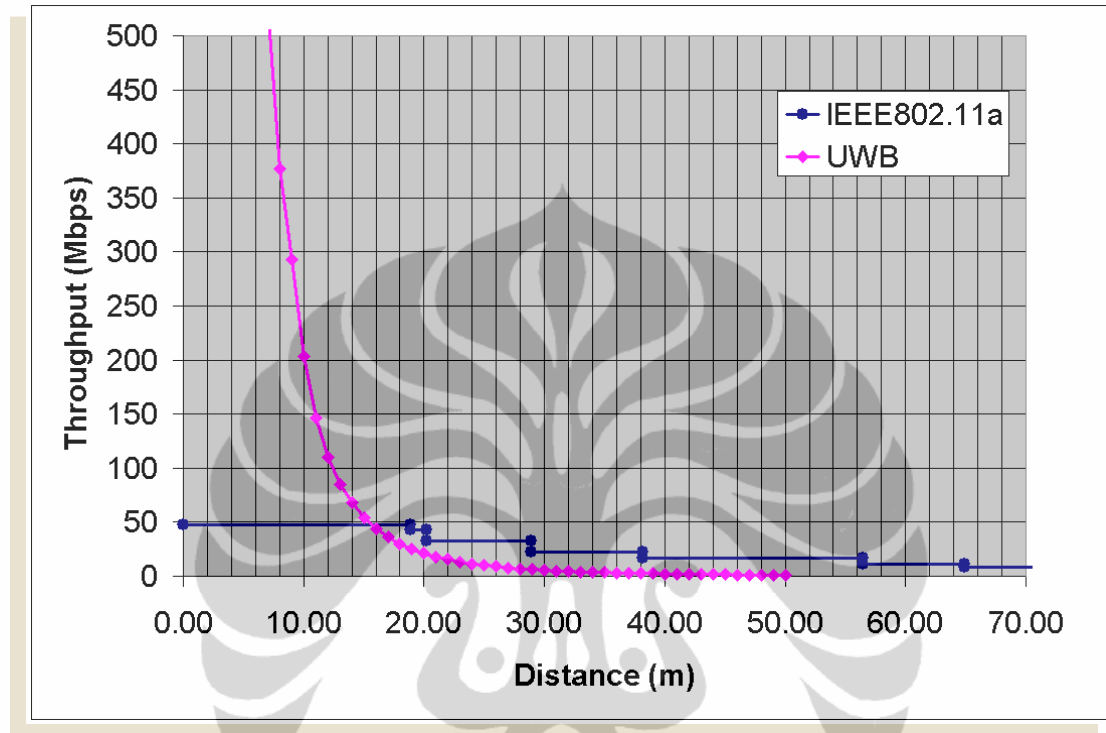
Aplikasi UWB umumnya akan memiliki power rata-rata yang relatif rendah. Beberapa aplikasi seperti pada automotif dan perangkat komunikasi mungkin beroperasi dalam kuantitas yang besar terutama di daerah perkotaan, hal ini akan membentuk hot spot yang dan berpotensi menjadi sumber interferensi.

Komunikasi radio UWB dapat dikategorikan menjadi 2 tipe utama UWB dengan frekuensi kerja di bawah 10,6 GHz.

Tipe 1 Komunikasi UWB adalah:

- a) Aplikasi bisnis komunikasi data dan seperti: home entertainment dan networking (indoor, kepadatan tinggi dan rata-rata utilisasi rendah);

- b) Antar muka multimedia telpon seluler (outdoor dan indoor, densitas yang tinggi dan pemakaian yang utilitasnya medium);
- c) WPAN (indoor, hotspot).



Gambar 2.2 Perbandingan fungsi jarak terhadap kapasitas transmisi UWB dan IEEE 802.11a [FCC]

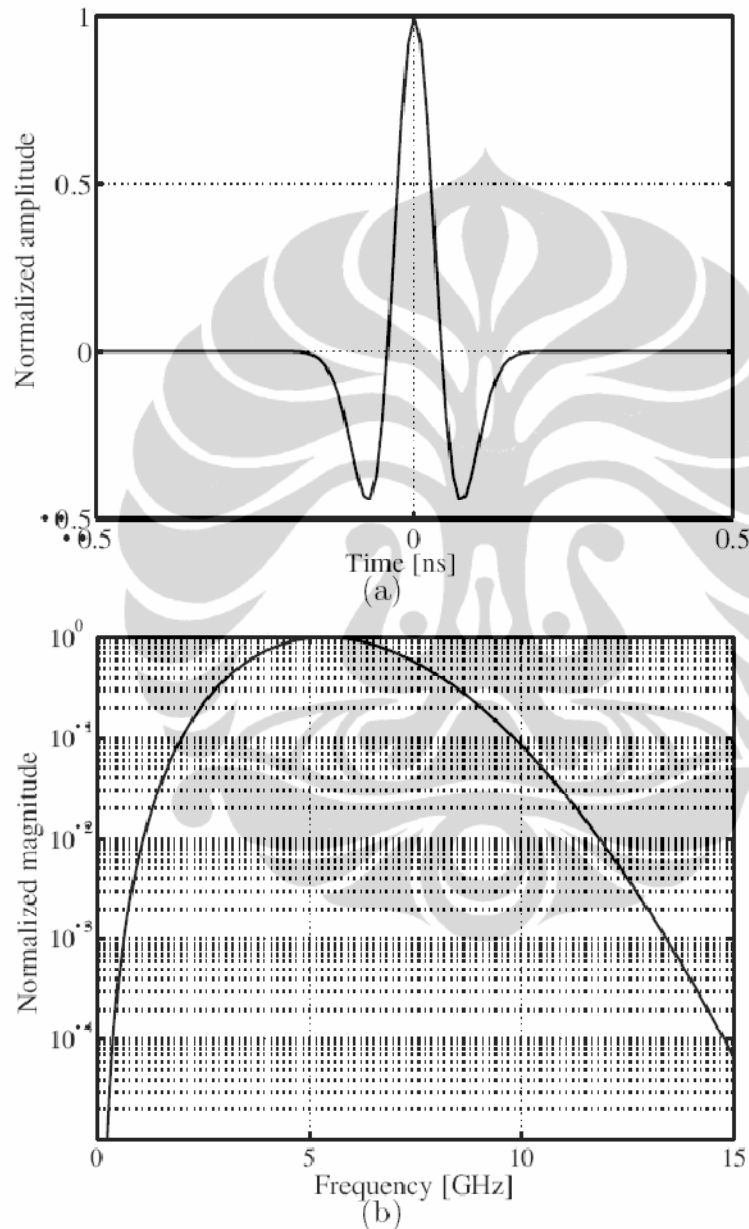
Tipe 2: Sistem Pencitraan UWB termasuk di dalamnya :

- a) Ground Penetrating Radars (GPR);
- b) Medical imaging;
- c) Pencitraan pada surveyor

2.1.2. Karakteristik Sinyal UWB

Sinyal UWB memiliki sifat yang unik yaitu bentuk pulsanya yang sangat singkat dengan *power density* yang rendah, sehingga sifat itu membuatnya serupa dengan noise pada sistem komunikasi lain. Sinyal UWB juga sering disebut sebagai Gaussian doublet karena bentuknya sama seperti kurva Gaussian sebagaimana

yang terlihat pada Gambar 2.3 [1]. Pada gambar tersebut dapat dilihat sinyal UWB dalam domain waktu dan frekuensi, dimana dalam durasi pulsa yang sangat singkat sampai dengan nano detik dia menduduki rentang frekuensi yang besar (dalam bilangan giga hertz).



Gambar 2.3 Sinyal UWB dalam domain waktu (a) dan dalam domain frekuensi (b).

Sementara itu *power spectral* UWB sendiri telah distandarkan oleh European Conference of Postal and Telecommunications Administrations (CEPT) untuk aplikasi di Eropa dan Federal Commission Committee (FCC) untuk aplikasi di Amerika. Kedua organisasi ini memiliki standar masking yang berbeda, sehingga penelitian yang lebih tepat untuk mengetahui skema masking UWB masih terus dilakukan. Industri UWB dengan dimotori oleh regulasi FCC bermaksud mencari emisi yang tepat untuk band 0- 960 MHz (untuk aplikasi tipe 2), 3,1 -10,6 GHz (untuk tipe 1) dan di atas 20 GHz (untuk aplikasi radar automotif). Pada tesis ini bahasan yang dibuat mengenai UWB tipe 1 yang memiliki rentang frekuensi 3,1 - 10,6 GHz.

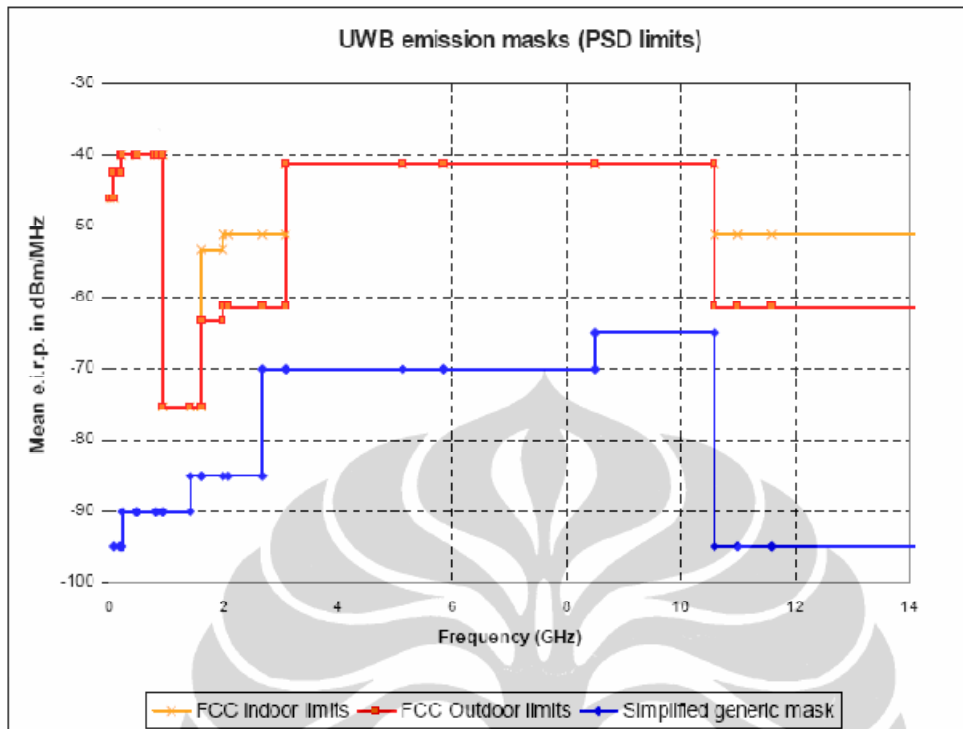
Saat ini industri sedang berupaya mencari emisi spektral yang tepat untuk frekuensi tersebut dengan beberapa cara seperti menggunakan PRF yang tinggi, menggunakan pulsa bipolar Direct Sequence –Ultra Wideband [6](DS-UWB) atau dengan modulasi non impuls *ortogonal frequency division multiplexing* (OFDM). Semua cara itu dilakukan dengan tujuan yaitu agar karakteristik spektral perangkat UWB diterima oleh sistem komunikasi radio terinterferensi serupa dengan sinyal AWGN yang bersifat “burst”. Pada Tabel 2.1 dapat dilihat *power spectral density* UWB jika dibandingkan dengan sistem komunikasi radio lainnya.

Tabel 2.1 PSD beberapa sistem komunikasi wireless [1]

Sistem	Daya Transmisi	PSD (W/MHz)	Bandwidth	Klasifikasi
Radio	50 kW	666600	75 kHz	Narrowband
Televisi	100 kW	16700	6 MHz	Narrowband
2G	500 mW	60	8.33 kHz	Narrowband
802.11a	1 W	0.05	20 MHz	Wideband
UWB	0.5 mW	6.67×10^{-8}	7,5 GHz	Ultra wideband

Perbedaan standar ECC dan FCC yang telah dikeluarkan untuk membatasi besarnya masking UWB dapat dilihat pada Gambar 2.4. Pada gambar tersebut dapat terlihat bahwa secara keseluruhan ECC (kurva biru) lebih hati-hati dalam menetapkan batasan radiasi UWB dengan menetapkan batas maksimal yang lebih

rendah.



Gambar 2.4 Perbedaan batasan masking UWB untuk standar FCC dan ECC[10]

Sementara dalam bentuk tabel batasan masking FCC dapat dilihat pada Tabel 2.2 dan standar ECC pada Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Batasan Radiasi FCC untuk aplikasi UWB indoor dan outdoor[10]

Frekuensi dalam MHz	EIRP indoor (dBm/MHz)	EIRP outdoor (dBm/MHz)
960-1610	-75,3	-75,3
1610-1990	-53,3	-63,3
1990-3100	-51,3	-61,3
3100-10600	-41,3	-41,3
Di atas 1060	-51,3	-61,3

Skema masking UWB yang diajukan ECC pada rentang frekuensi 3,1 -10 GHz memiliki EIRP bervariasi mulai dari -70 dBm/MHz dan -65 dBm/MHz, secara umum lebih rendah dibandingkan dengan skema yang diajukan FCC yaitu -41,3 dBm/MHz.

Tabel 2.3 Batasan Radiasi UWB berdasarkan standar ETSI[10]

Frekuensi (MHz)	EIRP maksimal (dBm/MHz)
Di bawah 230	-95
230-1600	-90
1600-2700	-85
2700-8500	-70
8500-10600	-65
Di atas 10600	-95

Sementara itu Tabel 2.4 memuat rumusan batasan radiasi UWB yang ditetapkan oleh ITU. Pada rumusan tersebut *range* frekuensi UWB terbagi menjadi 3 bagian dan pada rentang frekuensi operasi 3,1 – 10,6 GHz radiasi maksimalnya ditetapkan sebesar -41,3 dBm/MHz. Pada perencanaan jaringan nantinya sangatlah penting mempertahankan radiasi UWB pada level yang seharusnya untuk menghindari interferensi dengan perangkat lain.

Tabel 2.4 Batasan radiasi UWB untuk aplikasi indoor dan outdoor yang ditetapkan oleh ITU[8]

	Frequency range [GHz]		
	$f < 3.1$	$3.1 < f < 10.6$	$f > 10.6$
Indoor mask	$-51.3 + 87 \log(f/3.1)$	-41.3	$-51.3 + 87 \log(10.6/f)$
Outdoor mask	$-61.3 + 87 \log(f/3.1)$	-41.3	$-61.3 + 87 \log(10.6/f)$

Sementara itu untuk mengetahui bagaimana interferensi UWB dapat dikurangi, dicegah dan dihindari terlebih dahulu harus diketahui bagaimana karakteristik dari sinyal UWB itu sendiri. Ada 2 jenis UWB yang selama ini digunakan yaitu *single band* UWB serta *multiband* UWB dan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Multiband –OFDM UWB.

2.1.3. Multiband OFDM UWB

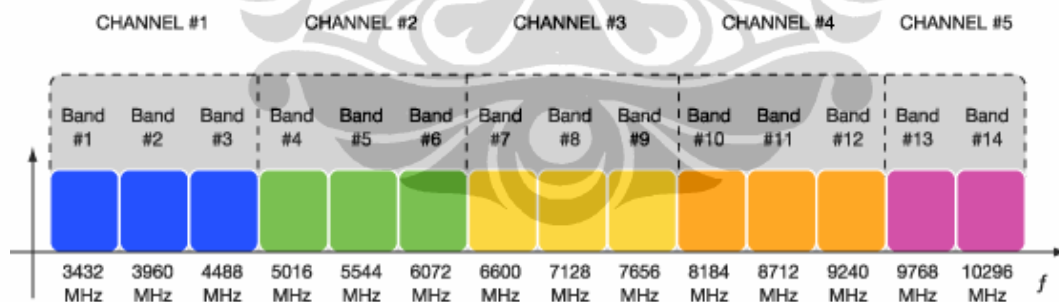
Transmitter UWB menghasilkan pulsa yang pendek dalam bentuk monocycle Gaussian dengan control antar pulsa yang sangat ketat. Gambar 2.4 menunjukkan

bagaimana pulsa UWB tersebut dilihat dari domain waktu dan frekuensi. Terlihat di sana bahwa lebar pulsa tak lebih dari 1 nS dengan rentang bandwidth 5 GHz. Pada MB-OFDM lebar frekuensi 7,5 GHz terbagai menjadi sekitar 14 band yang tiap bandnya memiliki lebar sekitar 500 MHz. Skema MB-OFDM dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan pada rumus berikut dapat dilihat hubungan antara frekuensi tengah dan jumlah band pada MB-OFDM[1]:

$$\text{Frekuensi tengah} = 2904 + 528 \times nb \quad (2.3)$$

Dimana $nb = 1, \dots, 14$ MHz.

Gambar 2.5 memperlihatkan bagaimana pembagian band dalam rentang 7,5 GHz pada UWB. Dari Gambar tersebut 7,5 GHz terbagi menjadi 14 band yang masing-masing bandwidthnya sekitar 500 MHz dan terlihat bahwa pada kanal 2 band ke 4 *overlap* dengan frekuensi kerja WLAN 802.11a.



Gambar 2.5 Multiband OFDM[1]

2.2 WLAN 802.11a

Aplikasi UWB yang akan datang mengarah pada penggunaan perangkat UWB yang dekat dengan perangkat komunikasi radio lain yang sedang beroperasi. Misalkan perangkat UWB berada dalam satu ruangan dengan perangkat lain. Pada proposal ini topik yang akan dicoba untuk dibahas adalah mengenai interferensi

UWB dengan WLAN 802.11a yang pada Gambar 2.5 menempati band frekuensi UWB di 5 GHz.

Kasus yang akan dicoba dicari di sini adalah melihat penurunan kualitas layanan 802.11a sebagai akibat dari interferensi perangkat UWB. Sesuai dengan tujuan bahasan tesis ini, penerima terinterferensi yang akan dianalisis penurunan performansinya adalah pada WLAN 802.11a, yang tentunya memiliki karakteristik yang akan menjadi masukan bagi simulasi yang akan digunakan. Berikut karakteristik yang akan diperlukan untuk studi koeksistensinya :

1. Sensitivitas penerima;
2. *Co-channel rejection*;
3. *Bandwidth victim receiver*;
4. Kriteria interferensi yang dapat diterima;
5. Karakteristik antena penerima.

Sesungguhnya standar WLAN 802.11a dan 802.11b ditetapkan dalam waktu yang bersamaan, akan tetapi 802.11b yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz telah keluar dipasaran lebih dulu karena secara teknologi lebih mudah dibuat dibandingkan dengan 802.11a yang bekerja pada frekuensi 5GHz. Hal ini disebabkan karena 802.11a menggunakan teknik *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) yang lebih sulit diimplementasikan, sedangkan 802.11b menggunakan teknik *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS). Ada 2 hal yang menjadikan 802.11a lebih unggul dibandingkan 802.11b, pertama ia meningkatkan kecepatan maksimum per kanal dari 11 Mbps pada 802.11b ke 54 Mbps dan yang kedua ia meningkatkan *non-overlapping frequency*. Band 5 GHz disebut juga sebagai UNII band (*unlicensed national information infrastructure*) sesungguhnya terdiri dari 3 sub-band yaitu UNII1 (5.15-5.25 GHz), UNII2 (5.25-5.35 GHz) dan UNII3 (5,725-5.825 GHz) [11]. Ada 8 kanal non overlap jika UNII1 dan UNII2 digunakan dan total keseluruhan bandwidth 802.11a adalah 300 MHz. Tabel perbandingan 802.11a dengan WLAN lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Perbandingan beberapa standar WLAN[11]

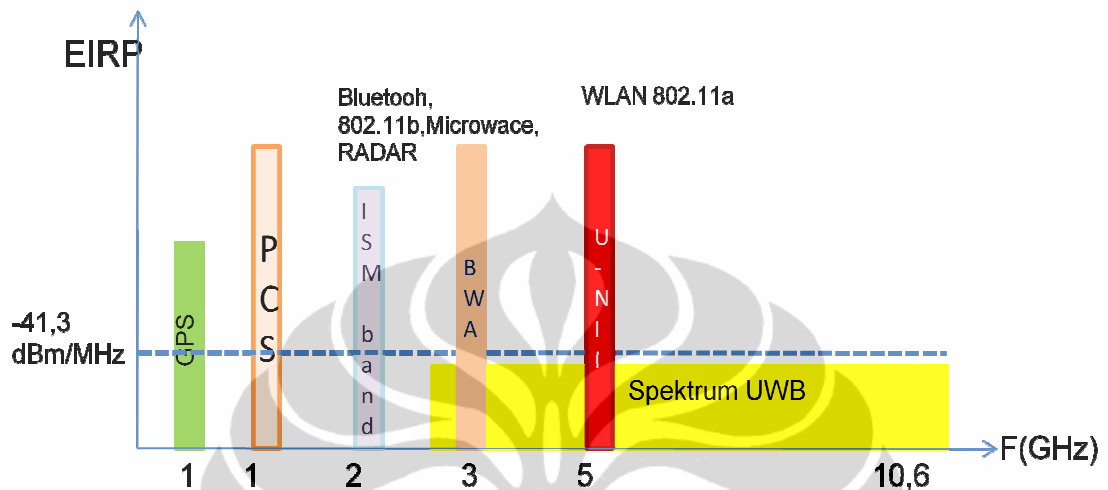
	802.11a	802.11b	802.11g
Standar	September 1999	September 1999	2002
Frekuensi	5,15 -5.25 GHz, 5.25-5,35 GHz, dan 5.725-5.825 GHz	2,4-2,485 GHz (ISM)	2.4-2,485 GHz
Bandwidth	300 MHz	83.5 MHz	83,5 MHz
Frekuensi Non overlapping	4 indoor(UNII1), 4 indoor/outdoor(UNII2), 4 outdoor(UNII3)	3 (indoor/outdoor)	3 (indoor/outdoor)
Kecepatan Data per kanal	54,48,36,24,18,12,9,6 Mbps	11, 5.5, 2, 1 Mbps	54, 36, 33, 24, 22, 12, 11, 9, 6, 5.5, 2, 1 Mbps
Modulasi	BPSK (6, 9 Mbps) QPSK (12, 18 Mbps) 16-QAM (24, 36 Mbps) 64-QAM (48, 54 Mbps)	DQPSK/CCK (11, 5.5 Mbps) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)	OFDM/CCK (6,9, 12,18,24,36,48,54) OFDM (6,9,12,18, 24,36,48,54) DQPSK/CCK (22, 33, 11, 5.5 Mbps) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)
Kompatibilitas	Wi-Fi5	Wi-fi	Wi-fi pada 11 Mbps ke bawah

2.3 Interferensi UWB terhadap WLAN 802.11a

FCC mengalokasikan UWB berada pada frekuensi 3,1 GHz sampai 10,6 GHz dengan daya emisi $-41,3$ dBm/MHz untuk aplikasi dalam ruangan[8]. Dengan rentang frekuensi band yang sedemikian lebar (7,5 GHz) maka potensi interferensi *in-band* terhadap sistem komunikasi radio lain sangat besar. Interferensi juga bisa terjadi antara perangkat UWB satu dengan perangkat UWB yang lain yang sering disebut sebagai *multi-user interference*. Pada multi-user sistem yang terinterferensi dikatakan sebagai UWB Victim (UV) sedangkan bagi sistem komunikasi lain yang terganggu dikatakan sebagai SV (Simple Victim). Interferensi ini terjadi terutama pada komunikasi yang frekuensinya berada dalam band yang sama dengan frekuensi UWB. Beberapa sistem komunikasi yang memiliki frekuensi in-band dengan UWB dapat dilihat pada Gambar 2.6 . Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa UWB mengalami *over-lap* dengan WLAN 802.11a di frekuensi 5 GHz dan Wimax pada frekuensi 3 GHz . Berikut beberapa sistem komunikasi radio yang dapat berpotensi mengalami interferensi dengan perangkat UWB:

1. *Fixed Service* (FS);
2. *Mobile Satellite Service* (MSS);
3. *Earth Exploration Satellite Service* (EESS);
4. *Radio Astronomy Service* (RAS);
5. *Digital video broadcasting: DVB-T*;
6. *Digital audio broadcasting: T-DAB*;
7. *Bluetooth PAN*;
8. *Radio LAN*;
9. *Public Land Mobile Service* (MS): IMT-2000;
10. *Radio Navigation Satellite Service* (RNSS);
11. *Fixed Satellite Service* (FSS);
12. *Amateur/Amateur Satellite Services* (Amateur) ;
13. *Maritime mobile service* (Maritime), termasuk *Global Maritime Distress & Safety Systems* (GMDSS);

14. *Aeronautical Mobile Service and radio determination service*
(*Aeronautical, AMS, ARNS*);
15. Radar meteorologi.



Gambar 2.6 Rentang bandwidth UWB dibandingkan dengan sistem komunikasi lainnya.

Interferensi dari perangkat UWB berpengaruh pada peningkatan background noise, untuk itu toleransi tingkat gangguan harus ditentukan dengan sangat hati-hati karena peningkatan background noise akan mengakibatkan penurunan tingkat layanan pada seperti:

- a. penurunan kapasitas;
- b. penurunan daerah cakupan;
- c. penurunan ketersediaan jalur.

Penurunan layanan yang signifikan pada victim receiver harus dihindari sejauh mungkin. Beberapa penelitian baik dengan metode pengukuran ataupun simulasi telah dilakukan untuk melihat gangguan yang ditimbulkan UWB pada victim receiver di atas.

2.4 Model Kanal Radio

Cara yang umum digunakan untuk menggambarkan propagasi antara pengirim dan penerima adalah dengan mendefinisikan Channel Impuls Response $h(t)$ antara sinyal yang dikirim $s(t)$ dengan sinyal yang diterima $r(t)$. Kanal dipresentasikan dengan jalur jamak yang memiliki gain positif (E_i) dan delay propagasi (τ_i) dimana i merupakan indeks jalur. Respon impuls kanal dapat dipresentasikan sebagai berikut[6]:

$$h(t) = \sum_{i=1}^N E_i(t) \cdot \delta(t - \tau_i(t)) \quad (2.4)$$

Dimana where $\delta(\cdot)$ merupakan fungsi Dirac delta .

Respon impuls kanal dideskripsikan sebagai jumlah N hamburan sinyal $E(t)$ yang tiba di penerima dengan waktu delay yang berlainan (N umumnya ditentukan sekitar 6 sampai dengan 20). Tiap hamburan itu sendiri merupakan jumlah dari beberapa bagian gelombang, sehingga tiap E_i merupakan penjumlahan dari N gelombang yang masing-masing memiliki amplitudo a_i , fasa ϕ_i , sudut α_i (relative terhadap pergerakan pengguna). Hal ini dapat dirumuskan dengan persamaan 2.5[6] dan 2.6 berikut:

$$E_{iFF}(t) = \sum_{k=0}^{N_{waves}} a_{ik}(t) \cdot e^{j(\phi_{ik} + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot v \cdot t \cos \alpha_{ik})} \quad (2.5)$$

$$E_i(t) = A_i(t) \cdot E_{iFF}(t) \quad (2.6)$$

Rugi-rugi transmisi dari UWB dengan jarak d dapat dijelaskan dengan rumus berikut[6]:

$$PL(d) = P_{Lo} + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (2.7)$$

Dimana P_{LO} intercept point, merupakan rugi-rugi pada jarak d_0 dan didefinisikan sama seperti rugi-rugi propagasi ruang bebas dengan rumus berikut[6]:

$$P_{LO} = 20\log\left[\frac{4\pi f_c d_0}{c}\right] \quad (2.8)$$

dan

$$f_c = \sqrt{f_{\min} \cdot f_{\max}} \quad (2.9)$$

dimana f_c merupakan frekuensi dengan bentuk sinyal UWB dengan f_{\min} dan f_{\max} bernilai -10 dB dari tepi spektrum dan n merupakan eksponen rugi-rugi.

2.5 Skenario Interferensi Antara UWB dan WLAN 802.11a

Skenario yang akan dianalisis sini adalah interferensi yang ditimbulkan oleh beberapa perangkat UWB terhadap penerima WLAN 802.11a. Akan tetapi sebelumnya dijelaskan terlebih dahulu bagaimana interferensi tunggal terjadi antara WLAN 802.11a dengan UWB.

2.5.1 Interferensi Pengirim tunggal UWB (Single Interferer)

Skema interferensi tunggal yang terjadi pada sebuah perangkat UWB dengan perangkat WLAN dapat dilihat pada Gambar 2.7, dalam gambar tersebut terlihat ada sinyal pengganggu berwarna merah dari 2 perangkat UWB yang aktif dengan bandwidth yang lebar dan PSD yang rendah, dan ada sinyal yang diharapkan dari WLAN yang bandwidthnya kecil namun dengan power emisi yang tinggi. Dari sisi penerima WLAN emisi sinyal UWB sama seperti noise yang mengganggu.



Gambar 2.7 Skema interferensi tunggal UWB dan WLAN 802.11a

Telah dijelaskan di atas bahwa ada 3 macam penurunan kualitas layanan yang mungkin terjadi akibat interferensi UWB. Interferensi UWB yang memperbesar *noise floor* pada penerima, memiliki dampak pada *link budget* dan kapasitas kanal yang ada. *Link budget* menurun dengan faktor perbandingan yang sama dengan perbandingan interferensi tanpa dan dengan adanya interferensi UWB yang disebut sebagai UWB noise rise[6].

$$\frac{I_{UWB} + N_{receiver}}{N_{receiver}} = \frac{I_{UWB}}{N_{receiver}} + 1 \quad (2.10)$$

Dimana $I_{UWB}/N_{receiver}$ disebut rasio $UWB_{I/N}$ keduanya (*UWB noise rise* dan rasio $UWB_{I/N}$) tidak dipengaruhi oleh bandwidth oleh karena ini rumus ini berlaku umum di semua bandwidth.

$N_{receiver}$ dalam dBm/MHz adalah jumlah thermal noise ($N_{thermal}$) dan faktor noise F. Untuk tingkat thermal noise = -114 dBm/MHz, $N_{receiver}$ dapat representasikan dengan persamaan berikut[6]:

$$N_{receiver} \text{ (dBm/MHz)} = -114 + F \quad (2.11)$$

Sementara faktor noise itu sendiri berbeda-beda tergantung dari harga perangkatnya, semakin mahal perangkat penerima komunikasi radio, semakin rendah noise faktornya ataupun sebaliknya Untuk perangkat yang lebih mahal seperti base station umumnya memiliki faktor noise 5 dB sementara untuk terminal portable 9 dB, sehingga;

N_{receiver} untuk base station = -109 dBm/MHz dan

N_{receiver} untuk terminal portabel = -105 dBm/MHz

Dengan menggunakan persamaan 2.10 jika diketahui nilai toleransi rasio $UWB_{I/N}$, maka dapat dihitung interferensi UWB yang dapat ditoleransi *victim receiver*. Sementara itu *power spectral density* UWB (P_{UWB}) pada pengirim UWB dengan jarak r terhadap *victim receiver* dapat dihitung dengan persamaan 2.12[6]:

$$P_{UWB} = N_{\text{thermal}} + F + (I_{UWB/N}) - L \quad (\text{semua dalam dB}) \quad (2.12)$$

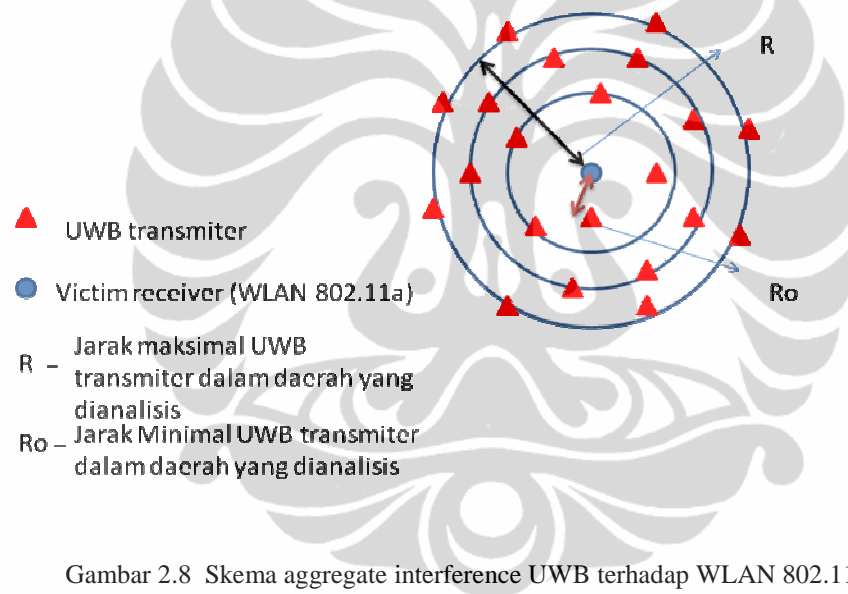
Dimana L sendiri merupakan rugi-rugi propagasi yang besarnya tergantung pada faktor jarak dan frekuensi serta faktor lain yang tergantung pada kondisi lingkungan propagasinya dan rumus rugi-ruginya sendiri akan dijelaskan pada Bab 3.

2.5.2. Interferensi Aggregate Transmitter UWB

Berapa metode yang dijadikan acuan dalam menghitung aggregate interference UWB telah dimuat dalam rekomendasi ITU-R mengenai "*Impact of devices using ultrawideband technology on system operating within radio communication services*" [7], ada 3 metode yang digunakan dalam menghitung aggregate interferensi UWB, yaitu:

2.5.2.a. Fantasma Statistical Methode

Pada interferensi dengan beberapa transmiter UWB menjadi sumber interferensi dari *victim receiver* dan model propagasi ruang bebas, metodenya mengacu pada publikasi NTIA 01-43 [13]. Metode ini diaplikasikan untuk perangkat teresterial yang berada pada pusat radius minimal dan maksimal yang didalamnya terdapat beberapa perangkat transmiter UWB menggunakan propagasi ruang bebas. Pada metode ini terdapat sebaran transmiter UWB yang kepadatannya dibuat rata-rata, pada rentang jarak yang telah ditentukan di atas. Gambaran *Aggregate interference* yang dapat terjadi dijelaskan pada Gambar 2.8 .



Gambar 2.8 Skema aggregate interference UWB terhadap WLAN 802.11a

Pada metode ini rata-rata aggregate interferensi yang ditimbulkan oleh perangkat UWB dijelaskan dengan rumus berikut[7]:

$$A = 2\alpha\eta\rho\pi \ln(R_1 / R_0) \quad (2.13)$$

Dimana:

α = $eirp \cdot (\lambda/4\pi)^2 \cdot G_r$ - konstanta yang valid untuk emisi antena omni-

directional dan propagasi ruang bebas.

$e.i.r.p.$ = rata-rata eirp dari perangkat transmisi UWB dalam W per unit bandwidth;

G_r = Penguatan antena receiver;

λ = panjang gelombang dalam m;

ρ = rata-rata kepadatan emiter

η = bagian dari waktu tiap emiter yang ditransmisikan, faktor aktifitas;

R_o = radius minimal dari daerah yang diawasi atau jarak minimal receiver terhadap penerima UWB terdekat;

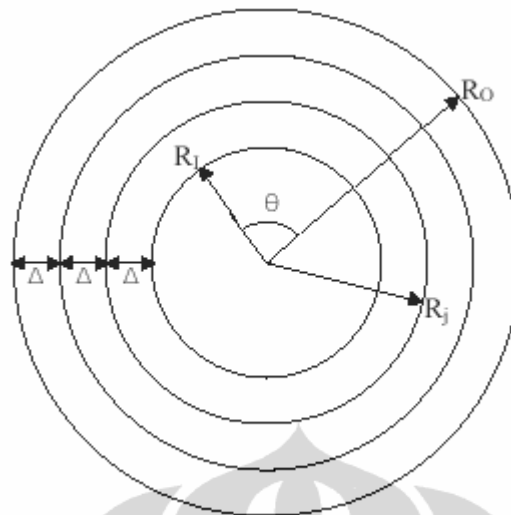
R_1 = radius maksimum daerah yang diobservasi.

2.5.2.b. Metodologi Monte Carlo

Metodologi Monte Carlo mampu memberikan tingkatan perhitungan matematik dan statistik yang tepat tentang probabilitas interferensi pada berbagai macam system komunikasi radio. Metode Monte Carlo membangkitkan nilai-nilai variabel tertentu berdasarkan probabilitas distribusi yang diterapkan. Bagaimana metode perhitungan yang diaplikasikan dalam metodologi ini akan dijelaskan lebih lanjut pada Bab 3.

2.5.2.c Metodologi Penjumlahan

Metode ini mengasumsikan semua perangkat UWB berada pada daerah lingkaran yang perbedaan radiusnya sama, dengan *victim receiver* berada di tengahnya. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.9, dengan demikian interferensi aggregatonya adalah interferensi semua perangkat UWB yang berada pada tiap ring.



Gambar 2.9 Skema interferensi aggregate UWB pada metode Penjumlahan[13]

$$P_R(\text{aggregate}) = \text{EIRP} \cdot \sum_{j=1}^M \frac{N_j \cdot G_j}{L_j} \quad (2.14)$$

Dimana:

EIRP = effective isotropic radiated power

N_j = jumlah *emitter* UWB dalam daerah ring ke j

G_j = Gain antenna penerima pada arah *interferer* yang ke j

L_j = Rugi-rugi lintasan dari *victim receiver* ke ring j