ANALISIS KOEKSISTENSI JARINGAN LTE-UNLICENSED DAN WIFI PADA FREKUENSI 5GHZ

COEXISTENCE ANALYSIS LTE-UNLICENSED NETWORK AND WIFI AT 5GHZ BAND FREQUENCY

Arum Rachmapramita[1], Dr. Nachwan Mufti A.,S.T.,M.T.[2], Budi Syihabbudin, S.T.,M.T.[3]
[1,2,3]Fakultas Teknik Elektro, Telkom University, Bandung
[1]arumrachma@student.telkomuniversity.ac.id, [2]nachwanma@telkomuniversity.ac.id,
[3]budisyihab@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Meningkatnya permintaan pengguna layanan akses internet menyebabkan terjadinya peningkatan trafik. Dengan alasan tersebut peningkatan kapasitas harus dilakukan untuk memenuhi permintaan pengguna layanan dan memenuhi peningkatan trafik yang terjadi. Salah satu cara untuk meningkatkan kapasitas adalah penggunaan spektrum frekuensi secara maksimal, disisi lain spektrum frekuensi merupakan sumber daya yang terbatas. Dengan alasan kebutuhan permintaan kapasitas dan terbatasnya spektrum frekuensi yang tersedia, maka sebuah teknologi tidak hanya menggunakan spektrum frekuensi lisensi tetapi juga spektrum frekuensi non-lisensi. Penggunaan spektrum frekuensi non lisensi menyebabkan sebuah teknologi baru harus dapat beradaptasi dan berkoeksistensi dengan teknologi yang sudah ada sebelumnya.

Pada penelitian ini, dibahas koeksistensi antara teknologi LTE-*Unlicensed* dan Wi-Fi yang menggunakan spektrum frekuensi non-lisensi 5GHz. LTE-U dan Wi-Fi dapat berkoeksistensi satu sama lain pada area geografis yang sama atau LTE-U eNodeB dapat ditempatkan berdampingan dengan Wi-Fi AP. Koeksistensi antara kedua teknologi ditinjau dari interferensi *adjacent channel* (ACIR) antara LTE-U eNodeB dan Wi-Fi *Access Point*. Skenario yang digunakan pada tugas akhir ini adalah LTE-U eNode B sebagai penginterferensi dan Wi-Fi AP sebatai terinterferensi dan sebaliknya pada *indoor* dan *outdoor deployment* dengan kondisi LOS dan NLOS.

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi sistem koeksitensi antara LTE-U eNodeB dan Wi-Fi *Access Point* didapatkan jarak minimal antara agar tidak terjadi interferensi *adjacent channel* adalah 24m-76m dengan *deploymet indoor* dan kondisi LOS, sedangkan dengan *deployment outdoor* 78m-194m kondisi LOS dengan *Interference threshold* 18dB dan 20,3dB. Dengan jarak 78m disimulasikan dengan *software* Atoll rata-rata nilai CINR adalah 15dB. Untuk simulasi dengan *software* RPS, dengan jarak 24m didapatkan nilai SIR rata-rata adalah 0,62dB.

Kata Kunci: Spektrum Frekuensi Non-Lisensi, Koeksistensi, LTE-U, Wi-Fi, ACIR

Abstract

Needing for internet access is the main reason of increasing of internet traffic. The way to fulfill the needed of internet traffic is by increasing the capacity of the network. Maximizing the use of spectrum frequency may increase the capacity of the network. Unfortunately spectrum frequency is unrenewable source which means it has to use wisely. For increasing the capacity of the network to meet the demand of internet traffic a new technology will use unlicensed spectrum frequency. Actually there has already a technology which uses the unlicensed spectrum frequency with that reason a new technology has to adapt and coexistence with the technology which already exist.

In this research, It will talk about the coexsistence between LTE-Unlicensed and Wi-Fi which use unlicensed spectrum 5GHz. LTE-U and Wi-Fi can coexist with each other in the same geographical area or the LTE-U eNodeB can be collocated with Wi-Fi AP. The Coexistence with in these technologies analize in adjacent channel interference with the value of ACIR between LTE-U eNodeB and Wi-Fi Access Point. The Scenario which use in this final project is LTE-U eNodeB as aggressessor and Wi-Fi Access Point as victim and vice versa. It also use indoor and outdoor deployment with LOS and NLOS condition.

Based on calculating and simulating the coexistence system between LTE-U eNodeB and Wi-Fi Access Point the result is Interference Level and minimum distance between these two technologies. The minimum distance is required to preserve adjacent channel interference is in range 78m-194m for the outdoor deployment and in range 24m-76m for indoor deployment. With software simulation, in 51m distance the mean CINR value is 15dB, in the other hand with software simulation, in 16m distancethe SIR mean value is 0.62dB.

Keyword: Unlicensed Spectrum Frequency, Coexistence, LTE-U, Wi-Fi, ACIR

1. Pendahuluan

Permintaan trafik dalam rentang tahun 2015-2021 diprediksi akan mencapai 4 kali lipat di seluruh dunia [1]. Untuk memenuhi permintaan trafik tersebut penggunaan spektrum frekuensi harus dilakukan secara maksimal karena spektrum frekuensi adalah *unrenewable source*. Sebagai contoh spektrum frekuensi lisensi digunakan oleh beberapa teknologi seluler seperti GSM, UMTS, HSDPA, dan LTE.

Teknologi LTE sedang merencanakan untuk menggunakan spektrum frekuensi non-lisensi untuk meningkatkan kapasitas demi terpenuhinya permintaan trafik yang diprediksi akan terjadi. LTE akan

menggunakan spektrum frekuensi non-lisensi 5GHz, yang sebelumnya sudah ada teknologi Wi-Fi yang menggunakan frekuensi tersebut. Maka LTE harus dapat berkoeksistensi dengan teknologi Wi-Fi. Pada penelitian ini, akan dibahas koeksistensi antara LTE dan Wi-Fi berdasarkan penempatan letak LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP serta meninjau interferensi *adjacent channel* yang terjadi antara LTE-U dan Wi-Fi. Diharapkan penggunaan frekuensi yang sama dengan jenis teknologi yang berbeda dapat dilakukan, sehingga penggunaan spektrum frekuensi lebih maksimal dan dapat memeniho kebutuhan kapasitas trafik yang selalu meningkat.

Latar Belakang, Tujuan, Identifikasi Masalah, Metode Penelitian.

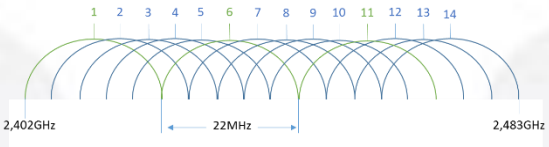
2. Dasar Teori Spektrum Frekuensi Non-Lisensi / Metodologi Simulasi Koeksistensi LTE-U dan Wi-Fi

2.1 Spektrum Frekuensi Non-Lisensi

Radio Band Frequency dibedakan menjadi dua, yaitu spektrum frekuensi lisensi dan spektrum frekuensi non-lisensi. Spektrum frekuensi lisensi sangat terbatas, biasanya didapatkan dengan cara dilelang dan harganya relatif mahal. Penggunaan spektrum frekuensi lisensi biasanya digunakan untuk televise, radio komersial, dan teknologi seluler untuk layanan suara maupun data [2].

Spektrum Frekuensi non-lisensi biasanya digunakan untuk *Industrial, Scientific, and Medical* (ISM) yang sudah diatur oleh regulasi ITU bahwa penggunannya untuk hampir semua negara dapat digunakan oleh siapa saja, secara bebas dan gratis sesuai dengan *requirement* dari regulasi ITU. Teknologi yang menggunakan spektrum frekuensi non-lisensi adalah Wi-Fi, *Bluetooth*, dan beberapa teknologi komunikasi yang menggunakan daya yang relative kecil. Selain itu spektrum frekuensi non-lisensi digunakan untuk keperluan pengembangan teknologi, penelitian, serta inovasi yang bisa dilakukan pada spektrum frekuensi ini [2].

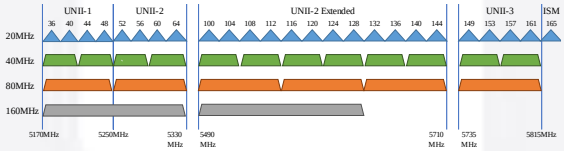
Spektrum frekuensi non-lisesnsi terdapat dua *band* yang sering digunakan yaitu 2,4GHz dan 5GHz. Dapat dilihat pada Gambar 1 adalah kanal spektrum frekuensi 2,4GHz. Pada 2,4GHz terdapat 14 kanal yang saling overlapping dan hanya terdapat beberapa kanal yang tidak saling overlapping misalnya, kanal 1, 6, 11; 2, 7, 12; dan seterusnya.



Gambar 1 Kanal Spektrum Frekuensi 2,4GHz

Pada Gambar 2, frekuensi 5GHz memiliki 25 kanal dengan *bandwidth* 20MHz, 12 kanal dengan *bandwidth* 40MHz, 6 kanal *bandwidth* 80MHz dan 2 kanal *bandwidth* 160MHz. Kanal-kanal frekuensi ini tidak saling overlapping satu sama lain.

Gambar 2 Kanal Spektrum Frekuensi 2,4GHz



Gambar 3 Kanal Spektrum Frekuensi 5GHz

2.2 Wi-Fi

Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) merupakan merek dagang yang dibentuk oleh Wi-Fi Alliance untuk memberikan penamaan yang mudah dan komersial untuk *Wireless Local Area Network* (WLAN) yang berdasarkan pada standarisasi IEEE 802.11. Fungsinya menghubungkan jaringan dalam suatu perangkat dalam satu area local secara nirkabel. Pada awalnya Wi-Fi digunakan untuk penggunaan perangkat nirkabel dan jaringan area lokal (LAN), namun saat ini lebih banyak digunakan untuk mengakses internet. User dapat terhubung ke jaringan internet dengan mengirim dan menerima sinyal pada frekuensi radio melalui *access point* terdekat menggunakan *device* yang dilengkapi dengan *Wireless Card* dan *Personal Digital Assistant* (PDA) [3].

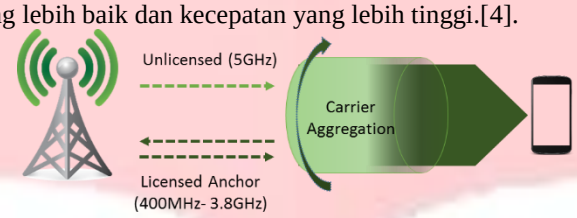
2.3 LTE-*Unlicensed*

LTE-*Unlicensed* atau *Licensed Assisted Access* (LAA) merupakan sebuah fitur baru yang inovatif dalam mengembangkan teknologi LTE untuk beroperasi pada spektrum non lisensi. 3GPP mengembangkan LTE-U/LAA sebagai salah satu solusi untuk memenuhi jumlah permintaan trafik yang selalu meningkat. LTE-U memanfaatkan frekuensi non lisensi seperti frekuensi 2,4GHz dan 5GHz yang sudah digunakan terlebih dahulu oleh teknologi Wi-Fi. Ide dasar LTE-*Unlicensed* adalah *carrier aggregation* dan *traffic offloading* yang terjadi pada makro *cell* LTE pada frekuensi lisensi. Penggunaan spektrum frekuensi non-lisensi pada LTE-U tidak lepas dari dasar teknologi LTE ini sendiri yang bekerja pada frekuensi lisensi dan akan menggunakan fitur *carrier aggregation*

dengan frekuensi non-lisensi. Frekuensi yang digunakan yaitu 1800MHz (licensed) dengan frekuensi 5GHz atau 2,4 GHz (*unlicensed*) agar mendapatkan *bandwidth* yang besar sehingga dapat meningkatkan kapasitas jaringan untuk memenuhi permintaan trafik yang selalu meningkat.

Pada LTE-U Forum yang dibentuk pada tahun 2014 oleh Verizon bekerja sama dengan beberapa vendor besar seperti *Alcatel-Lucent, Qualccomm Technologies, Inc*. dan Samsung, LTE-U forum membahas tentang spesifikasi teknik seperti performansi minimum untuk LTE-U eNodeB dan *end device* pada pelanggan di frekuensi operasi 5GHz, forum ini juga membahas tentang spesifikasi dari koeksistensi dua teknologi yaitu LTE dan Wi-Fi.

LTE-U memberikan manfaat pada LTE dan LTE-*Advanced* yaitu menjadikan spektrum frekuensi *unlicensed* sebagai *offload data traffic* yang lebih efektif dan efisien. Dengan LTE-U, operator dapat menawarkan pelanggan/user *coverage* yang lebih baik dan kecepatan yang lebih tinggi.[4].



Gambar 4 Suplemental Downlink LTE-U

2.4 Perhitungan Interferensi

Berdasarkan *link budget*, perhitungan deterministic digunakan untuk mengevaluasi akibat dari sistem yang menginterferensi dan sistem yang terinterferensi. Pendekatan perhitungan ini digunakan untuk analisis interferensi LTE-U eNB terhadap Wi-Fi AP dan sebaliknya. Letak posisi LTE-U eNB maupun Wi-Fi AP dianggap tetap dan dianggap pada kondisi yang paling buruk. Gambar 3 merupakan pemodelan interferensi intersistem yang terjadi antara LTE-U eNB dan Wi-Fi AP.

2.4.1. Interferensi Intersistem

Nilai interferensi dihitung dengan Persamaan 1 berikut persamaannya,

$$Inteference\ Level = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - ACIR - PL - I_{max} \quad (1)$$

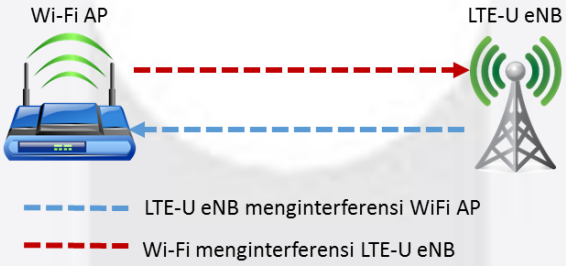
dimana *Interference Level Power* ditinjau pada sistem yang terinterferensi dalam satuan dBm. P_{Tx} merupakan power transmit dari eNodeB atau AP penginterferensi dengan satuan (dBm), G_{Tx} dan G_{Rx} merupakan gain antenna dari pemancar dan penerima dengan satuan (dBi), *ACIR* adalah nilai perbandingan antara besarnya daya total yang ditransmisikan dari penginterferensi dengan besarnya daya interferensi yang diterima oleh penerima dari sistem dengan satuan (dB), *PL* adalah *pathloss* minimum yang akan diuraikan pada model propagasi yang digunakan [5] [6] [7].

Nilai dari *Interference Level Power* tidak boleh melebihi dari *threshold* interferensi (I_{max}). Maksimum *threshold* interferensi ini 0 sampai 7dB lebih rendah daripada eNodeb/*Access Point noise floor* [17].

Receiver Noise Floor (N) didefinisikan sebagai berikut:

$$N = -174 + 10log_{10}(BW) + N \quad (2)$$

dimana BW adalah *bandwidth* dalam Hz yang digunakan oleh teknologi LTE-U ataupun Wi-Fi, NF adalah *noise figure* pada sisi terinterferensi.



Gambar 5 Pemodelan Interferensi LTE-U eNode B Wi-Fi AP

2.4.2. *Adjacent Channel Interference*

a. *Adjacent Channel Interference power Ratio (ACIR)*

Nilai ACIR merupakan kombinasi dari nilai ACLR dan ACS. *Adjacent Channel Leakage Ratio* (ACLR) di definisikan sebagai perbandingan antara daya rata-rata yang sudah melewati filter dibagi dengan daya rata-rata yang sudah melewati *filter* dalam *adjacent channel.* ACLR memiliki satuan (dB). Sedangkan *Adjacent Channel Sensitivity* (ACS) mengukur kemampuan receiver untuk menerima sinyal yang di inginkan dan ACS juga menetapkan kanal frekuensi yang digunakan pada saat adanya sinyal interferensi kanal yang berdekatan dengan memberikan frekuensi offset dari frekuensi tengah kanal frekuensi yang digunakan, tanpa frekuensi offset, menyebabkan receiver mengalami penurunan kemampuan. ACS memiliki satuan (dB)

ACS merupakan parameter yang menunjukan kemampuan receiver untuk menerima suatu sinyal pada kanal frekuensi yang telah ditetapkan dan menunjukan kemampuan receiver untuk menolak sinyal lain yang berada pada kanal yang berdekatan. Untuk menghitung nilai ACIR digunakan Persamaan 3 sebagai berikut:

$$ACIR = \frac{ACLR.ACS}{ACLR+ACS} \quad (3)$$

2.4.3. Model Propagasi

Model propagasi digunakan untuk mendapatkan nilai *pathloss*, jenis model propagasi yang digunakan berdasarkan skema *indoor* dengan kondisi LOS dan NLOS juga skema *outdoor* dengan kondisi LOS dan NLOS. Model propagasi ini berdasarkan rekomendasi ITU InH [8] [9].

Untuk skema *indoor* dengan menganggap suatu sistem di *deploy* di dalam suatu ruangan, gedung maupun apartemen dengan kondisi kanal radio *Line of Sight* (LOS), tanpa adanya penghalang, persamaan untuk mendapatkan nilai *pathloss* dinyatakan dalam Persamaan 4.

$$PL = 16.9\, log10\,(d) + 32.8 + 20log10(f_c) \quad (4)$$

dimana d adalah jarak dalam meter. Berdasarkan model propagasi rekomendasi ITU InH nilai d yang digunakan lebih dari 3meter dan kurang dari 100m. Untuk f_c menyatakan frekuensi tengah dari frekuensi kerja dalam satuan (GHz).

Untuk skema *indoor* dengan kondisi kanal radio *Non-Line of Sight* (NLOS), dengan adanya penghalang diantara dua sistem, persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai *pathloss* dinyatakan dalam Persamaan 5.

$$PL = 43.4log10(d) + 11.5 + 20\log(f_c) \quad (5)$$

dimana d adalah jarak dalam meter. Berdasarkan rekomendasi ITU InH nilai d yang digunakan lebih dari 10meter dan kurang dari 150m. Untuk f_c merupakan frekuensi tengah dari frekuensi kerja dalam satuan (GHz).

Untuk skema *outdoor* dianggap cakupan dari skema ini lebih luas, seperti ruang publik, taman, hingga kota. Dengan kondisi kanal radio *Line of Sight* (LOS), persamaan untuk mendapatkan nilai *pathloss* terbagi menjadi dua dan dinyatakan dengan Persamaan 6 dan Persamaan 7. Kedua persamaan ini dibedakan berdasarkan nilai d atau jarak yang digunakan dalam perhitungan persamaan ini.

$$PL = 22log10(d) + 28 + 20log10(fc) \quad (6)$$

dimana d adalah jarak dalam meter dengan nilai d yang digunakan lebih dari 10meter dan kurang dari 1000meter. Untuk f_c merupakan frekuensi tengah dari frekuensi kerja dalam satuan (GHz). Untuk skema *outdoor* dengan kondisi LOS

$$PL = 40log10(d) + 7.8 - 18log10(h_{bs}) - 18log10(h_{ut}) + 2log10(fc) \quad (7)$$

dimana d adalah jarak dalam meter dengan nilai d lebih dari 1000meter dan kurang dari 5000meter. Parameter h_{bs} adalah tinggi antenna eNodeB atau AP dengan asusmsi tingginya adalah 10 meter. Selanjutnya parameter h_{ut} adalah tinggi antenna receiver (UE/STA) diasumsikan setinggi 1,5meter. Paratemer f_c dalam persamaan ini masih sama yaitu frekuensi tengah dari frekuensi kerja dalam (GHz).

Untuk skema *outdoor* dengan kondisi kanal radio *Non Line of Sight*, perhitungan nilai *pathloss* dinyatakan dalam Persamaan 8.

$$PL = 36.7log10(d) + 22.7 + 26log10(fc) \quad (8)$$

dimana d adalah jarak dalam meter dengan nilai d lebih dari 10meter dan kurang dari 2000m. Dan f_c menyatakan frekuensi tengah dari frekuensi kerja dengan satuan (GHz).

Tabel 1 Nilai dari Parameter Simulasi [10]

Parameter	LTE-*Unlicensed*	Wi-Fi
Frekuensi (Frekuensi Tengah)	5,735GHz	5,755GHz
Bandwitdth	20MHz	20MHz
Tx *Power*	17dBm (*Indoor*) 30dBm (*Outdoor*)	17dBm (*Indoor*) 30dBm (*Outdoor*)
Gain Anntena	5dBi	5dBi
Min SINR	-10dB	-2dB
Interference Threshold	18dB	20,3dB
Noise Figure	5dB	9dB
Noise Bandwidth	18MHz	18MHz
ACS	43dB	22dB-29dB
ACLR	45dB	26.3dB

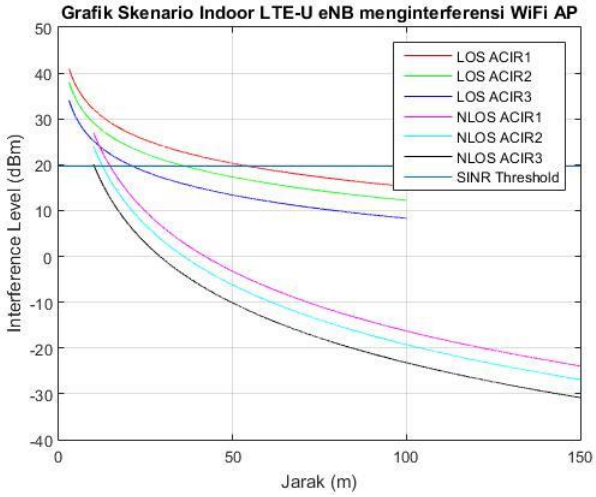
3. Pembahasan

3.1 Skema *Indoor Deployment* LTE-U eNB Sebagai Penginterferensi

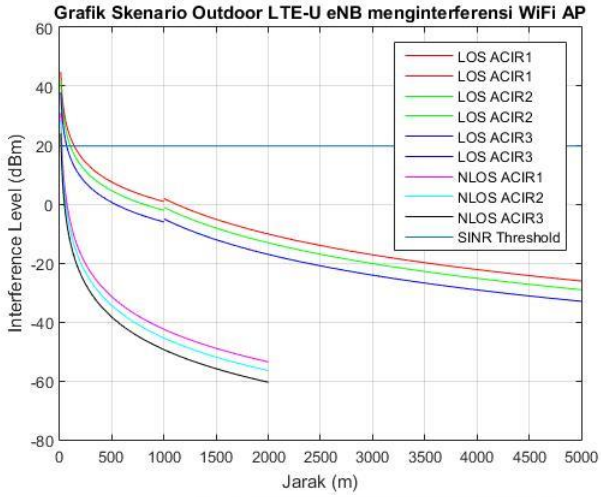
Skenario *indoor deployment* dianggap LTE-U eNodeB sebagai sistem penginterferensi dan Wi-Fi AP sebagai sistem terinterferensi. Dalam *deployment* ini terbagi menjadi dua kondisi, yaitu kondisi *Line of Sight* (LOS) dan

kondisi *Non-Line of Sight* (NLOS). Pada Gambar 4.2 kondisi LOS diperlihatkan dari jarak yang digunakan, yaitu 3meter sampai dengan 100meter. Sedangakan kondisi NLOS dapat dilihat dari jarak yaitu 10meter sampai dengan 150meter.

Terdapat tiga garis eksponensial untuk setiap kondisi LOS dan NLOS. Hal ini disebabkan oleh nilai ACIR yang digunakan dalam perhitungan *Interference Level* memiliki tiga nilai yang berbeda, maka terdapat tiga garis masing-masing untuk kondisi LOS dan NLOS. Nilai ACIR tersebut didapat dari nilai ACS dari Wi-Fi AP adalah 22dB, 25dB dan 29dB dan ACLR dari LTE-U eNB adalah 45dBc, dengan nilai ACIR yang didapatkan 21.98dB, 24.96dB, 28.89dB dari Tabel 3.2.



Gambar 6 Grafik Skenario Indoor LTE-U eNodeB menginterferensi Wi-Fi AP



Gambar 7 Grafik Skenario Outdoor LTE-U eNodeB menginterferensi Wi-Fi AP

Pada Gambar 6 nilai *Interference Level* yang tidak melebihi nilai SINRmaks didapatkan jarak minimal yang dibutuhkan antara LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP pada kondisi LOS adalah 30m, 51m, 76m dan pada kondisi NLOS adalah 11m, 15m, 17m. Semakin jauh jarak minimal yang dibutuhkan, *Interference Level* yang dihasilkan akan semakin kecil.

Untuk skema ini terdapat tiga nilai ACIR, dapat dilihat pada Gambar 4.1 bahwa semakin besar nilai ACIR, maka semakin kecil jarak yang dibutuhkan oleh LTE-U dan Wi-Fi agar tidak saling menginterferensi satu sama lain.

3.2 Skema *Outdoor Deployment* LTE-U eNB Sebagai Penginterferensi

Skenario *outdoor deployment* dianggap LTE-U sistem penginterferensi dan Wi-Fi AP sebagai sistem terinterferensi. Dalam *deployment* ini terbagi menjadi dua kondisi yaitu *Line of Sight* (LOS) dan kondisi *Non-Line of Sight* (NLOS). Pada Gambar 4.2 kondisi LOS dapat dilihat dari jarak yang digunakan, yaitu 10 meter sampai dengan 5000meter.sedangkan kondisi NLOS jarak yang digunakan yaitu 10meter sampai dengan 2000meter. Untuk kondisi LOS, terdapat dua model propagasi yang digunakan sehingga pada gambar grafik terlihat terputus pada jarak 1000meter. Karena untuk kondisi LOS model propagasi yang pertama menggunakan jarak 10meter sampai dengan 1000 meter dan model propagasi yang selanjutnya menggunakan jarak 1000meter sampai dengan 5000 meter.

Terdapat tiga garis eksponensial untuk seetiap kondisi LOS dan NLOS, hal ini disebabkan oleh nilai ACIR yang digunakan memiliki tiga nilai yang berbeda. Parameter ACS, ACLR dan ACIR masih sama dengan skenario sebelumnya. Nilai ACIR yaitu 21.98dB, 24.96dB, 28.89dB didapatkan dari Tabel 3.2.

Jarak minimal yang dibutuhkan antara LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP pada kondisi LOS adalah 78m, 118m, 161m dan pada kondisi NLOS adalah 39m, 55m, 70m. Semakin jauh jarak minimal yang dibutuhkan, *Interference Level* yang dihasilkan akan semakin kecil.

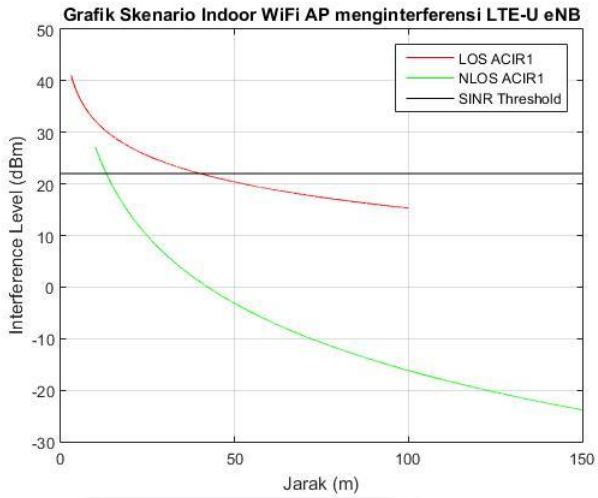
Pengaruh nilai ACIR terhadap jarak minimal yang dibutuhkan oleh kedua teknologi ini adalah, semakin besar nilai ACIR yang didapatkan, maka semakin kecil jarak yang dibutuhkan oleh LTE-U dan Wi-Fi agar dapat berkoeksistensi satu sama lain.

3.3 Skema *Indoor Deployment* Wi-Fi AP Sebagai Penginterferensi

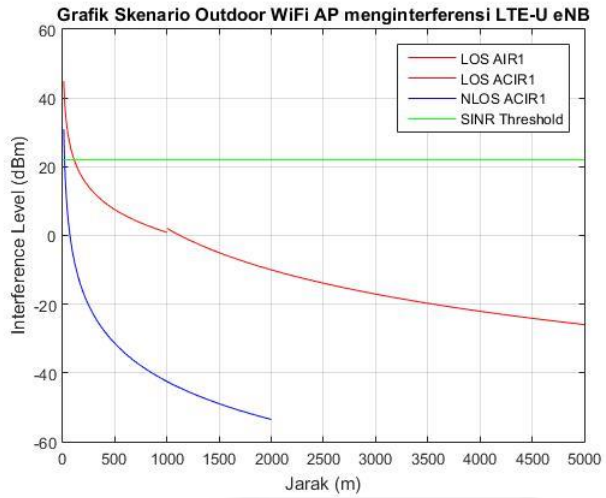
Skenario *indoor deployment* dianggap Wi-Fi AP sebagai sistem penginterferensi dan LTE-U eNodeB sebagai sistem terinterferensi. Dalam *deployment* ini terbagi menjadi dua kondisi, yaitu kondisi *Line of Sight* (LOS) dan kondisi *Non-Line of Sight* (NLOS). Pada Gambar 8 garis berwarna merah merupakan *Interference Level* berdasarkan kondisi LOS dari jarak yang digunakan, yaitu 3meter sampai dengan 100meter. Untuk garis berwarna hijau merupakan *Interference Level* terhadap jarak dengan kondisi NLOS, dengan jarak yang digunakan yaitu 10 meter sampai dengan 150meter.

Untuk mementukan jarak minimal yang dibutuhkan berdasarkan grafik pada Gambar 8, misal untuk garis berwarna merah menyatakan *Interference Level* berdasarkan kondisi LOS terhadap jarak, terdapat garis *threshold* maksimum SINR berwarna hitam. Saat garis *Interference Level* beririsan dengan garis *threshold* dengan nilai 22dB, maka diposisi tersebut adalah jarak minimal yang dibutuhkan antara LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP dengan skenario *deployment indoor* kondisi LOS.

Nilai ACLR dari Wi-Fi AP adalah 26.35dB dan ACS dari LTE-U eNB adalah 43dBc, dengan nilai ACIR yang didapatkan 26.2dB dari Tabel 3.2. Berdasarkan penjelasan sebelumnya untuk menentukan jarak minimal yang dibutuhkan antara LTE-U eNB dan Wi-Fi AP, maka jarak minimal untuk kondisi LOS adalah 24m dan pada kondisi NLOS adalah 11m.



Gambar 8 Grafik Skenario Indoor Wi-Fi AP menginterferensi LTE-U eNodeB



Gambar 9 Grafik Skenario Outdoor Wi-Fi AP menginterferensi LTE-U eNodeB

3.4 Skema *Outdoor Deployment* Wi-Fi AP Sebagai Penginterferensi

Skenario *outdoor* dianggap Wi-Fi AP sebagai sistem penginterferensi dan LTE-U eNodeB sebagai sistem terinterferensi. Dalam *deployment* ini terbagi menjadi dua kondisi, yaitu kondisi *Line of Sight* (LOS) dan kondisi *Non-Line of Sight* (NLOS). Kondisi LOS diperlihatkan dari jarak yang digunakan yaitu 10 meter sampai dengan 5000 meter. Sedangkan kondisi NLOS menggunakan parameter jarak dari 10 meter sampai dengan 2000meter. Untuk model propagasi *outdoor* kondisi LOS, terdapat dua model propagasi yang dibedakan berdasarkan jarak, model propagasi pertama menggunakan jarak 10 meter sampai dengan 1000 meter, selanjutnya model propagasi kedua menggunakan jarak 1000 meter sampai dengan 5000 meter, hal ini menyebabkan Pada Gambar 4.4 garis berwarna merah yang menyatakan *Interference Level* terhadap jarak terlihat terputus pada jarak 1000meter.

Untuk mementukan jarak minimal yang dibutuhkan berdasarkan grafik pada Gambar 4.4, misal untuk garis berwarna merah menyatakan *Interference Level* berdasarkan kondisi LOS terhadap jarak, terdapat garis *threshold* maksimum SINR berwarna hijau. Saat garis *Interference Level* beririsan dengan garis *threshold* dengan nilai 22dB, maka diposisi tersebut adalah jarak minimal yang dibutuhkan antara LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP dengan skenario *deployment indoor* kondisi LOS.

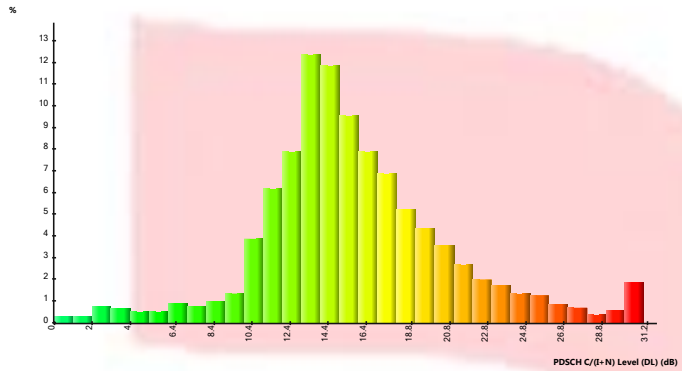
Pada Gambar 9 merupakan skenario *outdoor* untuk LTE-U eNB sebagai penginterferensi. Jarak minimal yang dibutuhkan antara LTE-U eNB dan Wi-Fi AP pada kondisi LOS adalah 194m dan pada kondisi NLOS adalah 34m.

3.5 Simulasi *Software*

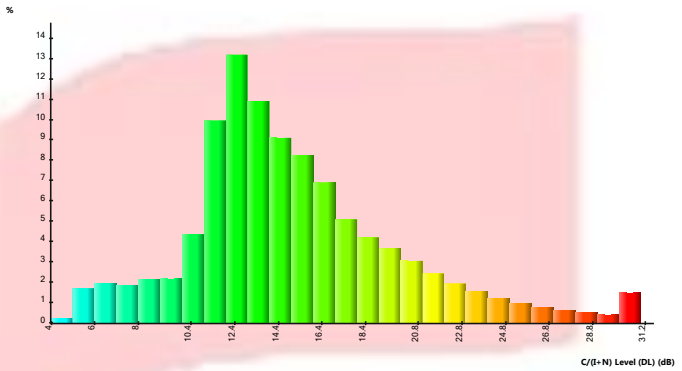
Setelah didapatkan jarak minimal antara LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP dengan skenario *indoor* kondisi LOS dan NLOS, serta skenario *outdoor* kondisi LOS dan NLOS, dengan jarak minimal tersebut dilakukan perencaan sederhana pada *software* Atoll untuk deployement *outdoor* dan *software* RPS untuk *deployment indoor*. Jarak minimal yang digunakan dalam simulasi *software* adalah kondisi *indoor* LOS dan kondisi *outdoor* LOS. Kondisi sistem penginterferensi dan sistem yang terinterferensi tidak digunakan dalam simulasi dengan *software* ini.

Simulasi dengan *software* Atoll untuk *outdoor deployement* parameter yang ditinjau adalah nilai CINR sedangkan simulasi dengan *software* RPS untuk *indoor deployement* parameter yang ditinjau adalah nilai SIR. Dalam simulasi dengan *software* ini diambil jarak minimum yang sudah didapatkan dari hasil perhitungan, yaitu untuk *outdoor deployement* jarak yang direkomendasikan untuk LOS adalah dalam rentang 78m-194m, sedangkan untuk *indoor deployment* jarak yang direkomendasikan untuk LOS adalah dalam rentang 24m-76m. Penggunaan *software* untuk simulasi ini mengambil jarak minimum dari rentang jarak yang direkomenasikan akan didapatkan histogram CINR dan histogram SIR dan dianggap sebagai parameter SINR Threshold

Hasil simulasi *software* Atoll untuk *outdoor deployement*, perencanaan LTE-U eNode B dan Wi-Fi AP pada *software* Atoll dengan jarak antara kedua sistem tersebut adalah 51m. Dengan jarak minimal ini didapatkan hasil histogram CINR dari LTE-U eNodeB pada Gambar 10 dan histogram CINR WiFi AP pada Gambar 11.



Gambar 10 CINR LTE-U eNodeB

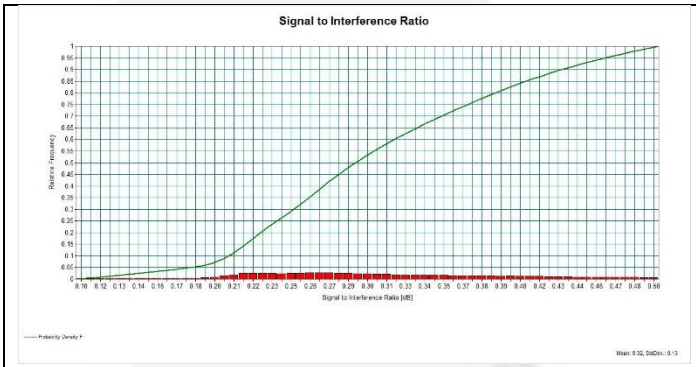


Gambar 11 CINR Wi-Fi AP

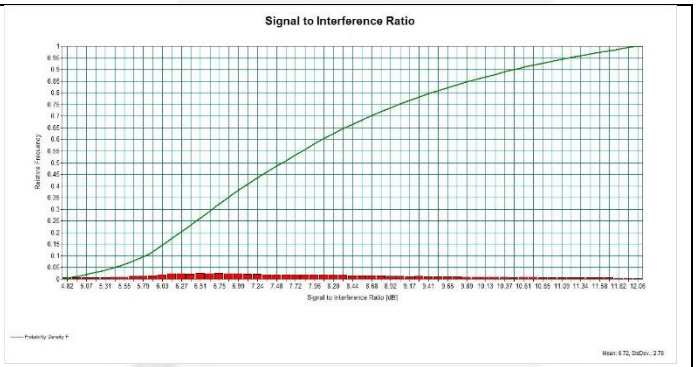
Dari Gambar 10 dapat dilihat bahwa CINR Level paling besar adalah 13dB dengan persentase 12,3% dan 14dB dengan persentase 11,8%. Minimum CINR yang didapat adalah 0dB. dengan rata-rata nilai CINR adalah 15,62dB. Pada Gambar 11 adalah CINR Level untuk Wi-Fi AP. CINR Level dengan nilai 12dB memiliki persentase 13,1% sedangkan 13dB 10,9%. Nilai CINR minimal yang didapatkan adalah 4dB. Dengan rata-rata nilai CINR adalah 15,4dB. Jarak minimal antara LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP adalah 78m sesuai dengan hasil perhitungan yang didapatkan dari skenario *outdoor deployment* dengan kondisi LOS. Simulasi yang dilakukan dengan jarak kurang dari 78m menyebabkan simulasi tidak bisa dilakukan oleh *software* karena *Interference Level* berada di bawah *threshold* yang ditetapkan.

Hasil simulasi *software* RPS untuk *indoor deployment* perencanaan LTE-U eNode B dan Wi-Fi AP dengan jarak antara kedua sistem tersebut adalah 24m. Dengan jarak minimal ini didapatkan hasil histogram SIR dari LTE-U eNodeB pada Gambar 12 dan histogram SIR WiFi AP pada Gambar 13.

Kondisi SIR dapat dilihat pada gambar mean SIR dengan jarak antara LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP 24m adalah 0.32dB



Gambar 12 SIR LTE-U eNodeB dan Wi-Fi pada jarak 24m



Gambar 13 SIR LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP pada jarak 76 meter

Sedangkan untuk SIR Wi-Fi AP dan LTE-U eNodeB dengan jarak 76meter didapatkan nilai mean SIR 6.72dB pada Gambar 13

4. Kesimpulan

Berdasarkan teori perhitungan, simulasi dan analisis pada koeksistensi LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP pada tugas akhir ini, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai ACIR pada saat LTE-U eNodeB sebagai penginterferensi lebih besar daripada Wi-Fi AP sebagai penginterferensi, hal ini disebabkan lebih besarnya nilai ACLR untuk LTE-U eNodeB daripada ACLR untuk Wi-Fi AP yang mengakibatkan *interference leakage* terdahap sistem yang terinterferensi oleh LTE-U eNodeB lebih rendah daripada sistem yang terinterferensi oleh Wi-Fi AP.
2. Dengan nilai ACIR yang lebih besar, jarak minimum LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP untuk skenario *outdoor* LOS untuk LTE-U eNodeB sebagai penginterferensi adalah 78m sedangkan saat Wi-Fi AP sebagai penginterferensi adalah 194m. Untuk skenario *indoor* LOS LTE-U eNodeB sebagai penginterferensi jarak minimumnya adalah 30m, sedangkan saat Wi-Fi AP sebagai penginterferensi adalah 24m.

3. Pada kondisi *outdoor* dan *indoor*, LOS maupun NLOS, baik pada saat LTE-U ataupun Wi-Fi sebagai penginterferensi tidak terjadi perbedaan yang cukup signifikan terhadap jarak minimal yang dibutuhkan kedua teknologi ini. Tetapi LTE-U eNodeB sebagai penginterferensi menyebabkan interferensi yang tidak lebih buruk daripada daripada Wi-Fi AP sebagai penginterferensi. Dilihat dari jarak minimal yang dibutuhkan Wi-Fi AP sebagai penginterferensi membutuhkan jarak minimal lebih besar daripada LTE-U eNodeB.
4. Pada Skenario 3.5.1 dan Skenario 3.5.2 yang telah dilakukan, semakin besar nilai ACIR yang didapatkan jarak minimal antara LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP akan semakin kecil.
5. Dengan menggunakan jarak minimal dan disimulasikan kedalam *software* Atoll dan RPS, LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP dapat berkoeksistensi dengan jarak minimal yang sudah direkomendasikan yaitu 78m untuk *outdoor* dan 16m untuk *indoor* dengan kondisi LOS.
6. Untuk *outdoor deployment* nilai rata-rata CINR LTE-U eNodeB adalah 15,62dB dan nilai rata-rata CINR Wi-Fi AP adalah 15,4dB. Sedangkan untuk *indoor deployment* nilai rata-rata SIR LTE-U eNodeB dan Wi-Fi AP untuk jarak 24m adalah 0,32dB dan untuk jarak 76m adalah 6,72dB.

Daftar Pustaka

[1] Ericsson Mobility Report On The Pulse of The Network June 2016
[2] Ho, Quang-Dung. Tweed Daniel. Le-Ngoc,Tho. 2017. Long Term Evolution in Unlicensed Band. Switzerland: Springer International Publishing
[3] IEEE Computer Society. 2011. Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification. New York: IEEE
[4] IEEE Computer Society. 2011. Part11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specification. New York: IEEE
[5] Oudah, A. Seman,N. 2012 Coexistence and Sharing Studies of Collocated and Non-Collocated Fourth Generation Networks in the 2.6 GHz Band Journal of Theoritical Applied Information Technology
Dong Zhao, Ge Mang, Chunlei Hu. 2010. Interference Analysis and Coexistence Study for OFDM System. Wireless Network Technology Departement, China Telecom Beijing Research Institute
[6] J.Wang, D.Yang, R. Zheng dan X. Zhang, "Interference Analysis and Coexistence Studies between E-UTRA and UTRA system" Vehicular Technology Conference (VTC 2010-Spring) 2010 IEEE 71st no.1,pp.1-6,2010.]
[7] Sesia, Stefania dkk. 2009. *LTE : The UMTS Long Term Evolution, From Theory to Practice second edition.* United Kingdom : John Wiley and Sons ltd.
[8] 3GPP TR 36.843,"Study on LTE Device to Device Proximity Services, Radio Aspects, Release 12" V12.0.1 March 2014
[9] Man Hung Ng, Shen-De Lin, Li, Jimmy, Tatesh, Said, Alcatel-Lucent. 2009. Coexistence Studies for 3GPP LTE with Other Mobile Systems. IEEE Communication Magazine
[10] 3GPP R4-152178. 2015. "LAA Adjacent Channel Coexistence with Wi-Fi" Rio de Jenairo, Brazil