



## Analisis Koeksistensi Jaringan LTE Non Lisensi dan Wi-Fi Pada Frekuensi 5 GHz

Arum Rachmapramita<sup>1</sup>, Nachwan Mufti Adriansyah<sup>2</sup>, Budi Syihabuddin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Fakultas Teknik Elektro, Telkom University, Bandung

<sup>1,2,3</sup> Jl. Telekomunikasi No.1 Buah Batu, Bandung 40257, Indonesia

Email korespondensi: arumrachma@student.telkomuniversity.ac.id

Dikirim 14 Agustus 2017, Direvisi 30 Agustus 2017, Diterima 30 Agustus 2017

**Abstrak** – Untuk memenuhi permintaan kebutuhan trafik layanan internet yang akan terjadi pada 2020, penggunaan spektrum harus dilakukan secara maksimal. Pemanfaatan spektrum frekuensi non-lisensi oleh teknologi LTE-Unlicensed atau LTE Non-Lisensi dapat memenuhi permintaan kebutuhan trafik. Tetapi, spektrum frekuensi non-lisensi sudah terlebih dahulu digunakan oleh teknologi Wi-Fi, maka teknologi LTE Non-Lisensi harus dapat beradaptasi dan berkoeksistensi dengan Wi-Fi. Penelitian ini akan membahas jarak minimum yang dibutuhkan oleh eNodeB LTE Non-Lisensi dan *Access Point* Wi-Fi agar kedua teknologi ini dapat berkoeksistensi dengan kondisi *indoor* LOS dan NLOS serta *outdoor* LOS dan NLOS. Koeksistensi ditinjau dari nilai ACIR antara kedua teknologi tersebut. Berdasarkan hasil penelitian, jarak minimum untuk *indoor* adalah 16 meter sampai 35 meter dengan kondisi LOS dan *outdoor* adalah 51 meter sampai dengan 199 meter dengan kondisi LOS. Nilai SINR *threshold* adalah 22 dB untuk LTE Non-Lisensi dan 19,7 dB untuk Wi-Fi. Dari hasil simulasi didapatkan nilai rata-rata CINR untuk *outdoor* adalah 15 dB, sedangkan untuk *indoor* nilai SIR rata-rata adalah 0,62 dB.

**Kata kunci** – Spektrum Frekuensi Non-Lisensi, Koeksistensi, LTE Non-Lisensi, Wi-Fi, ACIR

**Abstract** - By the 2020 the traffic internet demand will be increasing, so that the utilization of spectrum frequency should be maximize and use widely. LTE-U which is using unlicensed spectrum frequency may be option to fulfil the demand of the internet traffic. Unfortunately, it has to adapt and coexistence with Wi-Fi which already exist in unlicensed spectrum frequency. This research talks about the minimum distance needed so that LTE-U eNodeB and Wi-Fi can be coexistence in indoor and outdoor deployment LOS and NLOS condition. The coexistence was analyzed in ACIR value. The result shows that the minimum distance needed is in range 16-35 m for indoor deployment. In the other hand, 51-199 m for outdoor deployment. With software simulation in 51 m distance the mean CINR value is 15 dB and for 16 m distance the mean SIR value is 0.62 dB.

**Keywords** - Unlicensed Spectrum, Coexistence, LTE-Unlicensed, Wi-Fi, ACIR

### I. PENDAHULUAN

Peningkatan permintaan trafik antara tahun 2015-2021 diprediksi hampir 4 kali lipat di seluruh dunia [1]. Untuk memenuhi permintaan tersebut, salah satu cara yang dilakukan adalah dengan memanfaatkan spektrum frekuensi secara maksimal. Spektrum frekuensi merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui, maka dari itu para peneliti berusaha untuk menggunakan spektrum frekuensi secara efektif dan efisien.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menggunakan spektrum frekuensi secara efektif dan

efisien adalah dengan cara koeksistensi antara dua teknologi yang berbeda dengan menggunakan spektrum frekuensi yang sama atau berdekatan, seperti koeksistensi antara E-UTRA dengan UTRA [2]. Sistem E-UTRA dan UTRA ini dapat berkoeksistensi dengan menggunakan kanal frekuensi yang bersebelahan dengan mempertimbangkan skenario *deployment*, *bandwidth* yang digunakan, serta *power control* pada sistem UTRA [2].

Pada teknologi LTE berlisensi menggunakan spektrum frekuensi pada rentang frekuensi 700MHz-2600MHz, spektrum frekuensi ini sangat terbatas dan relatif mahal [3]. Maka dari itu penggunaan spektrum

frekuensi non-lisensi untuk teknologi LTE sedang direncanakan.

Untuk meningkatkan kapasitas spektrum frekuensi non-lisensi, sebelumnya telah diterapkan metode *traffic offload* dari LTE ke *Access Point* (AP) Wi-Fi. Namun penggunaan Wi-Fi untuk *traffic offload* ini tidak memenuhi *network performance improvements* dan tidak menurunkan *cost* [3]. Alasan *traffic offload* ini tidak mendapatkan hasil yang diinginkan salah satunya adalah kurang baiknya performansi teknologi Wi-Fi dan koordinasi yang tidak saling menguntungkan antara teknologi LTE dan Wi-Fi [3].

Beberapa penelitian telah dilakukan analisis tentang penggunaan spektrum non-lisensi untuk teknologi LTE, spektrum non-lisensi yang dapat digunakan yaitu pada frekuensi 5GHz yang telah digunakan oleh teknologi Wi-Fi. Pada [4], metode koeksistensi yang digunakan adalah *Listen Before Talk* antara LTE non-lisensi dengan Wi-Fi pada frekuensi 5GHz. Selain itu, pada penelitian [5], sistem Wi-Fi yang menginterferensi sistem Wi-Fi yang lain dengan operator yang berbeda menyebabkan interferensi *adjacent channel* yang lebih buruk daripada sistem LTE non-lisensi yang menginterferensi sistem Wi-Fi. Interferensi *adjacent channel* yang dilakukan pada penelitian [5] menggunakan kanal frekuensi yang bersebelahan, dengan nilai yang ditinjau adalah *Adjacent Channel Interference Power Ratio* (ACIR).

Pada jurnal ini dilakukan analisis tentang koeksistensi antara LTE dan Wi-Fi berdasarkan penempatan letak eNodeB LTE non-lisensi dan *Access Point* (AP) Wi-Fi serta meninjau interferensi *adjacent channel* yang terjadi antara LTE non-lisensi dan Wi-Fi. Selain menghitung penempatan letak minimal antar eNodeB LTE non-lisensi dan AP Wi-Fi juga dilakukan simulasi untuk mendapatkan jarak minimum. Diharapkan penggunaan frekuensi yang sama dengan jenis teknologi yang berbeda dapat dilakukan, sehingga penggunaan spektrum frekuensi lebih maksimal dan dapat memenuhi kebutuhan kapasitas trafik yang selalu meningkat.

## II. METODE PENELITIAN

Pada bagian ini menjelaskan tentang hal-hal yang dilakukan untuk mendapatkan jarak minimum antara eNode B LTE non-lisensi dengan AP dari Wi-Fi. Pertama dilakukan pemodelan interferensi intersistem dengan cara menghitung level daya interferensi. Kemudian menghitung *Adjacent Channel Interference Power Ratio* (ACIR) dari nilai *Adjacent Channel Leakage Ratio* (ACLR). Setelah mendapatkan nilai level daya interferensi dan ACIR, dilakukan pemodelan propagasi dengan menggunakan propagasi Line of Sight (LOS) dan Non-Line of Sight (NLOS). Dari model propagasi ini didapatkan jarak secara perhitungan yang kemudian disimulasikan untuk melihat performa dari koeksistensi antara LTE non-lisensi dengan Wi-Fi pada frekuensi 5 GHz.

### A. Pemodelan Interferensi Intersistem

Nilai interferensi dihitung menggunakan persamaan 1 dengan IL adalah interference Level Power ditinjau pada sistem yang terinterferensi dengan satuan yang digunakan adalah 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 [2] [6] [7].

$$IL = P_{Tx} + G_{Tx} + G_{Rx} - ACIR - PL - I_{MAX} \quad (1)$$

$I_{MAX}$  adalah interferensi maksimum dengan nilai 0-7 dB lebih rendah daripada *noise floor* eNodeB ataupun *Access Point* Wi-Fi [2]. Sedangkan untuk *Receiver Noise Floor* ( $N$ ) didefinisikan pada persamaan 2, dengan BW adalah *bandwidth* dalam Hz yang digunakan oleh teknologi LTE Non-Lisensi ataupun Wi-Fi, NF adalah *noise figure* pada sisi terinterferensi.

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

### B. Perhitungan ACIR

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

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

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

### C. Model Propagasi

Model propagasi yang digunakan untuk mendapatkan nilai redaman lintasan menggunakan skema *indoor* dengan kondisi LOS dan Non-LOS serta kondisi *outdoor* dengan kondisi LOS dan Non-LOS.

Model propagasi ini berdasarkan rekomendasi ITU InH [8] [9] [10].

Untuk skema *indoor* dengan menganggap suatu sistem dikembangkan di dalam suatu ruangan, gedung maupun apartemen dengan kondisi kanal radio *Line of Sight* (LOS) dengan asumsi tanpa ada penghalang, persamaan untuk mendapatkan nilai *pathloss* dinyatakan dalam Persamaan 4. Parameter *d* adalah jarak dalam meter. Berdasarkan model propagasi rekomendasi ITU InH nilai *d* yang digunakan lebih dari 3 meter dan kurang dari 100 meter. Untuk  $f_c$  menyatakan frekuensi tengah dari frekuensi kerja dalam satuan (GHz).

$$PL_{INLOS} = 16,9 \log_{10}(d) + 32,8 + 20 \log_{10}(f_c) \quad (4)$$

Untuk skema *indoor* dengan kondisi kanal radio *Non-Line of Sight* (NLOS), dengan adanya penghalang di antara dua sistem, persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai *pathloss* dinyatakan dalam Persamaan 5, dimana *d* adalah jarak dalam meter. Berdasarkan rekomendasi ITU InH nilai *d* yang digunakan lebih dari 10 meter dan kurang dari 150 meter. Untuk  $f_c$  merupakan frekuensi tengah dari frekuensi kerja dalam satuan (GHz).

$$PL_{IN\_NLOS} = 43,4 \log_{10}(d) + 11,5 + 20 \log_{10}(f_c) \quad (5)$$

Parameter-parameter yang digunakan pada tulisan ini menggunakan parameter yang ada pada Tabel 1. Frekuensi yang digunakan adalah 5,745 GHz untuk sistem LTE Non Lisensi dan 5,755 GHz untuk sistem Wi-Fi.

Tabel 1. Parameter Sistem [9]

Parameter	LTE Non-Lisensi	Wi-Fi
Frekuensi Tengah	5,735GHz	5,755GHz
Bandwidth	20MHz	20MHz
Tx Power	17dBm ( <i>Indoor</i> ) 30dBm ( <i>Outdoor</i> )	17dBm ( <i>Indoor</i> ) 30dBm ( <i>Outdoor</i> )
Gain Antena	5dBi	5dBi
Min SINR	-10dB	-2dB
SINR Threshold	22dB	19,7dB
Noise Figure	5dB	9dB
Noise Bandwidth	18MHz	18MHz
ACS	43dB	22dB-29dB
ACLR	45dB	26.3dB

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

$$PL_{OUT\_LOS\_Dekat} = 22 \log_{10}(d) + 28 + 20 \log_{10}(f_c) \quad (5)$$

$$PL_{OUT\_LOS\_Jauh} = 40 \log_{10}(d) + 7,8 + 18 \log_{10}(h_{bs}) - 18 \log_{10}(h_{ut}) + 20 \log_{10}(f_c) \quad (6)$$

Untuk skema *outdoor* dengan kondisi LOS, dimana *d* adalah jarak dalam meter dengan nilai *d* lebih dari 1000 meter dan kurang dari 5000 meter. Parameter  $h_{bs}$  adalah tinggi antenna eNodeB atau AP dengan asumsi tingginya adalah 10 meter. Selanjutnya parameter  $h_{ut}$  adalah tinggi antenna receiver (UE/STA) diasumsikan setinggi 1,5 meter. Parameter  $f_c$  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, dimana *d* adalah jarak dalam meter dengan nilai *d* lebih dari 10 meter dan kurang dari 2000 meter, dan  $f_c$  menyatakan frekuensi tengah dari frekuensi kerja dengan satuan (GHz).

$$L_{OUT\_NLOS} = 36,7 \log_{10}(d) + 22,7 + 26 \log_{10}(d) \quad (8)$$

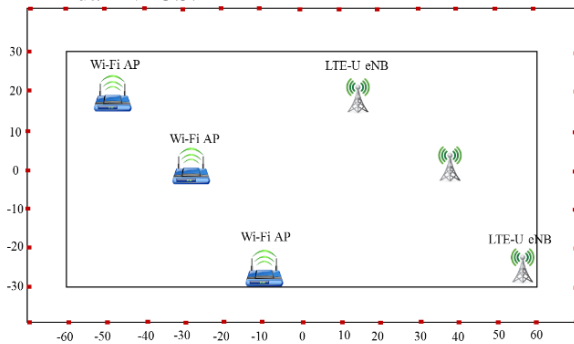
#### D. Skenario Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan jarak minimum antara eNodeB LTE Non-Lisensi dan AP Wi-Fi agar kedua teknologi ini dapat koeksistensi satu sama lain. Tujuan selanjutnya adalah menganalisis pengaruh Interferensi *adjacent channel* terhadap perubahan jarak minimum antara eNodeB LTE Non-Lisensi dan AP Wi-Fi.

Skenario yang digunakan pada antara lain:

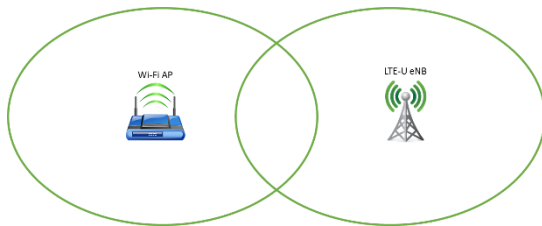
- eNode B LTE Non-Lisensi sebagai penginterferensi dan AP Wi-Fi sebagai terinterferensi, dengan *deployment indoor* pada kondisi LOS dan NLOS.
- eNode B LTE Non-Lisensi sebagai penginterferensi dan AP Wi-Fi sebagai terinterferensi, dengan *deployment outdoor* pada kondisi LOS dan NLOS.
- AP Wi-Fi sebagai penginterferensi dan eNode B LTE Non-Lisensi sebagai terinterferensi, dengan *deployment indoor* pada kondisi LOS dan NLOS.
- AP Wi-Fi sebagai penginterferensi dan eNode B LTE Non-Lisensi sebagai terinterferensi,

dengan *deployment outdoor* pada kondisi LOS dan NLOS.



Gambar 1. *Indoor Deployment*

Gambar 1 merupakan asumsi untuk skenario (a) dan skenario (c). Pada *indoor deployment* dianggap ukuran ruangan atau gedung adalah 120 meter x 60 meter. Gambar 2 merupakan asumsi untuk skenario (b) dan skenario (d) untuk *outdoor deployment* eNode B LTE Non-Lisensi dan AP Wi-Fi akan ditempatkan di ruangan terbuka dengan densitas penduduk urban.



Gambar 2. *Outdoor Deployment*

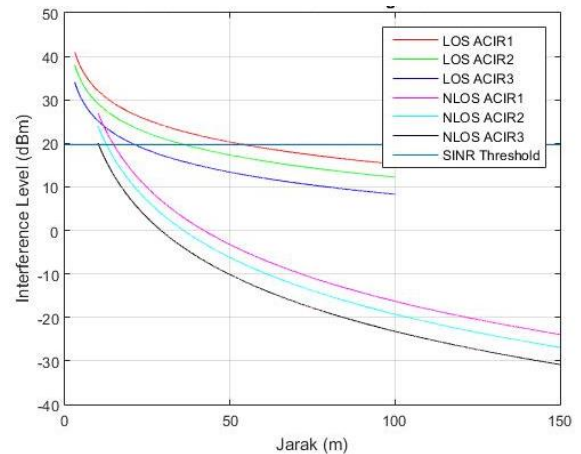
### III. HASIL PENELITIAN

Pada bagian ini dibahas hasil dari skenario yang telah dirancang sebelumnya. Hasil ini merupakan grafik hasil perhitungan deterministik, didapatkan jarak minimum yang dibutuhkan untuk eNode B LTE Non-Lisensi dan AP Wi-Fi. Dengan eNode B LTE Non-Lisensi sebagai sistem penginterferensi dan AP Wi-Fi sebagai sistem terinterferensi maupun sebaliknya.

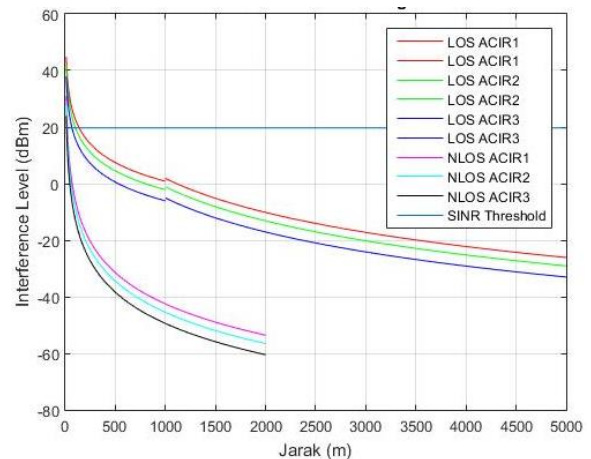
Gambar 3 merupakan hasil skenario *indoor* eNodeB LTE Non-Lisensi sebagai penginterferensi dan AP Wi-Fi sebagai sistem terinterferensi. Pada Gambar 3 nilai *Interference Level* yang tidak melebihi nilai *SINR*<sub>maks</sub> didapatkan jarak minimal yang dibutuhkan antara eNode B LTE Non-Lisensi dan AP Wi-Fi pada kondisi LOS adalah 16 meter – 43 meter dan pada kondisi NLOS adalah 9 meter sampai 13 meter. Semakin jauh jarak minimal yang dibutuhkan, *Interference Level* yang dihasilkan akan semakin kecil.

Selanjutnya hasil skenario *outdoor* eNodeB LTE Non-Lisensi sebagai penginterferensi dan AP Wi-Fi sebagai sistem terinterferensi dapat dilihat dari Gambar 4. Jarak minimal yang dibutuhkan antara eNodeB LTE Non-Lisensi dan AP Wi-Fi pada kondisi LOS adalah 51 meter – 106 meter dan pada kondisi NLOS adalah 27 meter - 49 meter. 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 Non-Lisensi dan Wi-Fi agar dapat berkoeksistensi satu sama lain.



Gambar 3. Grafik Skenario *Indoor* LTE-U Enodeb Menginterferensi AP Wi-Fi

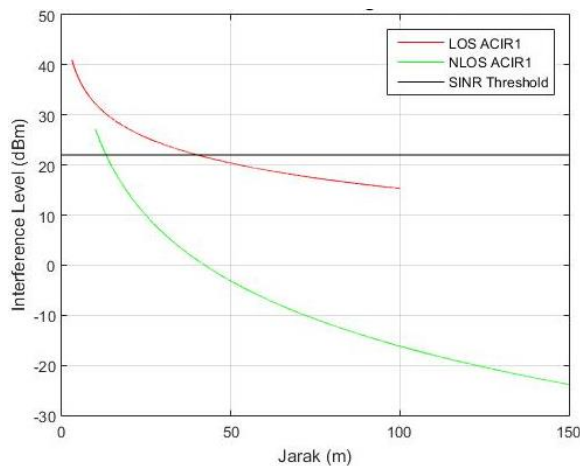


Gambar 4. Grafik Skenario *Outdoor* LTE-U Enodeb Menginterferensi AP Wi-Fi

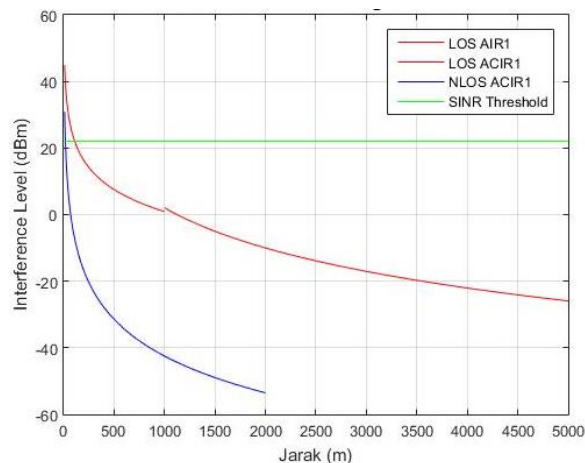
Gambar 5 merupakan hasil skenario *indoor* AP Wi-Fi sebagai penginterferensi dan eNodeB LTE Non-Lisensi sebagai sistem terinterferensi. Untuk garis berwarna merah menyatakan *Interference Level* berdasarkan kondisi LOS terhadap jarak, terdapat garis *threshold* maksimum *SINR* berwarna hitam. Saat garis *Interference Level* beririsan dengan garis *threshold* dengan nilai 22dB, maka di posisi tersebut adalah jarak minimal yang dibutuhkan antara LTE Non-Lisensi eNodeB dan AP Wi-Fi dengan skenario *deployment indoor* kondisi LOS yaitu jarak minimal untuk kondisi LOS adalah 25 meter dan pada kondisi NLOS adalah 11 meter.

Skenario terakhir yaitu *outdoor* AP Wi-Fi sebagai penginterferensi dan eNodeB LTE Non-Lisensi sebagai sistem terinterferensi. Pada Gambar 6 garis berwarna merah yang menyatakan *Interference Level* terhadap jarak terlihat terputus pada jarak 1000 meter.

Jarak minimal yang dibutuhkan antara eNodeB LTE Non-Lisensi dan AP Wi-Fi pada kondisi LOS adalah 199 meter dan pada kondisi NLOS adalah 35 meter.



Gambar 5. Grafik Skenario Indoor AP Wi-Fi Menginterferensi Enodeb LTE Non-Lisensi



Gambar 6. Grafik Skenario Outdoor AP Wi-Fi Menginterferensi Enodeb LTE Non-Lisensi

#### IV. PEMBAHASAN

Dalam pembahasan dibahas lebih detail tentang hasil pada Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Pada Gambar 3 merupakan skenario a), kondisi LOS diperlihatkan dari jarak yang digunakan, yaitu 3 meter sampai dengan 100 meter. Sedangkan kondisi NLOS dapat dilihat dari jarak yaitu 10 meter sampai dengan 150 meter. 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, karena nilai ACS Wi-Fi berada dalam range 22dB-29dB, diambil nilai 22dB, 26dB, dan 29dB. Sehingga terdapat tiga garis masing-masing untuk kondisi LOS dan NLOS.

Selanjutnya Gambar 4 merupakan skenario b), untuk skenario ini terdapat tiga nilai ACIR, dapat dilihat pada Gambar 4 bahwa semakin besar nilai ACIR, maka semakin kecil jarak yang dibutuhkan oleh

LTE Non-Lisensi dan Wi-Fi agar tidak saling menginterferensi satu sama lain.

Gambar 4 kondisi LOS dapat dilihat dari jarak yang digunakan, yaitu 10 meter sampai dengan 5000 meter. Sedangkan kondisi NLOS jarak yang digunakan yaitu 10 meter sampai dengan 2000 meter. Untuk kondisi LOS, terdapat dua model propagasi yang digunakan sehingga pada gambar grafik terlihat terputus pada jarak 1000 meter. Karena untuk kondisi LOS model propagasi yang pertama menggunakan jarak 10 meter sampai dengan 1000 meter dan model propagasi yang selanjutnya menggunakan jarak 1000 meter sampai dengan 5000 meter.

Skenario c) ditunjukkan oleh Gambar 5, terdapat garis berwarna merah merupakan *Interference Level* berdasarkan kondisi LOS dari jarak yang digunakan, yaitu 3 meter sampai dengan 100 meter. Untuk garis berwarna hijau merupakan *Interference Level* terhadap jarak dengan kondisi NLOS, dengan jarak yang digunakan yaitu 10 meter sampai dengan 150 meter.

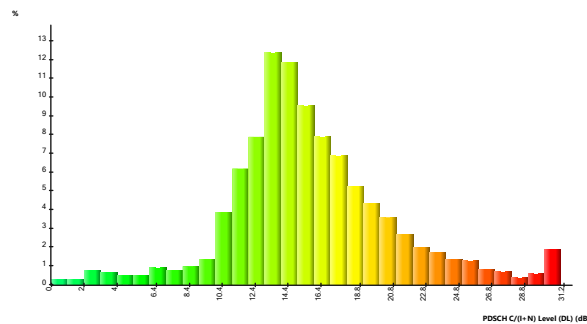
Pada Gambar 6 adalah skenario d) kondisi LOS diperlihatkan dari jarak yang digunakan yaitu 10 meter sampai dengan 5000 meter. Sedangkan kondisi NLOS menggunakan parameter jarak dari 10 meter sampai dengan 2000 meter. Untuk model propagasi outdoor kondisi LOS, terdapat dua model propagasi yang dibedakan 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.

Setelah didapatkan jarak minimal untuk setiap skenario a), b), c) dan d) dilakukan simulasi untuk melihat nilai CINR untuk *outdoor deployment* yaitu skenario b) dan d) serta SIR untuk *indoor deployment* yaitu skenario a) dan c).

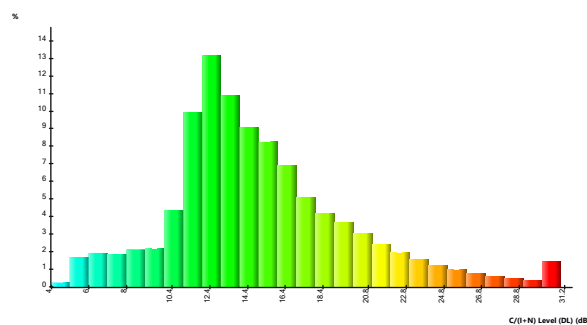
Pada Gambar 7 untuk *outdoor deployment*, perencanaan eNode B LTE Non-Lisensi dan AP Wi-Fi pada *software* Atoll dengan jarak antara kedua sistem tersebut adalah 51 meter. Dengan jarak minimal ini didapatkan hasil histogram CINR dari eNodeB LTE Non-Lisensi pada Gambar 7 dan histogram CINR Wi-Fi AP pada Gambar 8. Pada Gambar 8 adalah CINR Level untuk AP Wi-Fi. 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 51 meter sesuai dengan hasil perhitungan yang didapatkan dari skenario *outdoor deployment* dengan kondisi LOS. Simulasi yang dilakukan dengan jarak kurang dari 51 meter menyebabkan simulasi tidak bisa dilakukan oleh *software* karena *Interference Level* berada di bawah *threshold* yang ditetapkan.

Hasil simulasi *software* untuk *indoor deployment* perencanaan LTE-U eNode B dan AP Wi-Fi dengan jarak antara kedua sistem tersebut adalah 16 meter.

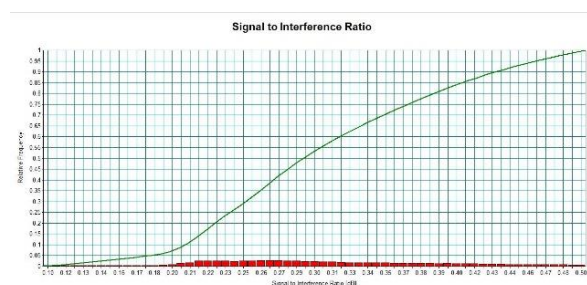
Dengan jarak minimal ini didapatkan hasil histogram SIR dari LTE-U eNodeB dan SIR Wi-Fi AP pada Gambar 10 Kondisi SIR dapat dilihat pada gambar mean SIR 0.32dB.



Gambar 7. CINR LTE-U eNodeB



Gambar 8. CINR AP Wi-Fi



Gambar 9. SIR LTE-U eNodeB dan Wi-Fi Pada Jarak 16 m

## V. PENUTUP

### A. Kesimpulan

Jarak minimum yang dibutuhkan untuk LTE Non-Lisensi eNodeB dan AP Wi-Fi untuk kondisi outdoor LOS adalah dalam range 27 meter sampai 199 meter.

Sedangkan untuk kondisi indoor adalah dalam range 9 meter sampai 43 meter.

### B. Saran

Koeksistensi antara Wi-Fi dan LTE-U tidak hanya ditinjau dari Interference Level layer fisik tetapi juga sudah masuk ke layer MAC Protokol untuk LTE-U dan Wi-Fi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ericsson, "Mobility Report June 2016," 2016.
- [2] J. Wang, D. Yang, R. Zheng, and X. Zhang, "Interference Analysis and Coexistence Studies between E-UTRA and UTRA Systems," *Veh. Technol. Conf. (VTC 2010-Spring)*, 2010 IEEE 71st, no. 1, pp. 1–6, 2010.
- [3] Huawei Technology Co. Ltd, "U-LTE: Unlicensed Spectrum Utilization of LTE," 2014.
- [4] B. Chen, J. Chen, Y. Gao, and J. Zhang, "Coexistence of LTE-LAA and Wi-Fi on 5 GHz with Corresponding Deployment Scenarios: A Survey," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 19, no. 1, pp. 7–32, 2017.
- [5] Ericsson, "Adjacent Channel Coexistence Studies in 5GHz LAA operation," 2015.
- [6] A. Oudah, T. A. B. D. Rahman, and N. Seman, "Coexistence and sharing studies of collocated and non- collocated fourth generation networks in the 2.6 GHZ band," *J. Theor. Appl. Inf. Technol.*, vol. 43, no. 1, pp. 112–118, 2012.
- [7] D. Zhao, G. Mang, and C. Hu, "Interference Analysis and Coexistence Study for OFDM System," no. 1, pp. 2–5.
- [8] 3GPP, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects (Release 9)," 2010.
- [9] I. Corporation, "LAA Adjacent Channel Coexistence with Wi-Fi," 2015.
- [10] 3GPP, "Technical Specification Group Radio Access Network; Study on LTE Device to Device Proximity Service; Radio Aspects (Release 12)," 2014.