



Simulasi Penggunaan Frekuensi *Milimeter Wave* Untuk Akses Komunikasi Jaringan *5G Indoor*

Toha Ardi Nugraha¹, Alfin Hikmaturokhman²

¹Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

²Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi, Sekolah Tinggi Teknologi Telematika Telkom Purwokerto

Email korespondensi: alfin@st3telkom.ac.id

Dikirim 2 Desember 2016, Direvisi 29 Desember 2016, Diterima 2 Januari 2017

Abstrak - Solusi untuk menanggulangi keterbatasan frekuensi dalam penerapan teknologi 5G adalah dengan menggunakan frekuensi pada domain tinggi yang disebut dengan *Milimeter Wave* (mmWave). Penelitian ini membahas alokasi pemilihan frekuensi mmWave dengan metode *empirical models* untuk model propagasi *indoor*. Penggunaan frekuensi mmWave disimulasikan pada model *indoor office environment*. Dari hasil simulasi dengan penempatan *Indoor Hotspot* (InH) pada setiap ruangan dengan ukuran dinding beton 5x5 meter, akan lebih efektif jika menggunakan frekuensi di domain 60 GHz, dibandingkan dengan frekuensi 38 GHz, 28 GHz, dan 5 GHz maupun frekuensi *unlicensed* 2,4 GHz. Rata-rata SIR yang paling bagus untuk frekuensi mmWave di 60 GHz, yaitu sebesar 33,97 dB dan rata-rata *received signals* adalah -73,87 dBm. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa perangkat InH menggunakan frekuensi rendah, kurang cocok diterapkan di dalam ruangan. Misalnya pada penggunaan frekuensi *unlicensed* 2,4 GHz dan mmWave 5 GHz, perangkat pada sisi *receiver* hanya mendapatkan rata-rata SIR masing-masing sekitar 5 dB.

Kata kunci - 5G, *Indoor*, *Milimeter Wave*, *Indoor Hotspot*

Abstract - Milimeter Wave (mmWave) is a solution to overcome of frequency limitations in 5G technology implementations using high frequency carrier domain. This research discusses about mmWave frequency selection for 5G technology using empirical methods for indoor propagation model. Several mmWave frequencies are simulated on indoor office environment. Based on simulation with Indoor Hotspot (InH) placed in each room 5x5 meter size, it will be more effective using 60GHz, compared to 38GHz, 28GHz, and 5GHz and also unlicensed 2,4. The average SIR will be better at mmWave frequencies in the 60GHz with 33,97 dB and the average received signal is -73,87 dBm. Overall, it can also be concluded that the InH devices with low frequency is not suitable applied in indoor area. For example using unlicensed 2,4GHz and 5GHz, receiver only gets average SIR with approximately 5dB respectively.

Keywords -5G; Indoor; Milimeter Wave; Indoor Hotspot

I. PENDAHULUAN

Lebar pita frekuensi menjadi sangat langka dengan banyaknya operator telekomunikasi khususnya di Indonesia. Keterbatasan pita spektrum frekuensi yang tersedia untuk kebutuhan komunikasi nirkabel seluler (2G, 3G, dan 4G) menjadi faktor pendorong dalam penentuan dalam mencari pita frekuensi yang baru untuk komunikasi nirkabel 5G.

Solusi untuk menanggulangi keterbatasan frekuensi dalam penerapan teknologi 5G adalah dengan menggunakan frekuensi pada domain frekuensi yang tinggi tetapi dengan panjang

gelombang yang kecil atau yang disebut dengan *Milimeter Wave* (mmWave) [1]. Frekuensi mmWave adalah merupakan nama frekuensi domain tinggi yang mempunyai rentang frekuensi pembawa (*carrier*) antara 3GHz-300GHz. Sehingga teknologi mmWave difokuskan untuk komunikasi layanan jarak pendek dan dapat juga digunakan sebagai *backbone* jaringan komunikasi. Dalam rekomendasi ITU-R [2], mmWave dipilih pada rentang frekuensi 71GHz sampai dengan 76GHz dan 81GHz sampai dengan 86GHz beserta lebar pita yang diperbolehkan pada rentang frekuensi tersebut. Sehingga total lebar pita frekuensinya adalah 2 x 5GHz. Dengan lebar pita frekuensi yang sangat

labar maka dapat memberikan kecepatan data hingga mencapai Gbps dengan jarak sampai 1 km.

Penggunaan frekuensi pembawa (*carrier*) pada *domain* tinggi untuk penerapan teknologi 5G dapat dilihat dari berbagai model penerapan dan karakteristik frekuensinya. Beberapa penelitian membahas frekuensi mmWave dilihat dari sisi karakteristik propagasi. Dilihat dari segi karakteristik propagasi [3], mmWave lebih cocok digunakan untuk penerapan jaringan *indoor*, misalnya di kantor, apartemen, laboratorium dan lain sebagainya.

Model karakteristik propagasi dapat dibagi menjadi dua kategori yaitu *empiric* dan *deterministic models*. Simulasi yang dilakukan oleh [4], penelitian tersebut mensimulasikan *deterministic models* untuk karakteristik propagasi *indoor* mmWave pada frekuensi 60GHz. Hasil keluaran simulasinya berupa *delay spread* dengan melihat jarak *transmitter* dan *receiver*. Penelitian yang sama dilakukan oleh [5] yang membahas pengukuran mmWave pada frekuensi 28GHz and 73GHz dengan parameter performansi di lihat dari *delay spread*. Kedua paper tersebut menunjukkan bahwa dengan pemakaian frekuensi mmWave pada frekuensi tinggi di dalam indoor menyebabkan *delay spread*-nya semakin kecil.

Berdasarkan hal tersebut di atas, penelitian ini memfokuskan pada pendekatan metode *empirical models* khususnya model propagasi *indoor* untuk kebutuhan alokasi pemilihan frekuensi mmWave. Selain itu, penelitian ini juga membandingkan penggunaan frekuensi mmWave di 60GHz, 38GHz, 28GHz, dan 5GHz dan penggunaan *unlicensed* 2,4GHz yang sudah digunakan secara bebas untuk penerapan frekuensi untuk keperluan ISM (*Industrial Scientific Medical*). Pendekatan empiris dilakukan dengan mensimulasikan perhitungan berdasarkan formula propagasi indoor yang sudah teruji untuk frekuensi tinggi [6]. Simulasi ini melibatkan beberapa parameter *input* dari kondisi nyata ruangan, misalnya ketebalan dinding, pintu, dan jendela beserta pemakaian jenis bahan yang dipakai sehingga dapat mempengaruhi kualitas sinyal penerima.

II. METODE PENELITIAN

A. Model Propagasi

Propagasi adalah propagasi terdapat istilah propagasi ruang bebas. Propagasi ruang bebas terjadi bila ada jalur *Line of Sight* (LOS) yaitu tidak ada penghalang yang menghalangi propagasi gelombang radio antara pemancar dan penerima. Pada propagasi ruang bebas hanya ada rugi-rugi sinyal sebagai fungsi jarak antara pemancar dan penerima. Model yang paling sederhana adalah apabila kondisi saling melihat antara pemancar dan penerima terpenuhi dan hanya ada satu sinyal langsung yang diterima, sehingga perhitungan redaman dilakukan dengan menggunakan rumus redaman ruang bebas

atau *free space loss* (FSL) dan berlaku juga pada frekuensi mmWave [2] [14].

$$FSL = 34.5 + 20 \log f + 20 \log d \quad (1)$$

Pada redaman ruang bebas (FSL), dua variabel yang mempengaruhinya adalah frekuensi pembawa yang digunakan dan jarak antar *transmitter* dan *receiever*. Model propagasi berdasarkan kondisi lingkungan pemancar dan penerima dibedakan menjadi dua, yaitu propagasi *indoor* dan model propagasi *outdoor*. Propagasi *indoor* berbeda sehingga berbeda dengan model propagasi *outdoor*. Pada model propagasi *indoor* ada penambahan beberapa parameter yang perlu dipertimbangkan, seperti jumlah dinding dan lantai.

Sampai saat ini, model *empiris* redaman propagasi *indoor* khususnya untuk pemakaian frekuensi mmWave masih dalam tahap penelitian lebih lanjut [6]. Berdasarkan pendekatan model propagasi *empiris* [7] yang digabungkan dengan redaman parameter simulasi [8], rumusan propagasi dapat dituliskan sebagai berikut:

$$L_{pi} = FSL + 20 \log d + \sum_{i=1}^M k_{wi} L_{wi} + k_f \left[\frac{(k_f+2)}{(k_f-1)} \right]^{0.46} L_f \quad (2)$$

Redaman pada *indoor*, ditentukan beberapa faktor diantaranya oleh *Kw* atau *penetration wall* atau jumlah dinding yang menjadi pembatas antara InH *transmitter* dan *receiver*. *Kf* atau *penetration floors* atau jumlah lantai yang menjadi pembatas. Nilai redaman penyekat dinding atau *loss between walls* dan dan lantai atau *loss between floors* dituliskan pada rumus dengan *Lw* dan *Lf*. Untuk *M* adalah jumlah dari bahan penyusun dinding (*Number of walls*).

B. Parameter Sistem

Penggunaan parameter simulasi bertujuan untuk memudahkan dalam proses analisis hasil. Parameter ini tujuan utamanya adalah untuk menghitung pendistribusian daya yang berasal dari antena *transmitter*. Apabila daya dari antena *transmitter* terdistribusi dengan baik, maka penerima juga akan mendapatkan daya yang optimal. Penempatan antena dan pemilihan perangkat juga merupakan bagian penting dan harus diperhitungkan sesuai dengan kondisi lingkungan. Tabel. 1 berikut merupakan parameter yang digunakan untuk perancangan sistem jaringan *indoor office environment*.

Penjelasan spesifikasi ruangan pada Tabel. 1 akan dibahas pada sub-bab berikutnya. Dalam proses simulasi menggunakan empat frekuensi mmWave yaitu 60GHz, 38GHz, 28GHz, dan 5GHz. Sebagai pembanding adalah frekuensi *unlicensed* di 2,4GHz. Perangkat mentransmisikan power sebesar 10 *miliwatt* (mW) atau sebesar 10dBm dengan jenis antena *omni directional* maka diasumsikan gain antena 0 dBi [9]. Ketinggian antena perangkat *transmitter* 2,8 meter disesuaikan dengan tinggi bangunan, dan pada *user* setinggi 1,2meter sesuai dengan tinggi orang dewasa.

Tabel 1. Parameter Sistem

Parameter	Nilai
Panjang*Lebar*Tinggi (m)	30*12*3
Carrier Frekuensi mmWave1 (GHz)	60
Carrier Frekuensi mmWave2 (GHz)	38
Carrier Frekuensi mmWave3 (GHz)	28
Carrier Frekuensi mmWave4 (GHz)	5,0
Carrier Frekuensi unlicensed (GHz)	2,4
Transmitter	
Maksimum transmit power (dBm)	10
Tinggi antenna (m)	2,8
Tipe antenna	Omni
Receiver	
Tipe antenna	Omni
Polarisasi antenna	Vertical
Tinggi antenna (m)	1,2

Penentuan daya pancar antenna atau disebut dengan *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP), didapatkan dari dari transmit power ditambah dengan antenna gain, pada simulasi ini antenna gain 0dB karena menggunakan antenna *omni directional*. Rumus EIRP adalah sebagai berikut.

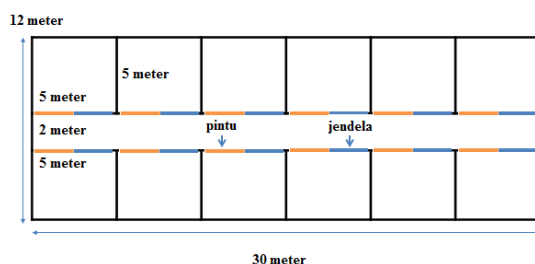
$$\text{EIRP} = \text{Transmit Power} + \text{gain antenna} \quad (3)$$

Sehingga daya terima pada antenna penerima (*received signal*) didapat dari daya pancar antenna dikurangi dengan readaman propagasi dalam kasus ini adalah propagasi indoor seperti pada persamaan (2), dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Received Signal} = \text{EIRP} - \text{Redaman Propagasi indoor} \quad (4)$$

C. Karakteristik Ruangan

Gambar 1 merupakan denah *indoor office environment* yang digunakan sebagai desain simulasi dengan spesifikasi panjang lantai 30m, lebar 12m, dan memiliki ketinggian 3m. Terdapat 10 kamar yang memiliki luas 25 meter persegi dengan ukuran 5 meter x 5 meter dan di tengah bangunan terdapat lorong dengan lebar 2m yang memisahkan 10 kamar tersebut menjadi dua bagian.

Gambar 1. Desain Ruangan *Indoor Office Environment*

Pada model propagasi *indoor*, jenis bahan dinding dan pembatas ruangan mempengaruhi kualitas sinyal yang diterima oleh *user*. Tabel. 2 memberikan gambaran terkait dengan jenis obyek pembatas ruangan beserta karakteristiknya.

Bangunan tersusun dari tiga obyek yaitu dinding, jendela, dan pintu. Dinding yang akan disimulasikan berbahan beton dengan ketebalan 10cm. Pintu berbahan kayu dengan ketebalan 4cm. Sedangkan Jendela berbahan kayu dengan ketebalan 7cm. Sebagai contoh, dari karakteristik redaman pada 60GHz, bahwa dinding memiliki *attenuation* sebesar 10dB. Sedangkan jendela dan pintu masing - masing sebesar 3 dB[4].

Tabel 2. Komponen Pembatas Ruangan

Obyek (Lw)	Bahan	Tebal (cm)
Jendela	Kaca	7
Dinding	Beton	10
Pintu	Kayu	4

D. Skenario Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* Radio Propagation Simulator dengan beberapa modifikasi untuk mensimulasikan frekuensi mmWave [8]. Beberapa skenario penempatan Small Cells [10][11], dengan penamaan *Indoor Hotspot* (InH) disimulasikan dengan karakteristik ruangan pada Gambar 1 dan dengan pemakaian konstruksi bahan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsumsi Bahan

Obyek	Bahan	Presentase Penggunaan
Dinding	Beton	90%
Jendela	Kaca	5%
Pintu	Kayu	5%

Kondisi *indoor environment* seperti pada Gambar 1 dengan konsumsi ruangan bahan beton 90%, yang dimaksudkan dengan persentase tersebut adalah total bangunan yang berdiri dalam bangunan tersebut sekitar 140 meter maka sekitar 98 meter dinding tersebut berbahan beton sedangkan sisanya masing - masing 15% untuk jendela dan pintu.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

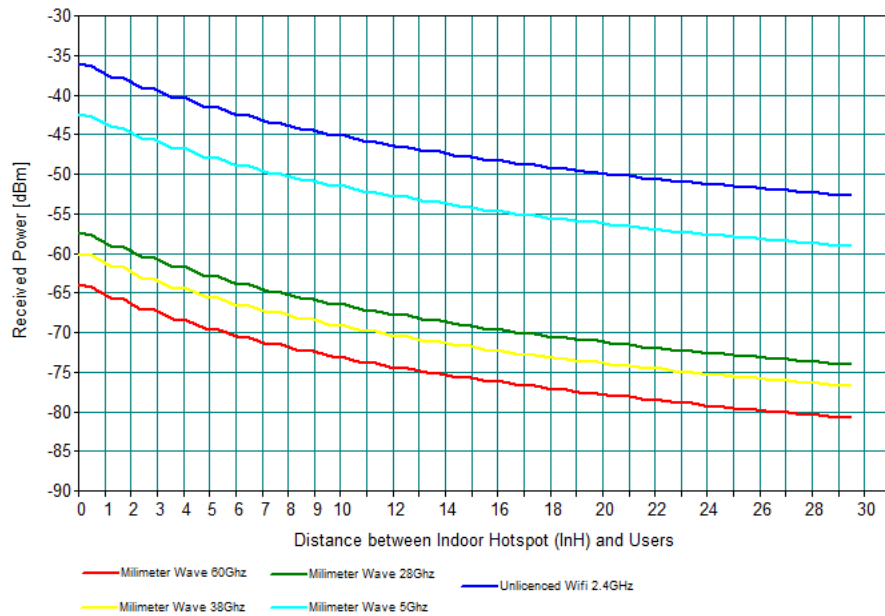
Berikut merupakan kualitas sinyal penerima mmWave berdasarkan jarak antenna *transmitter* InH dan *receiver* dengan kondisi LOS di lorong gedung seperti Gambar 1. Hasil simulasi yang menunjukkan kualitas sinyal mmWave dibandingkan dengan sinyal unlicensed 2,4GHz tanpa interferensi dari pengaruh sinyal frekuensi lain dapat dilihat dari Gambar 2. Proses simulasi ini melibatkan sekitar 720 titik referensi sebagai *receiver*.

Pada Gambar 2 tersebut dapat diketahui bahwa kualitas sinyal penerima pada frekuensi unlicensed 2,4GHz lebih luas jangkauannya dibanding dengan pemakaian frekuensi mmWave. Kondisi tersebut berdasarkan persamaan (1), apabila frekuensi pembawa (*carrier*) diperbesar maka redaman juga akan semakin besar. Hasil simulasi tersebut, juga menunjukkan semakin jauh *receiver* dari antenna *transmitter* maka semakin turun kualitas sinyalnya. Dari hasil simulasi, pemakaian frekuensi mmWave di

60GHz menjadi yang paling rendah kualitas sinyalnya pada bagian penerima. Namun pemakaian 60MHz pada jarak 30meter dari InH dengan kondisi LOS

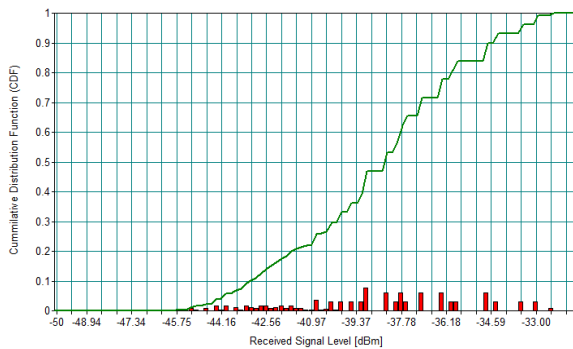
masih memungkinkan terjadinya komunikasi karena *user* masih mendapatkan sinyal sebesar -80 dBm.

Received Signal Power along The Corridor LOS



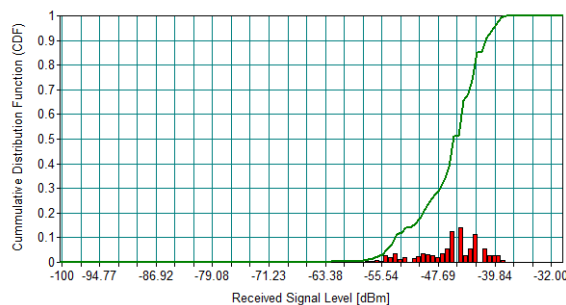
Gambar 2. Hasil Simulasi Sinyal Penerima Dengan Penempatan Antena mmWave 60GHz, 38GHz, 28GHz, dan 5GHz Di Tengah Bangunan LOS Dibandingkan Dengan Sinyal *Unlicensed* 2,4GHz

Received Signal 2.4Ghz



Gambar 3. Kualitas Sinyal Penerima Disisi *User* Dengan Pemakaian Antena *Unlicensed* 2,4GHz

Received Signal mmWave 5Ghz



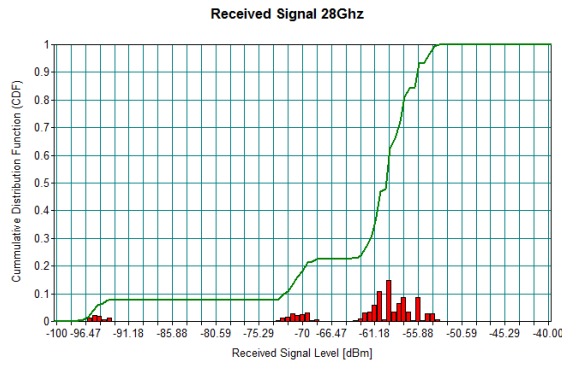
Gambar 4. Kualitas Sinyal Penerima Disisi *User* Dengan Pemakaian Antena mmWave 5GHz

Gambar 3 merupakan hasil simulasi jika 12 antena InH menggunakan *unlicensed* 2,4GHz yang ditempatkan diseluruh ruangan 5x5 meter dan satu antenna di koridor. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *user* yang ada pada gedung tersebut

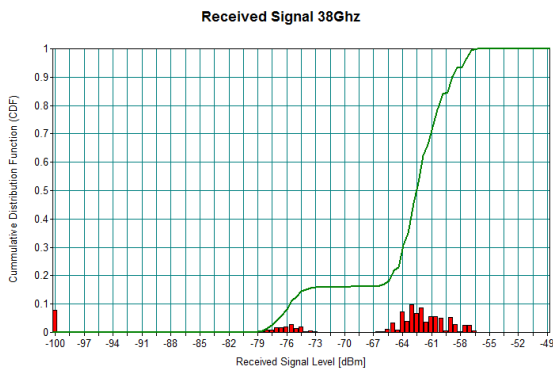
mendapatkan kualitas paling rendah sekitar -45dBm dan paling besar sekitar -30dBm. Gambar 4 menampilkan hasil simulasi dengan kondisi yang sama di 5GHz. Pada kondisi ini, *user* yang ada pada gedung tersebut mendapatkan kualitas paling rendah sekitar -56 dBm dan paling besar sekitar -38dBm.

Gambar 6 dan Gambar 7 adalah hasil simulasi apabila 12 antena InH juga ditempatkan pada seluruh ruangan dan satu di koridor menggunakan frekuensi mmWave di 28GHz dan 38GHz. Dari hasil simulasi pada 28GHz, *user* yang ada pada gedung tersebut mendapatkan kualitas paling rendah sekitar -96 dBm dan paling besar sekitar -56dBm. Dari hasil simulasi pada 38GHz, *user* yang ada pada gedung tersebut mendapatkan kualitas paling rendah sekitar -80dBm dan paling besar sekitar -55dBm. Dari hasil simulasi juga menunjukkan 80% kualitas sinyal antara -65 dan -55dBm.

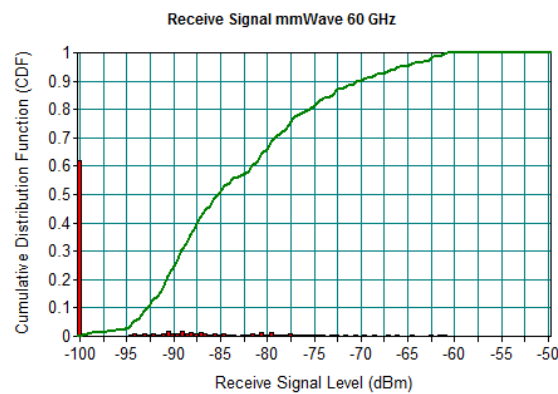
Gambar 7 merupakan hasil simulasi apabila 12 antena InH ditempatkan diseluruh ruangan dan satu koridor dengan menggunakan frekuensi mmWave di 60GHz. Dari hasil simulasi, *user* yang ada pada gedung tersebut mendapatkan kualitas paling rendah sekitar -100dBm dan paling besar sekitar -60dBm.



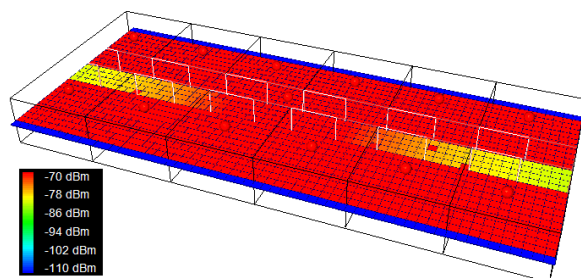
Gambar 5. Kualitas Sinyal Penerima Disisi User Dengan Pemakaian Antena mmWave 28GHz



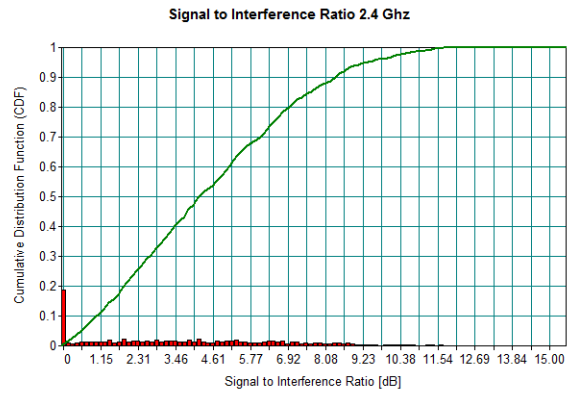
Gambar 6. Kualitas Sinyal Penerima Dengan Pemakaian Antena mmWave 38GHz



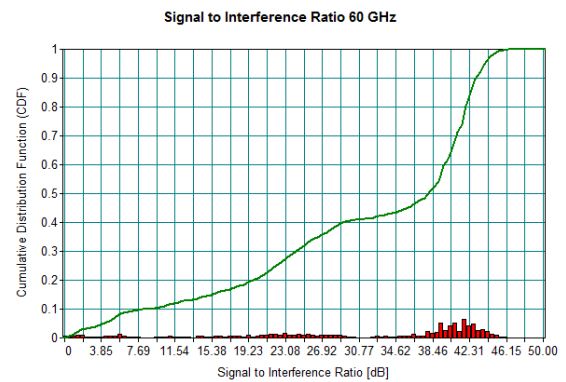
Gambar 7. Kualitas Sinyal Penerima Disisi User Dengan Pemakaian Antena mmWave 60GHz



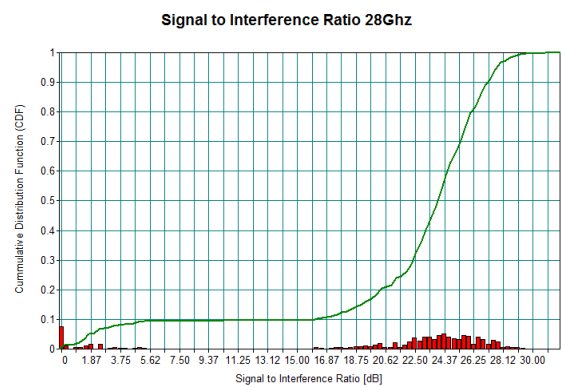
Gambar 8. Distribusi Sinyal Penerima Apabila Ditempatkan antena 60mmWave di Setiap Ruang dan Lorong Bagunan



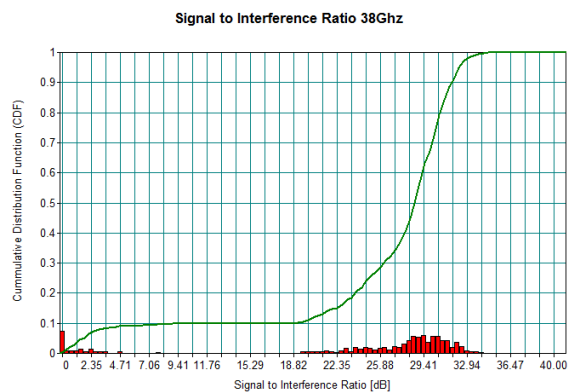
Gambar 9. Hasil Simulasi Kualitas Sinyal 2,4ghz Dilihat Dari Signal To Interference Ratio



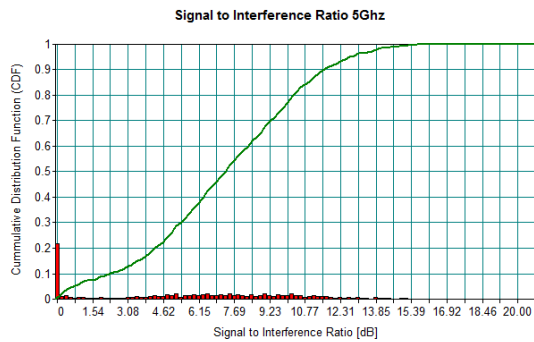
Gambar 10. Hasil Simulasi Kualitas Sinyal 60ghz Dilihat Dari Signal To Interference Ratio



Gambar 11. Kualitas Sinyal 28ghz Dilihat Dari Signal To Interference Ratio



Gambar 12. Kualitas Sinyal 38ghz Dilihat Dari Signal To Interference Ratio



Gambar 13. Kualitas Sinyal 28ghz
Dilihat Dari *Signal To Interference Ratio*

Gambar 8 merupakan visualisasi bentuk simulasi 3D gedung untuk penempatan InH dengan penggunaan frekuensi 60GHz mmWave yang ditempatkan pada setiap ruangan dan koridor. Setiap InH ditempatkan ditengah ruangan dan disetting seperti pada Tabel 1. Dari hasil simulasi, distribusi *receiver signal* yang diterima oleh *user* menampilkan kualitas sinyal berwarna merah atau sekitar 75 dBm.

Gambar 9 menampilkan hasil simulasi berdasarkan parameter *Signal to Interference Ratio* (SIR) dengan kondisi yang 13 antenna InH menggunakan frekuensi mmWave di 2,4GHz. Dari hasil simulasi, *user* yang ada pada gedung tersebut akan mendapatkan kualitas paling rendah sekitar 0dB dan paling besar sekitar 12dB. Gambar 10 merupakan hasil simulasi pada kondisi penempatan yang sama tetapi pada 60GHz. Dari hasil simulasi, *user* yang ada pada gedung tersebut mendapatkan kualitas paling rendah sekitar 0dB dan paling besar sekitar 46dB.

Gambar 11 merupakan hasil simulasi berdasarkan parameter SIR dengan kondisi dengan 13 antenna InH menggunakan frekuensi mmWave di 28GHz. Dari hasil simulasi, *user* yang ada pada gedung tersebut mendapatkan kualitas SIR paling rendah sekitar 0dB dan paling besar sekitar 30dB. Hasil simulasi juga menunjukkan kualitas SIR antara 16dB dan 30dB sebesar 90%. Gambar 12 dan Gambar 13 merupakan hasil simulasi dengan kondisi penempatan sama tetapi dengan frekuensi berbeda. Pada penggunaan 38GHz, *user* yang ada pada gedung tersebut mendapatkan kualitas paling rendah sekitar 0dB dan paling besar sekitar 35dBm. Dari hasil simulasi pada 38GHz, *user* yang ada pada gedung tersebut mendapatkan kualitas paling rendah sekitar 0dB dan paling besar sekitar 16dB.

Tabel 3. Kualitas Sinyal Hasil Simulasi

Frekuensi Pembawa (<i>Carrier</i>)	Rata-Rata <i>Received Signal</i> (dBm)	Rata-Rata <i>Signal to Interference Ratio</i> (dB)
<i>Unlicensed</i> 2,4GHz	-38,60	3,93
mmWave 60GHz	-73,87	33,97
mmWave 38GHz	-67,36	23,89
mmWave 28GHz	-63,28	20,25
mmWave 5GHz	-46,90	5,25

Hasil simulasi secara keseluruhan dengan melihat rata-rata *received signal* dan SIR ditampilkan pada Tabel 4. Rata-rata SIR yang paling bagus pada kondisi seperti pada ruangan tersebut adalah penggunaan mmWave di frekuensi 60GHz yaitu didapatkan sebesar 33,97 dB dan rata – rata *received signalnya* adalah -73,87dBm. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa perangkat yang menggunakan frekuensi rendah kurang cocok diterapkan dalam ruangan. Seperti pada penggunaan *unlicensed* 2,4GHz dan mmWave 5GHz, *user* hanya mendapatkan rata-rata SIR sebesar sekitar 5dB.

Secara keseluruhan, penggunaan frekuensi tinggi mmWave akan berpengaruh jika digunakan pada pada perangkat *wireless indoor* 5G khususnya pada penerapan *indoor* dalam jumlah yang banyak seperti penggunaan teknologi *device to device* (D2D) *communication* [12][13]. Sehingga penggunaan frekuensi mmWave dengan domain tinggi lebih cocok untuk menghubungkan antar perangkat yang berdekatan seperti pada *indoor* area, karena sinyal frekuensi tersebut tidak mempengaruhi perangkat lain di luar area tersebut.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi penggunaan frekuensi *Milimeter Wave* (mmWave) untuk akses komunikasi jaringan 5G Indoor, dapat disimpulkan bahwa lebih sesuai menggunakan frekuensi mmWave dengan domain tinggi, khususnya jika terdapat penerapan perangkat komunikasi berbasis D2D. Dari hasil simulasi *deployment* untuk kasus *indoor office environment*, apabila setiap ruangan ditempatkan *Indoor Hotspot* (InH), lebih efektif jika menggunakan frekuensi domain tinggi yaitu di frekuensi 60GHz, dibandingkan dengan penggunaan frekuensi 38GHz, 28GHz, dan 5GHz maupun frekuensi *unlicensed* 2.4GHz. Rata-rata SIR yang paling bagus pada frekuensi mmWave di 60GHz yaitu sebesar 33,97dB. Rata-rata *received signal* adalah -73,87dBm. Perangkat yang menggunakan frekuensi rendah kurang cocok diterapkan dalam ruangan karena jangkauannya lebih luas sehingga mudah menyebabkan interferensi (*co-channel interference*) pada perangkat lain karena penggunaan frekuensi pembawa yang sama. Seperti pada penggunaan *unlicensed* 2.4GHz dan mmWave 5GHz, *user* hanya mendapatkan rata-rata SIR sebesar sekitar 5dB.

B. Saran

Untuk penelitian lanjut, perlu dilakukan pembagian pita frekuensi mmWave pada setiap frekuensi pembawa untuk menghindari *co-channel interference*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Admaja, Awangga Febian Surya. "Kajian Awal 5G Indonesia [5G Indonesia Early Preview]." *Buletin Pos dan Telekomunikasi* 13.2 (2015): 97-114.
- [2] Report ITU-R M.2376-0, "Technical Feasibility of IMT in Band Above 6GHz" ITU 2015
- [3] Li, Yong, et al. "Simulation and Analysis of Millimeter-Wave Propagation Characteristics in Complex Office Environment." *Journal of Computer and Communications* 3.03 (2015): 56.
- [4] T.S. Rappaport et al., "Milimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Works!" *IEEE Access*, Vol. 1. No. 1, pp. 335-349, 2013.
- [5] Niu, Yong, et al. "A survey of millimeter wave communications (mmWave) for 5G: opportunities and challenges." *The Journal of Mobile Communication, Computation and Information*, Springer Wireless Networks 21.8 (2015): 2657-2676.
- [6] Lee, J., Liang, J., Kim, M.D., Park, J.J., Park, B. and Chung, H.K., 2016. Measurement-Based Propagation Channel Characteristics for Millimeter-Wave 5G Giga Communication Systems. *ETRI Journal*, 38(6), pp.1031-1041.
- [7] Hikmaturokhman, Alfin, Solichah Larasati, and Eka Setia Nugraha. "Analysis Cost 231 MultiWall Model on 4G LTE FDD 1800 and 900 Mhz Femtocell Network Planning." *JAICT* 1.1 (2016)
- [8] Chandra, Kishor, et al. "CogCell: cognitive interplay between 60 GHz picocells and 2.4/5 GHz hotspots in the 5G era." *IEEE Communications Magazine* 53.7 (2015): 118-125.
- [9] Shin, Soo Young, and Toha Ardi Nugraha. "Cooperative water filling (coopwf) algorithm for small cell networks." 2013 International Conference on ICT Convergence (ICTC). IEEE, 2013.
- [10] Pal, Shovon Kumar, et al. "Resource Allocation Strategy using optimal power control for mitigating two-tier interference in heterogeneous networks." *Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*, 2014 IEEE. IEEE, 2014.
- [11] Nugraha, Toha Ardi, and Soo Young Shin. "Inter-Cell Interference Coordination in Heterogeneous Networks with Open Access of Small Cells." 2014년도 대한전자공학회 하계종합학술대회 (2014): 446-449.
- [12] Firdaus and Nugraha, Toha Ardi. "The Next Generation of ICT Network; NGN, FTTH, M2M, WSN, IoT." (2016).
- [13] Yilmaz, T., Gokkoca, G. and Akan, O.B., 2016. Millimetre Wave Communication for 5G IoT Applications. In *Internet of Things (IoT) in 5G Mobile Technologies* (pp. 37-53). Springer International Publishing.
- [14] Hikmaturokhman, Alfin, and Lingga Wardana. "4G Handbook Edisi Bahasa Indonesia Jilid 2." Jakarta: Penerbit nulis buku (2015).