Analisis Performansi 5G NR dengan Skema Arsitektur NSA Opsi 3 pada Frekuensi 28 GHz

Performance Analysis of 5G NR with NSA Opt. 3 Architecture Scheme on 28 GHz Frequency

Rivalda Maulana[1], Uke Usman Kurniawan[2], Ishak Ginting[3]
[1,2]S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Ilmu Terapan, Telkom University
[3]PT Smartfren Telecom
[1]maulana.rivalda@gmail.com, [2]ukeusman@telkomuniversity.ac.id, [3]ishakginting@yahoo.com

Abstrak

Sebagai bagian dari pengembangan generasi ke-5 (5G) New Radio (NR) terhadap ITU yaitu "IMT for 2020 and beyond." 3GPP telah mengumumkan spesifikasi pertama untuk 5G NRSpesifikasi pertama yang dirilis oleh 3GPP yaitu arsitektur 5G NSA (non-standalone) untuk use-case eMBB (enhanced Mobile Broadband) dan URLLC (Ultra Reliable Low latency Communication) yang mana pada implementasinya 5G NR akan beroprasi pada FR-1 dan FR-2 untuk mendukung berbagai macam use-case. 5G NR dirancang untuk mendukung implementasi pada cakupan frekuensi yang lebar mulai dari sub – 6Ghz (FR – 1) sampai dengan mmWave (FR – 2). Oleh karena itu salah satu aspek penting pada OFDM adalah pemilihan numerologi. Khususnya untuk menentukan subcarrier spacing dan panjang dari dan panjang dari cyclic prefix. Hasil simulasi performansi 5G NR pada frekuensi ini didapat bahwa numerologi 4 adalah numerologi yang terbaik untuk diimplementasikan pada 5G NR dengan rata – rata latensi 0,473 ms, throughput 1052,26 Mbps dan packet loss 0,0003%. Sementara itu numerologi terburuk adalah numerologi 0 dengan rata – rata latensi 3,07 ms, hroughput 127,36 Mbps dan packet loss 0,0003%.

Kata Kunci: 5G NR, NSA,Numerologi, OFDM, NS 3

Abstract

As part of the development of the 5th generation (5G) New Radio (NR) against it is "IMT for 2020 and beyond." 3GPP has announced its first specification for 5G NR which is a significant achievement in the global mobile industry. 5G NR is designed to support implementation at wide frequency coverage ranging from sub – 6Ghz (FR – 1) to mmWave (FR – 2). Therefore, one important aspect of OFDM is the selection of numerology. Specifically to determine the subcarrier spacing and length of and length of the cyclic prefix. Simulation results of 5G NR performance at this frequency gained that 4 numerology is the best numerology to be implemented at 5G NR with an average 0473 ms latency, 1052,26 Mbps throughput and 0,0003% packet loss. Meanwhile the worst numerology is numerology 0 with average-latency 3,07 ms, Hroughput 127,36 Mbps and 0,0003% packet loss.

Keywords: Key Word: 5G NR, NSA,Numerologi, OFDM, NS 3

1. Pendahuluan

3GPP telah mengumumkan spesifikasi pertaman untuk pengembangan 5G terhadap ITU "IMT for 2020 and beyond." Untuk memenuhi persyaratan eMBB sejumlah fitur telah distandarisasi untuk 5G NR yang mana merupakan pencapaian yang signifikan pada industri seluler global untuk memulai pengembangan dalam skala penuh. Spesifikasi pertama yang dirilis oleh 3GPP yaitu arsitektur 5G NSA (non-standalone) untuk use-case eMBB (enhanced Mobile Broadband) dengan puncak laju data 20 Gbps dengan user plan latency 4 ms. Pada fase item studi Rel. 15 ternyata ditemukan bottlenecks performansi TCP[5]. Bottleneck terjadi karena pada opsi 3 ini core network yang digunakan adalah EPC yaitu core network untuk 4G.

Dalam hal ini, salah satu langkah kunci adalah masuknya ortogonal yang fleksibel Sistem frekuensi Divisi multiplexing (OFDM) [2]. Nr mendefinisikan satu set numerologi, yang menentukan SubCarrier Spacing (SCS) dan cyclic prefix overhead, untuk menangani berbagai berbagai pilihan frekuensi dan penyebaran [1]. Juga, basis Stasiun (alias Next-Generation node B (gNB)) harus memberikan akses ke berbagai jenis layanan, seperti enhanced Mobile BroadBand (eMBB), massive Machine Type Communications (mMTC), dan ultra-Reliable dan Low latency Communications (URLLC).

Pada tugas akhir ini akan dilakukan simulasi jaringan 5G NR dengan berbagai macam aplikasi yang ditransmisikan lewat protocol transport UDP. Menganalisa dampak numerologi terhadap throughput, latency dan packet loss karena 5G akan dioperasikan pada banyak spectrum maka pemilihan OFDM menjadi sangat penting tidak seperti pada LTE dimana lebar pita maksimalnya hanya pada 20 MHz saja. Untuk frekuensi carrier yang lebih tinggi yaitu pada mm-wave, limitasi implementasi seperti phasa noise menjadi sangat penting untuk SubCarrier Spacing yang lebih tinggi.

.

2. Dasar Teori

A. 5G MMWAVE

Komunikasi gelombang milimeter adalah lapisan PHY lanjutan teknologi, yang baru-baru ini menjadi yang terdepan minat penelitian dan mungkin dapat naik ke tantangan menyediakan layanan broadband seluler bermutu tinggi, selain menawarkan peluang untuk mengurangi latensi over-the-air untuk NR. MmWave memanfaatkan spektrum frekuensi radio secara kasar antara 30 dan 300 GHz, meskipun tantangan penelitian memperpanjang juga ke frekuensi rendah (yaitu, di atas 6 GHz) yang dipertimbangkan untuk 3GPP NR. Sistem yang bisa beroperasi band-band ini menarik karena jumlah besar spektrum yang tersedia pada rentang frekuensi yang lebih tinggi dan derajat kebebasan spasial yang diberikan oleh dimensi sangat tinggi antena array, yang dimungkinkan berkat yang lebih kecilukuran elemen antena pada frekuensi yang lebih tinggi. Paling baru sistem nirkabel komersial beroperasi di bawah 6 GHz, di mana frekuensi yang lebih rendah memungkinkan untuk propagasi jarak jauh dan rendah kehilangan penetrasi (yaitu, redaman oleh dinding dan rintangan lainnya), yang membuat mereka cocok untuk komunikasi radio. Sebagai Hasilnya, spektrum sub-6 GHz menjadi sangat padat dan band-band individual umumnya tidak tersedia dalam bersebelahan potongan lebih lebar dari 200 MHz. Namun, petak besar spektrum tersedia pada frekuensi mmWave yang lebih tinggi, yang menawarkan kemungkinan bandwidth yang sangat lebar, dalam beberapa kasus bahkan lebih besar dari 1 GHz.

Meskipun pita mmWave sudah digunakan oleh berbagai aplikasi komersial, seperti satelit dan komunikasi backhaul pointto-point, hingga saat ini mereka dianggap tidak praktis untuk jaringan akses seluler karena propagasi isotropik yang buruk dan kerentanan untuk membayangi pada frekuensi yang lebih tinggi ini. Namun, sekarang telah ditunjukkan bahwa keterbatasan saluran mmWave dapat diatasi dengan bantuan high-gain, antena directional sehingga ini wilayah spektrum luas sekarang dapat dimanfaatkan untuk menyediakan urutan besarnya atau lebih banyak peningkatan throughput untuk perangkat seluler.

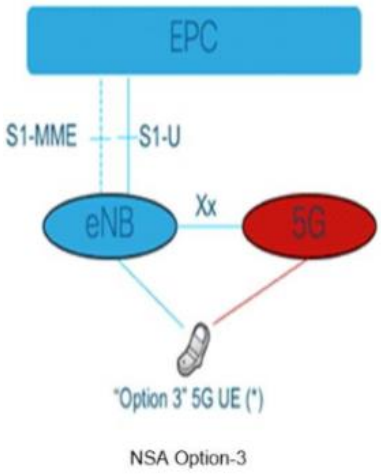
Tabel 1. Karakteristik Propagasi pada Band Berbeda. [2]

Frequency Band	***PLE***		***Rain Attenuation@200m***		***Oxygen Absorption@200m***
	LOS	**NLOS**	**5mm/h**	**25mm/h**	
28 GHz	1,8~1,9	4,5~4,6	0,18 dB	0,9 dB	0,04 dB
38 GHz	1,9 ~2,0	2,7~3,8	0,26 dB	1,4 dB	0,03 dB
60 GHz	2,23	4,19	0,44 dB	2 dB	3,2 dB
73 GHz	2	2,45~2,69	0,6 dB	2,4 dB	0,09 dB

Gelombang elektromagnetik mmwave memiliki kemamampuan kecil untuk mengurangi hambatan dengan ukuran yang jauh lebih besar dari pada panjang gelombang. Dengan panjang gelombang yang kecil, link pada pita 60 GHz sensitif terhadap obstacle (contohnya manusia dan furnitur). Misalnya, obstacle oleh seorang manusia dapat mengakibatkan atenuasi link sebesar 20-30 dB. Oleh karena itu, menjaga koneksi yang andal untuk aplikasi delay-sensitive seperti HDTV merupakan tantangan besar bagi komunikasi mmWave.

B. NSA Opsi 3

Pada awal penyebaran layanan 5G arsitektur jaringan yang akan digunakan adalah NSA (Non-Standalone) opsi 3, ada beberapa tipe untuk NSA opsi 3 yaitu, opsi 3, opsi 3a dan opsi 3x. Opsi 3 bersifat transparan terhadap MME dan P-GW, dan mentranslasi menjadi prosedur modifikasi E-RAB pada MME. NSA Option # 3 membutuhkan penyebaran NSA NR en-gNB di E-UTRAN dan fitur-fitur baru pada LTE eNB untuk mendukung prosedur EN-DC, sehingga berdampak pada E-UTRAN. NSA Option # 3 juga berdampak pada UE, tetapi dampak terbatas pada EPC dan HSS tergantung pada pilihan carrier, dan tidak berdampak pada IMS.

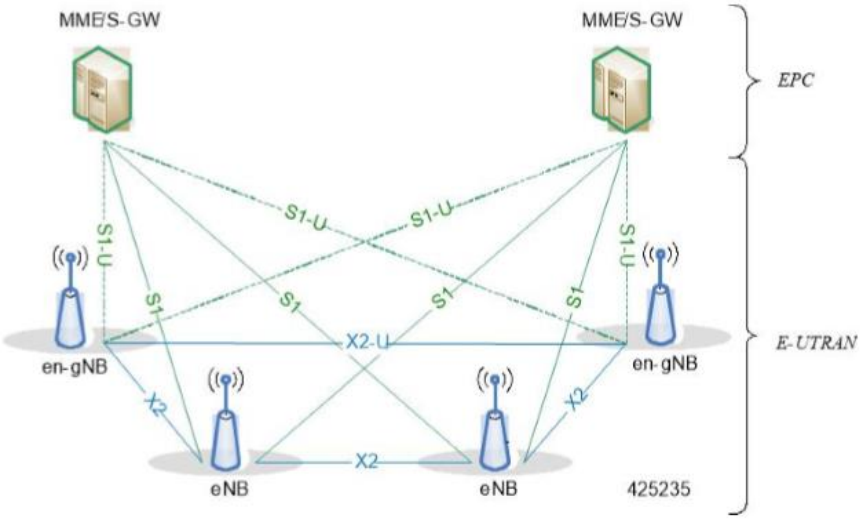


Gambar 1. Skema arsitektur 5G opsi 3 [1]

Semua data ke dan dari jaringan mengalir ke dan dari bagian 4G dari base station 4G / 5G, yaitu ke dan dari eNB. ENB kemudian dapat memutuskan untuk meneruskan sebagian data ke bagian GNB 5G dari base station melalui antarmuka X2. Ini berarti bahwa 5G gNB tidak berkomunikasi dengan jaringan inti 4G secara langsung.

C. Dual Connectivity

E-UTRA-NR dual connectivity (EN-DC) mendukung kompatibilitas antara 5G New Radio (NR) dengan EPC. UE (User Equipment) terhubung ke eNodeB bertindak sebagai Master Node (MN) dan en-gNB bertindak sebagai Secondaty Node (SN). eNodeB terhubung pada EPC melalui S1 inteface dan en-gNB melalui X2 interface.



Gambar 2. ilustrasi untuk arsitetur dual connectivity E-UTRA-NR [4]

Jika UE mendukung dual connectivity dengan NR, maka UE harus mengatur DCNR bit ke "dual connectivity with NR supported" dalam UE kapabilitas jaringan IE Attach Request/Tracking Area Update Request Message. Jika UE mendukung untuk itu dan MME dan memutuskan untuk membatasi penggunaan dari dual connectivity dengan NR untuk UE, kemudian MME mengatur RestrictDCNR bit menjadi "Use of dual connectivity with NR is Restricted"dalam fitur jaringan EPS mendukung *IE Attach Accept/Tracking Area Update Accept message*.

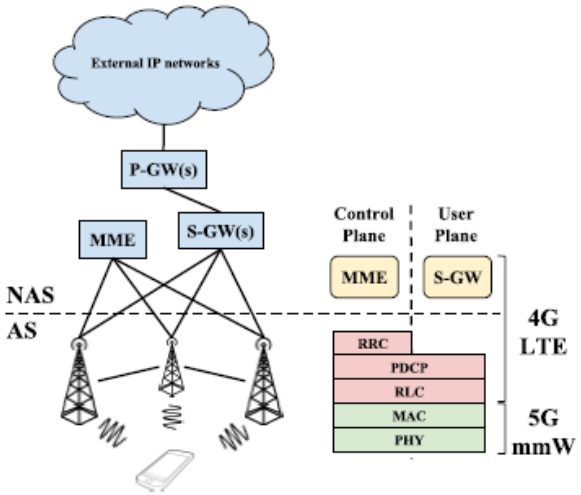
D. Network Simulator 3

Ns-3 merupakan sebuah simulasi jaringan discrete-event, target utama sebagai penggunaan untuk riset dan pendidikan. Ns-3 merupakan software yang bersifat free, lisensi dibawah GNU GPLv2 license, serta riset, pengembangan dan penggunaan bersifat terbuka untuk umum. Ns-3 pada inti simulasi dan model diimplementasikan menggunakan C++. Ns-3 dibuat sebagai library yang dapat secara statis atau dinamis berkaitan

kepada program utama C++ yang mendefinisikan topologi dan memulai simulasi. Ns-3 juga mengeksport semua API ke Python, mengizinkan program Python untuk import ns3 modul dengan cara yang sama dengan C++.

E. Modul mmWave

Modul mmWave ns3 dapat mendukung pengembangan riset pada jaringan seluler 5G. Pada layer fisik modul ini, dapat mensimulasikan cluster spasial, dynamic path, pola antenna, dan algoritma beamforming. Path pada kanal dimodelkan dengan cluster statistic, ray tracing, atau pengukuran secara fisik. Pada modul ini juga mengkonfigurasikan struktur layer MAC. Desain yang fleksibel dapat digunakan untuk mengevaluasi control efek, scheduling dan delay feedback. Radio link control (RLC), radio resource control (RRC), non-access stratum (NAS) dan core network merupakan module original LTE untuk menyediakan modeling detail dari layer atas 4G LTE.



Gambar 3. Arsitektur Module mmWave [4]

Pada Gambar 3 merupakan arsitektur module mmWave. Berikut penjelasan fungsisetiap komponen.

P-GW : Packet data network gateway mengizinkan komunikasi dengan IP jaringan eksternal.

S-GW : Serving gateway adalah mobilitas anchor dan bertindak sebagai router dengan meneruskan data antar base station dan PDN gateway.

MME : Mobility management entity mengontrol operasi seluler level tinggi melalui pensinyalan dan handover. Berikut fungsi dari layer pada seluler.

RRC : Layer RRC menyediakan layanan dan fungsi broadcasting informasi sistem terkait keamanan, paging, penjagaan, release.

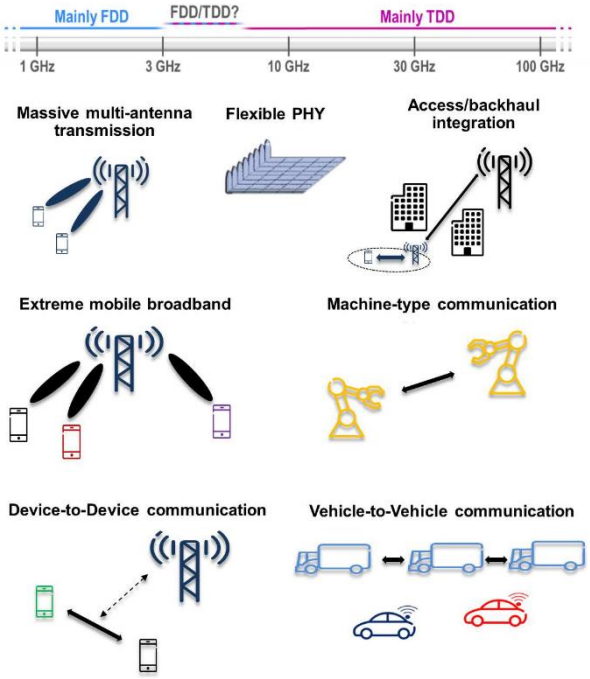
PDCP : Layer ini digunakan untuk header kompresi dan dekompresi dari data IP.

RLC : Terdapat 3 mode yakni Transparant Mode (TM), Unacknowledged Mode (UM) dan Ackwonleged Mode (AM). UM dan AM mengarah ke eror koreksi pada layer RLC.

MAC : layer MAC mmWave didesain dengan tujuan ultra low latency dan datarate tinggi. Hybrid automatic repeat request (HARQ) juga diimplementasikan untuk reaksi terbaik terhadap fluktuasi kanal.

PHY : layer fisik pada transmisi. Pada modul mmWave tersedia frekuensi 28 Ghz dan 78 Ghz.

F. NR Waveform



Gambar 4 Massive MIMO, flexible physical layer, (mobile) self-backhaul, operation in sub-1 GHz – 100 GHz dengan TDD untuk diatas 6 GHz utntuk mendukung berbagai penggnanaan yang merupakan fitur junci pada akses radio 5G.[4]

OFDM saat ini digunakan pada LTE untuk transmisi downlink. Pada maret 2016, 3GPP telah setuju untuk mempelajari berbagai fitur dari NR dengan asumsi OFDM, kecuali penguatan yang signifikan bisa ditunjukan oleh bentuk gelombang lain [2]. Pada bagian ini akan mempelajari sejumlah key performance indicators (KPI) untuk tipe link yang berbeda (uplink, downlink, sidelink, backhaul) dan menyimpulkan bahwa OFDM adalah pilihan yang sangat tepat untuk NR.

G. Asesmen OFDM

Tabel 2. Asesmen OFDM [4]

Indikator Performansi	**Asesmen OFDM**	**Prasyarat DL**	**Prasyarat UL**	**Prasyarat *sidelink***	**Prasyarat V2X**	**Prasyarat *backhaul***
Efisiensi spectral	Tinggi	Sangat tinggi	Sangat tinggi	Tinggi	Sangat tinggi	Sangat tinggi
Kompatibilitas MIMO	Tinggi	Sangat tinggi	Sangat tinggi	Tinggi	Sangat tinggi	Sangat tinggi
Lokalisasi waktu	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Sangat tinggi	Sangat tinggi
Transceiver baseband complexity	Tinggi	Sangat tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
Fleksibilitas/skalabilitas	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Sangat tinggi	Tinggi	Tinggi
PAPR	Tinggi (bisa dikurangi)	Rendah	Tinggi	Tinggi	Sedang	Rendah
Lokalisasi frekuensi	Rendah (bisa ditingkatkan	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	Rendah

Pada Tabel 2 disajikan ringkasan dari asesmen OFDM. Asesmen OFDM ” tinggi” pada kolom kedua berarti OFDM memilikik performa yang bagus pada keseluruhan KPI, sedangkan link persyaratan "tinggi" untuk KPI mengatakan bahwa bentuk gelombang yang diberikan KPI penting untuk link yang diberikan Ketik secara umum. Kami menilai D2D dan V2X kasus secara terpisah karena berbagai tingkat persyaratan. Sebagai contoh, V2X komunikasi memiliki persyaratan yang lebih tinggi pada mobilitas, system kapasitas, sedangkan kebutuhan

yang lebih rendah pada efisiensi daya Bila dibandingkan dengan komunikasi UE-ke-UE. Berdasarkan penilaian di Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa OFDM sangat pilihan untuk antarmuka udara NR.

H. Numerologi 5G NR

Akses teknoologi NR mempunyai system OFDM yang fleksibel untuk memungkinkan beroprasi pada cakupan pita frekuensi yang lebar, mencakup beberapa Opsi penyebaran, pembahasan kasus penggunaan yang berbeda, dan beroperasi di bawah berbagai paradigma akses spektrum [1]. NR rel-15 membahas rentang hingga 52,6 GHz dan mendefinisikan dua frekuensi Rentang: FR1 (sub 6 GHz, 0,45-6 GHz) dan FR2 (mmWave, 24,25-52,6 GHz). Band frekuensi yang lebih besar akan dianggap di NR rel-16, meskipun belum didefinisikan.

Tabel 3. Numerologi pada 5G NR

OFDM PARAMETERS	μ=0	μ=1	μ=2	μ=3	μ=4
SCS [kHz]	15	30	60	120	240
OFDM symbol length [μs]	66,67	33,33	16,67	8,33	4,17
CP length [μs]	~4,8	~2,4	~1,2	~0,6	~0,3
Subframes in a frame	10	10	10	10	10
Slots in a subframe	1	2	4	8	16
Slot length [μs]	1000	500	250	125	62,5
OFDM symbols in a slot	14	14	14	14	14
Subcarriers in a PRB	12	12	12	12	12
PRB width [MHz]	0,18	0,36	0,72	1,44	2,88

Tabel 3 menunjukkan parameter numerologies NR yang berbeda. $\mu = 0$ sesuai dengan konfigurasi sistem LTE, sementara $\mu > 0$ memungkinkan bandwidth yang lebih besar dan waktu transmisi lebih pendek Interval (TTI), yang berguna untuk band mmWave dan delaycritical layanan. Dibandingkan dengan LTE, di NR yang SCS dan Panjang simbol OFDM dapat memiliki nilai yang berbeda tergantung pada Numerologi yang dikonfigurasi, sehingga mengurangi TTI dan penundaan akses [7].

3. Model Sistem dan Perancangan

A. Spesifikasi Perangkat

Pada bagian ini akan diuraikan mengenai informasi spesifik kebutuhan baik perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*) yang digunakan pada tugas akhir ini.Perangkat Keras\ Perangkat keras dimaksud merupakan seluruh penunjang yang ada secara fisik. Perangkat yang digunakan merupakan sebuah laptop dengan spesifikasinya dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Spesifikasi Perangkat Keras.

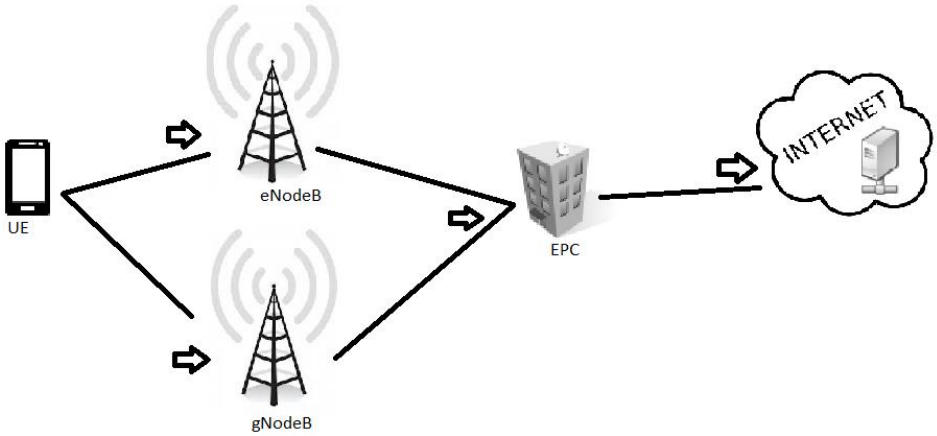
Jenis	**Deskripsi**
Prosesor	Intel Core i7 CPU @ 2,60 GHz
RAM	16,00 GB 2666 MHz DDR4

Perangkat Lunak Perangkat lunak yang dimaksud adalah seluruh penunjang berupa aplikasi atau program yang terinstal di laptop. Berbagai perangkat lunak yang digunakan dalam penilitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 5. Spesifikasi Perangkat Lunak.

Perangkat Lunak (Software)	**Nama**
Sistem Operasi	Linux Ubuntu 16.04 64 bit
Simulator Jaringan	Network Simulator 3 versi 3.25
Simulator Visualisasi	Netanim versi 106
Machine Virtualization	Oracle VM Virtualbox
RAM	8,00 GB

B. Pemodelan Jaringan



Gambar 5. Permodelan jaringan

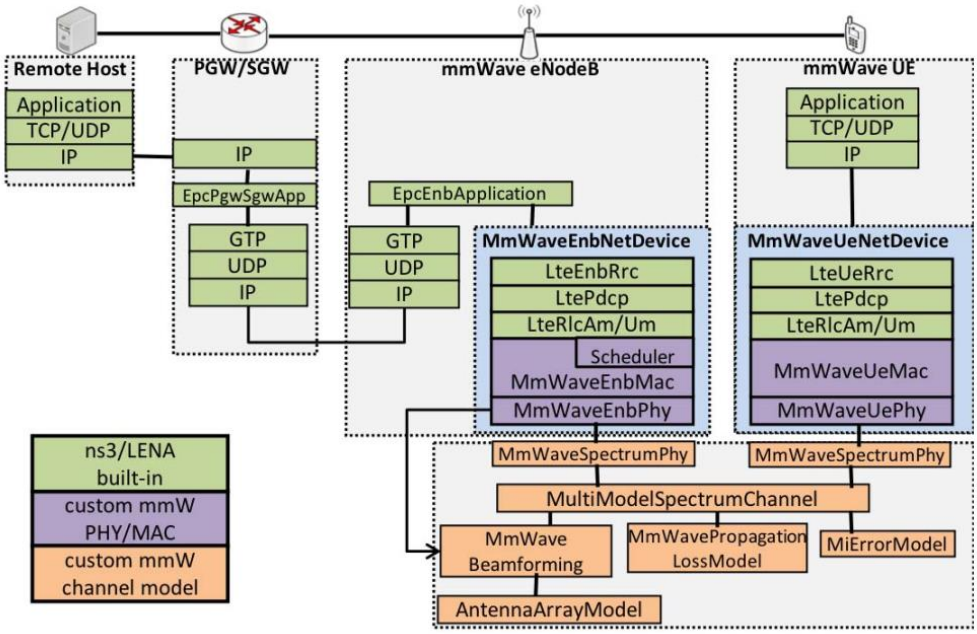
Desain topologi jaringan yang digunakan pada tugas akhir ini seperti pada Gambar 5 Permodelan jaringan yang digunakan menggunakan satu pengirim dan satu eNodeB. Node remote host berfungsi sebagai pengirim. Node remote host terhubung ke node pgw secara *point to point*. Datarate antara node pgw dengan node remotehost 100Gbps dan EPC yang merepresentasikan *Core Network* (CN) dibuat dengan koneksi *point-to-point* lainnya dengan *rate* maksimum 10 Gbps, tanpa *delay* propagasi.

C. Skenario Jaringan

Tabel 6. Relevant simulation parameters

Parameter	*Value*
Channel Model	3GPP
Channel Condition	Line-Of-Sight
Channel bandwidth	50 - 400 MHz
Channel central freq.	28 GHz
Scenario	Urban (UMa)
Shadowing	false
Beam Angle Step	10 degrees
Beamforming Method	Beam Search
Modulation Coding Scheme	Adaptive
Ctrl/Data encode latency	2 slots
Radio Scheduler	Round-Robin

Skenario pengujian yang dilakukan berdasarkan pokoknya ada 1. Skenario pengujian dilakukan dengan 5 skenario dapat dilihat pada Tabel 6 yaitu satu *user* dan tidak ada *obstacle*, satu *user* dan ada *obstacle*, dua *user* dan tidak ada *obstacle* serta dua *user* dan ada *obstacle*. Tujuan pengujian dengan skenario *obstacle* adalah untuk mengetahui kinerja dari masing-masing numerologi OFDM terhadap performansi jaringan 5G NR yang terbaik digunakan untuk jaringan seluler mmWave. *Obstacle* ditempatkan disepanjang *user* sebagai representasi dari keadaan realistis. *Obstacle* yang digunakan berupa bangunan dan pohon dapat dilihat pada gambar 3.1. Sedangkan tujuan pengujian dengan skenario jumlah user adalah untuk mengatahui numerologi OFDM yang terbaik dalam hal perfromansi jaringan. Kelima skenario tersebut juga merepresentasikan KPI dari jaringan seluler mmWave. Core network yang digunakan pada module mmwave masih menggunakan core network LTE. Berikut merupakan topologi remote host/server, core network dan user.



Gambar 6. Topologi Simulasi Jaringan [1]

Beberapa parameter yang diukur adalah *packet loss*, *latency* , *throughput*. Pada tugas akhir ini, *packet loss* yang diukur merupakan jumlah paket yang hilang dan dibutuhkan proses *retransmission*. *Latency* merupakan waktu yang diperlukan untuk mengirim paket dari pengirim ke penerima tanpa menunggu adanya ack kembali ke pengirim. *Throughput* merupakan besarnya paket yang diterima oleh *user* persatuan waktu. Untuk mengukur *throughput* dan *latency* digunakan rumus.Selain parameter yang diukur, terdapat juga parameter-parameter yang ditetapkan secara umum untuk pembuatan skenario jaringan. Parameter-parameter umum dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Parameter Umum Simulasi

No.	Parameter	Nilai Default	Deskripsi
1.	SubframePerFrame	10	Jumlah *subframe* dalam satu *frame*
2.	SubframeLenth	100 µs	Panjang dari satu *subframe*
3.	SymbolsPerSubframe	24	Jumlah dari simbol OFDM per slot
4.	SymbolLength	4,16 µs	Panjang dari satu simbol OFDM
5.	NumSubbands	72	Jumlah dari *subband*
6.	SubbandWidth	13,89 MHz	Lebar dari *subband*

7.	SubcarriersPerSubband	48	Jumlah *subcarrier* dalam setiap *subband*
8.	CenterFreq	28 Ghz	Frekuensi pembawa
9.	NumRefScPerSymbol	864 (25% total)	Referensi *subcarrier* per simbol
10.	NumDlCtrlSymbols	1	*Downlink control symbol per subframe*
11.	NumUlCtrlSymbols	1	*Uplink control symbol per subframe*
12.	GuardPeriod	4,16 µs	*Guard period* untuk moda *switching* DL-*to*-UL
13.	MacPhyDataLatency	2	*Subframe between MAC scheduling request scheduled subframe*
14.	PhyMacDataLatency	2	*Subframe between TB reception at PHY and delivery to MAC*
15.	NumHarqProcesses	20	Jumlah dari proses HARQ baik untuk DL dan UL
16.	Bandwidth	200 MHz	Lebar pita yang akan digunakan
17.	CoreNetwork	EPC	*Core network* yang akan digunakan

4. Hasil Simulasi dan analisa

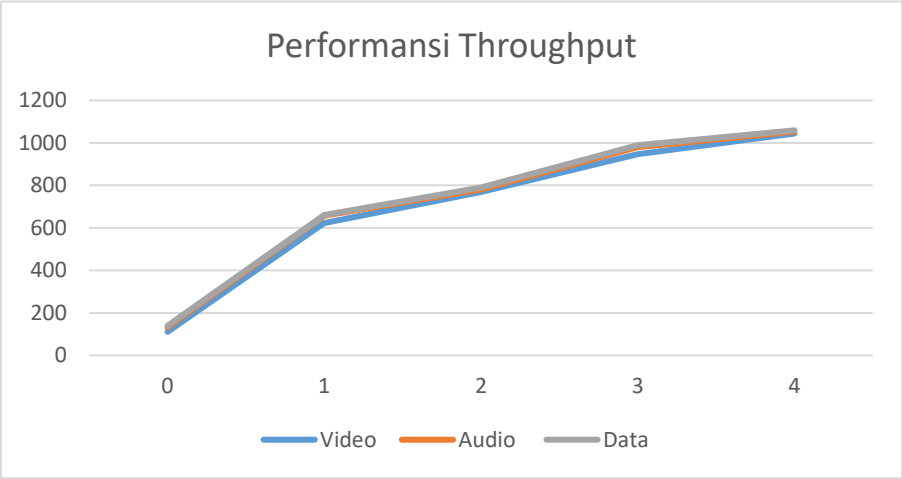
Setelah melakukan simulasi pada NS-3 untuk uji performansi jaringan 5G NR pada frekuensi 28 GHz dengan melakukan beberapa simulasi yaitu menguji performansi pada numerologi OFDM karena seperti kita ketahui 5G NR akan beroperasi pada FR-1 dan FR-2. Oleh karena itu dengan perbedaan range frekuensi maka numerologi OFDM harus menyesuaikan sesuai dengan pada frekuensi berapa 5G NR akan dioperasikan.

A. Analisa *Throughput* pada setiap numerologi

Tabel 8. Hasil simulasi *throughput* pada numerologi OFDM

Numerologi	Video	Audio	Data
0	110,54	132,33	139,22
1	623,11	657,43	660,22
2	768,98	781,36	790,01
3	947,15	979,63	989,22
4	1044,28	1053,31	1059,21

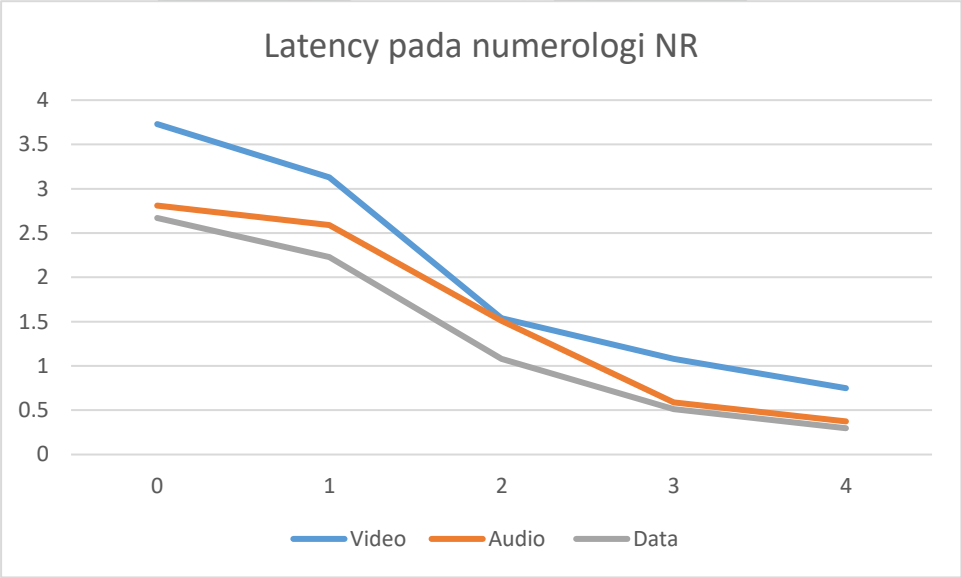
Dapat dilihat pada Tabel 8 hasil simulasi *throughput* pada numerologi OFDM dapat dilihat bahwa nilai *throughput* membesar dengan meningkatnya numerologi yang digunakan.



Gambar 7. hasil simulasi throughput pada setiap numerologi 5G

Pada Gambar 7. dapat dianalisa performansi DL throughput. Terjadi tren peningkatan *throughput* seiring dengan peningkatan numerologi 5G yang digunakan pada simulasi, dengan peningkatan nilai *throughput* tiap kali numerologi ditingkatkan hal ini disebabkan karena dengan setiap kali numerologi ditingkatkan maka panjang slot akan mengecil. Untuk keseluruhan, ketika menggunakan *Sub Carrier Spacing* yang rendah, lebar *Physical Resource Bandwidth* dikurangi, maka akan lebih banyak *Physical Resource Bandwidth* yang tersedia dan lebar pita akan lebih dimanfaatkan secara efisien, yang menghasilkan *throughput* yang lebih besar. Secara khusus, laju peningkatan sebanding dengan dikuranginnya *round trip time* End-to-End dan begitu juga dengan keuntungan dari numerologi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, aliran data yang memiliki jumlah data yang tetap untuk dikirimkan akan dikirimkan dalam waktu yang lebih cepat pada penggunaan numerologi yang lebih tinggi (karena mengurangi *latency*), yang mana membuat hasil *throughput* juga menjadi lebih baik.

B. Analisa *latency* pada numerologi NR



Gambar 8. Hasil simulasi *latency* pada numerologi 5G

Pada Gambar 8. hasil simulasi *latency* pada numerologi 5G dapat dianalisa bahwa, nilai lantesi menurun seiring dengan peningkatan numerologi yang digunakan. Bagaimana mungkin setengah dari *slot time* sesuai dengan latensi yang lebih rendah dialami oleh paket tunggal? Alasannya adalah pada mekanisme SR (*Scheduling Request*). Laju kedatangan data dalam *buffer* RLC (*Radio Link Control*), bersamaan dengan pentransmisian dan waktu pemrosesan berubah dalam numerologi. Kedua komponen menghasilkan sinergi yang dibutuhkan untuk

mengirimkan *scheduling request* untuk mengulang kembali aliran data, menurunkan nilai latensi. Oleh karena itu numerologi lebih rendah menghasilkan nilai latensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan numerologi lebih tinggi. Meskipun *time slot* lebih rendah dibandingkan pada numerologi yang lebih tinggi *overhead* untuk peningkatan jumlah *scheduling request* terlihat pada nilai latency numerologi 1. Secara keseluruhan pada numerologi yang tinggi (3 dan 4) penurunan nilai latensi hanya sedikit karena time slot dimulai untuk nilai yang sangat kecil (kurang dari 0.2 ms) dan sebuah paket tunggal ditengah banyaknya aliran data memerlukan lebih dari satu slot untuk bisa dikirimkan seluruhnya. Oleh karena itu, terus didapatkan melalui mean *buffer status report*.

C. Analisa *packet loss* pada numerologi 5G

Tabel 9. hasil simulasi *packet loss* pada numerologi NR

Numerologi	Video	Audio	Data
0	0,0003%	0,0003%	0,0003%
1	0,0003%	0,0003%	0,0003%
2	0,0003%	0,0003%	0,0003%
3	0,0003%	0,0003%	0,0003%
4	0,0003%	0,0003%	0,0003%

Pada Tabel 9 hasil simulasi untuk *packet loss* pada numerologi 5G NR dapat dianalisa bahwa untuk semua numerologi tidak memilki pengaruh terhadap *packet loss* hal ini karena biasanya *packet loss* dipengaruhi oleh jumlah user *path loss* yang mana pada simulasi tugas akhir ini jumlah pengguna hanya 1 dan perhitungan *path loss* diabaikan.

5. Kesimpulan

Nilai *throughput* terbaik berdasarkan pada hasil simulasi yaitu pada Gambar 7 dengan rata - rata *throughput* 1052,26 Mbps untuk numerologi 4 karena, menggunakan *suscarrier spacing* yang kecil, lebar *physical resource bandwidth* dikurangi, maka akan lebih banyak *physical resource bandwidth* yang tersedia dan *bandwidth* akan dimanfaatkan secara efisien. Nilai latensi terbaik berdasarkan hasil simulasi yang diplot pada Gambar 8 dengan rata – rata nilai latensi 0,473 ms untuk numerologi 4 hal ini dikarenakan oleh, Laju kedatangan data dalam *buffer* RLC (*Radio Link Control*), bersamaan dengan pentransmisian dan waktu pemrosesan berubah dalam numerologi. Kedua komponen menghasilkan sinergi yang dibutuhkan untuk mengirimkan *scheduling request* untuk mengulang kembali aliran data, menurunkan nilai latensi. Berdasarkan hasil simulasi jaringan 5G *new* radio dengan skema arsitektur 3 penggunaan numerologi tidak mempengaruhi *packet loss* hal ini dibuktikan pada Tabel 9 yaitu untuk semua numerologi memiliki nilai *packet loss* 0,00003%. Numerologi terbaik adalah numerologi 4 berdasarlam tabel 4.11 dengan rata – rata latensi 0,473 ms, *throughput* 1052,26 Mbps dan *packet loss* 0,0003%. Hal ini dikarenakan pada numerologi 4 menggunakan *suscarrier spacing* yang kecil, lebar *physical resource bandwidth* dikurangi, maka akan lebih banyak *physical resource bandwidth* yang tersedia dan *bandwidth* akan dimanfaatkan secara efisien. Numerologi terburuk adalah numerologi 0 berdasarkan tabel 4.11 dengan rata – rata latensi 3,07 ms, *hroughput* 127,36 Mbps dan *packet loss* 0,0003%. Pada numerologi 0 menggunakan *subcarrier spacing* yang lebih besar, lebar *physical resource bandwidth* akan membesar, maka akan lebih sedikit *physical resource bandwidth* yang tersedia dan *bandwidth* maka pemanfaatan *bandmidth* menjadi tidak efisien.

Daftar Pustaka

[1] Mezzavilla M, Zhang M, Polese M, Ford R, Dutta S, Rangan S & Zorzi M. (2018). 3GPP TR 38.912, *TSG RAN; Study on New Radio (NR) access technology*, Release 14, v14.0.0, Mar. 2017.

[2] A. A. Zaidi *et al.*, "Waveform and numerology to support 5G services and requirements," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, pp. 90–98, Nov. 2016.

[3] M. Mezzavilla, M. Zhang, M. Polese, R. Ford, S. Dutta, S. Rangan, and M. Zorzi, "End-to-End Simulation of 5G mmWave Networks," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, pp. 1–1, 2018.

[4] N. Baldo, M. Miozzo, M. Requena-Esteso, and J. Nin-Guerrero, "An Open Source Product-oriented LTE Network Simulator Based on Ns-3," in *Proceedings of the 14th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, MSWiM '11, (New York, NY, USA), pp. 293–298, ACM, 2011.

[5] B. Bojovic, S. Lagen, and L. Giupponi, "Implementation and Evaluation of Frequency Division Multiplexing of Numerologies for 5G New Radio in Ns-3," in *Proceedings of the 2018 Workshop on ns-3, Surathkal, India, June '18*, WNS3 2018, pp. 37–44, ACM, 2018.

[6] 3GPP TS 38.300, *NR; Overall description; Stage-2*, Release 15, v15.1.0, Apr. 2018.

[7] S. Lagen, B. Bojovic, S. Goyal, L. Giupponi, and J. Mangues-Bafalluy, "Subband Configuration Optimization for Multiplexing of Numerologies in 5G TDD New Radio," *IEEE Int. Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun.*, Sep. 2018.