

Analisis Kapasitas Shannon pada Jaringan LTE di Kota Makassar

Nurul Khoviva Anastasya Putri Bakri¹⁾, Sulwan Dase²⁾, Umar Katu³⁾

^{1,2,3} Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang

¹khovivatsy08@gmail.com, ²sulwandase@poliupg.ac.id, ³umarkatu@yahoo.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sumber-sumber penyebab menurunnya kapasitas Shannon di Kota Makassar, khususnya di kelurahan Antang dan menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas Shannon pada jaringan LTE. Identifikasi sumber-sumber penyebab menurunnya kapasitas Shannon dilakukan dengan pengukuran metode *drive test* menggunakan *TEMS Pocket* dan monitoring parameter hasil *drive test* secara visual menggunakan software *TEMS Investigation 23.1*. Hasil pengukuran *drive test* menghasilkan nilai parameter jaringan LTE pada daerah yang diteliti yaitu parameter RSRP, RSSI, RSRQ, SINR dan *throughput*. Kelima parameter ini saling berkaitan erat. Jika nilai RSRP, RSSI, SINR dan RSRQ mengalami penurunan maka nilai *throughput* juga akan menurun. Penurunan tersebut disebabkan oleh interferensi, daya pancar yang tinggi dari eNodeB lain, *noise*, refleksi, difraksi, *scattering*, *traffic* yang padat dan faktor sensitivitas dari *handphone* yang digunakan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas Shannon pada jaringan LTE adalah SINR dan jumlah BER yang dihasilkan. Jika nilai SINR tinggi maka nilai BER rendah, begitu pula sebaliknya, SINR yang rendah akan meningkatkan BER sehingga jumlah bit data yang berhasil dikirim akan rendah. Selain itu, terdapat juga hubungan antara parameter RSRP dan RSSI dengan kapasitas Shannon. Jika kedua parameter tersebut mengalami penurunan maka jumlah informasi yang berhasil dikirim juga akan menurun yang menyebabkan kualitas sinyal juga menurun.

Keywords: Kapasitas Shannon, LTE, Makassar, *drive test*, *throughput*

I. PENDAHULUAN

Di era digital saat ini, teknologi telekomunikasi menjadi bagian penting bagi aktivitas manusia dalam membantu pekerjaan sehari-hari terkhusus kegiatan yang dilakukan secara daring (dalam jaringan). Oleh karena itu, pengguna layanan komunikasi membutuhkan teknologi jaringan berkecepatan tinggi yang memiliki kualitas jaringan yang baik saat digunakan dalam berkomunikasi. Pada jaringan telekomunikasi, kapasitas informasi sangat dipengaruhi oleh bandwidth dan besarnya nilai SINR (*Signal To Interference Noise Ratio*) dengan persamaan umum sesuai yang dikemukakan oleh Claude Shannon pada tahun 1948. Idealnya, jumlah bit data yang dikirimkan sesuai dengan teknologi telekomunikasi yang digunakan pada saat itu. Teknologi telekomunikasi yang berkembang dan umum digunakan di Indonesia yaitu LTE (*Long Term Evolution*).

LTE merupakan standar komunikasi dari 3GPP (*Third Generation Partnership Project*) yang didesain dapat mentransmisikan data dengan kecepatan hingga 100 Mbps untuk *downlink* dan 50 Mbps untuk *uplink* [1]. LTE mampu mendukung semua aplikasi yang ada baik *voice*, data, video, maupun IP TV yang dapat diakses dimana saja dan kapan saja. Namun dalam perkembangan teknologi LTE di Indonesia, tampaknya kecepatan tersebut tidak terealisasi secara merata di beberapa daerah. Masih terdapat permasalahan-permasalahan jaringan yang sangat mengganggu dan sering dialami dalam kehidupan sehari-hari diantaranya yaitu terjadi *loading* hingga *error* pada saat *browsing*, *buffering* pada saat *streaming video*, suara dan tampilan gambar tidak sinkron bahkan sampai sambungan tiba-tiba terputus pada saat melakukan *video call* atau *video conference*. Hal tersebut terjadi karena kekuatan sinyal yang berbeda-beda di setiap daerah sehingga

mengakibatkan kapasitas Shannonna pun juga akan berbeda-beda.

II. KAJIAN LITERATUR

A. LTE (Long Term Evolution)

LTE merupakan sebuah proyek *4th Generation* (4G) yang diusung oleh 3GPP berdasarkan pengembangan dari teknologi sebelumnya. LTE memiliki kecepatan pengiriman data yang dapat mencapai 100 Mbps pada sisi *downlink* dan 50 Mbps pada sisi *uplink* [1].

LTE menggunakan sistem *multiple antenna* untuk mendukung kecepatan pengiriman data yaitu teknologi *Multiple-Input-Multiple-Output* (MIMO) [2].

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja LTE yaitu refleksi, difraksi, hamburan, atenuasi, distorsi, interferensi, dan *noise*.

B. Parameter Kinerja LTE

a) RSRP (*Reference Signal Received Power*)

RSRP digunakan untuk mengukur *coverage* sel LTE pada sisi UE. UE akan mengirimkan laporan pengukuran RRC yang menyertakan nilai RSRP di dalamnya dengan rentang pelaporan RSRP didefinisikan dari -140 sampai -44 dBm [3].

Area RSRP yang rendah biasanya menunjukkan gejala *pilot pollution*, *overshooting*, kurangnya *cell* yang dominan, perbedaan area *coverage cell*, lokasi “*out of service*”, masalah *neighbor list*, hingga *coverage hole* [2].

Adapun *range* parameter RSRP ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 1. Standar Nilai RSRP (Software TEMS Investigation 23.1)

Kategori	Range Nilai RSRP (dBm)
Excellent	$(-70) \leq \text{RSRP} < 25$
Good	$(-80) \leq \text{RSRP} < (-70)$
Normal	$(-90) \leq \text{RSRP} < (-80)$
Bad	$(-100) \leq \text{RSRP} < (-90)$
Poor	$(-140) \leq \text{RSRP} < (-100)$

b) RSSI (Reference Signal Strength Indicator)

RSSI merupakan daya sinyal yang diterima user dalam rentang frekuensi tertentu termasuk *noise* dan interferensi yang diukur melalui seluruh *bandwidth* termasuk *co-channel serving* dan *non-serving cells*, interferensi saluran yang berdekatan, dan semua thermal noise. Secara teori, $\text{RSSI} = \text{noise} + \text{daya serving cell} + \text{daya interference}$ [4]. Adapun *range* parameter RSSI ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Standar Nilai RSSI (Software TEMS Investigation 23.1)

Kategori	Range Nilai RSSI (dBm)
Excellent	$(-80) \leq \text{RSSI} < (-40)$
Normal	$(-100) \leq \text{RSSI} < (-80)$
Poor	$(-140) \leq \text{RSSI} < (-100)$

c) RSRQ (Reference Signal Receive Quality)

RSRQ merupakan parameter yang menentukan kualitas dari sinyal yang diterima. RSRQ membantu sistem dalam proses handover di mana RSRQ dapat meranking performansi kandidat sel dalam proses *cell selection - reselection* dan *handover* berdasarkan kualitas sinyal yang diterima [5]. Adapun *range* parameter RSRQ ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3. Standar Nilai RSRQ (Software TEMS Investigation 23.1)

Kategori	Range Nilai RSRQ (dB)
Excellent	$(-9) \leq \text{RSRQ} < 20$
Good	$(-14) \leq \text{RSRQ} < (-9)$
Normal	$(-19) \leq \text{RSRQ} < (-14)$
Bad	$(-24) \leq \text{RSRQ} < (-19)$
Poor	$(-40) \leq \text{RSRQ} < (-24)$

d) SINR (Signal to Interference Noise Ratio)

SINR merupakan rasio perbandingan kuat sinyal antara sinyal utama yang dipancarkan dengan interferensi dibanding *noise background* yang timbul (tercampur dengan sinyal utama). Dalam arti rasio yang antara rata-rata power diterima dengan rata-rata interferensi dan *noise*. Minimum RSRP dan SINR yang sesuai tergantung dengan *bandwidth* frekuensinya [6].

SINR mendefinisikan *throughput*, *coverage*, dan kapasitas jaringan, yang berujung pada pengalaman pengguna. Faktor-faktor yang mempengaruhi SINR antara lain posisi UE dalam sel (RSRP), interferensi beban sel, interferensi sel geometri, jenis *clutter* dan medan, serta konfigurasi *reference signal* [4].

Adapun *range* parameter SINR ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. Standar Nilai SINR (Software TEMS Investigation 23.1)

Kategori	Range Nilai SINR (dB)
Excellent	$20 \leq \text{SINR} < 30$
Good	$10 \leq \text{SINR} < 20$
Normal	$0 \leq \text{SINR} < 10$
Poor	$(-30) \leq \text{SINR} < 0$

e) Throughput

Throughput yaitu kecepatan (rate) transfer data efektif, yang diukur dalam bps (bit per second). *Throughput* adalah laju data aktual dari suatu informasi yang ditransfer. *Throughput* merepresentasikan seberapa banyak kapasitas *bandwidth* yang sebenarnya terpakai. Terdapat dua tipe *throughput* yaitu *download* dan *upload*. Adapun *range* parameter *throughput* ditunjukkan pada tabel berikut [7]:

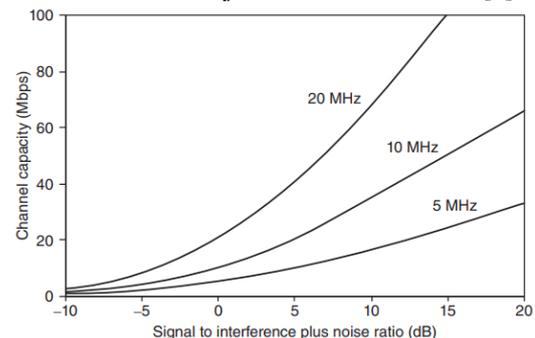
Tabel 5. Standar Nilai *Throughput* [7]

Kategori	Range Nilai <i>Throughput</i> (kbps)
Excellent	≥ 12000
Good	$7200 \leq \text{throughput} < 12000$
Normal	$1500 \leq \text{throughput} < 7200$
Bad	$324 \leq \text{throughput} < 1500$
Poor	< 324

C. Kapasitas Informasi

Secara teori, dalam sistem komunikasi seluler, kapasitas informasi merupakan kecepatan data maksimum yang dapat ditangani oleh satu sel dalam pengiriman data dari pemancar ke penerima tanpa kesalahan sama sekali.

Adapun grafik dari persamaan Teorema Shannon adalah sebagai berikut dimana sumbu vertikal menunjukkan kapasitas Shannon dalam Mbps, sedangkan sumbu horizontal menunjukkan SINR dalam dB [1].



Gambar 1. Kapasitas Shannon dari Sistem Komunikasi dalam Bandwidth 5, 10, dan 20 MHz

Berikut persamaan nilai kapasitas informasi yang dikemukakan oleh Claude Shannon pada tahun 1948 [1].

$$C = B \log_2(1 + \text{SINR})$$

$$= 3.32 B \log_{10}(1 + \text{SINR}) \quad (1)$$

dimana,

C = kapasitas informasi (bit/s)

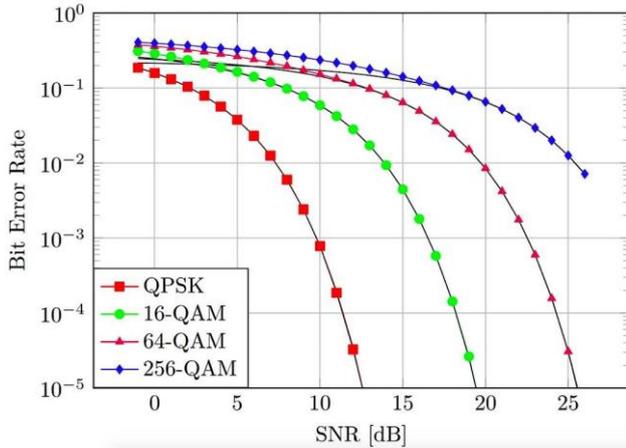
B = bandwidth sistem komunikasi (Hz)

SINR = rasio perbandingan daya sinyal dengan daya noise dan interferensi

D. BER (Bit Error Rate)

BER adalah jumlah kesalahan yang dapat diterima dan siap ditoleransi oleh sistem. Misalnya transmisi dengan BER 10⁻⁶, artinya, dari 1.000.000 bit yang ditransmisikan, satu bit salah. Rasio ini berkaitan erat dengan SINR yang diukur dalam desibel (dB). Adapun penyebab dari *error* yang meningkat, umumnya disebabkan oleh *noise*.

Berikut merupakan grafik perbandingan SINR dan BER[8].



Gambar 2. Grafik Perbandingan SINR dan BER

E. Drive Test

Drive test merupakan suatu proses pengukuran untuk mengambil data sebuah jaringan dengan menggunakan *software* dan *hardware* tertentu. *Drive test* bertujuan untuk mengumpulkan informasi jaringan secara real di lapangan. Informasi yang didapatkan dari hasil *drive test* merupakan kondisi aktual RF (*Radio Frequency*) di suatu eNodeB. Dari data yang telah diperoleh tersebut, dapat diketahui kondisi jaringan di suatu daerah.

III. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kelurahan Antang, Kecamatan Manggala, Kota Makassar. Sulawesi Selatan mulai Desember 2021 – Juli 2022.

B. Alat dan Bahan

Pada penelitian ini, alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut:

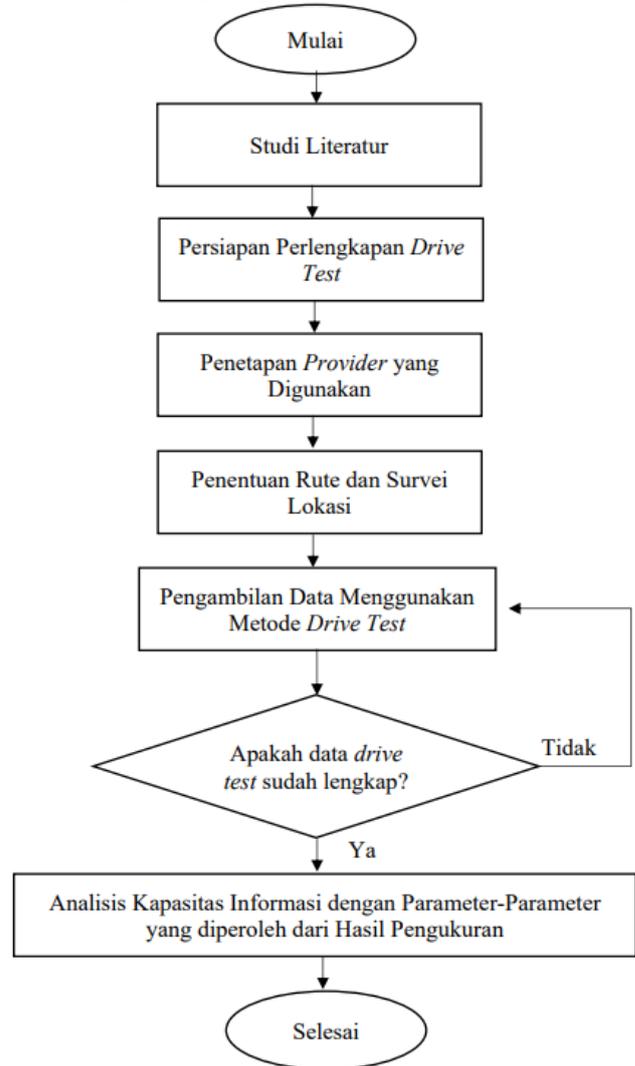
- a) Komputer yang dilengkapi dengan *software TEMS Investigation 23.1* digunakan sebagai alat monitoring parameter hasil *drive test* secara visual.
- b) *Handphone* yang digunakan sebagai terminal *download* data dan mengukur kekuatan sinyal yang diterima oleh pengguna. *Handphone* yang digunakan pada penelitian ini yaitu Samsung Galaxy Note 5 yang dilengkapi dengan *software TEMS Pocket*. Adapun untuk SIM card harus disesuaikan dengan operator yang diukur yaitu Telkomsel.
- c) Kabel data untuk menghubungkan antara laptop ke *handphone*. Kabel data yang digunakan yaitu USB Serial.

C. Teknik Pengumpulan dan Analisis Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan yaitu studi literatur dan observasi dimana peneliti melakukan pengambilan data secara langsung dengan metode *drive test*. Adapun parameter yang diambil pada *drive test* ini yaitu RSSI, RSRP, RSRQ, SINR dan *throughput*. Setelah dilakukan pengumpulan data, proses selanjutnya adalah menganalisis hasil *drive test* yaitu proses analisa logfile hasil *drive test*. Kemudian, menganalisis hubungan antara parameter-parameter yang didapatkan dengan kapasitas informasi menurut Shannon.

D. Bagan Alir (Flowchart)

Berikut bagan alir pada penelitian ini.

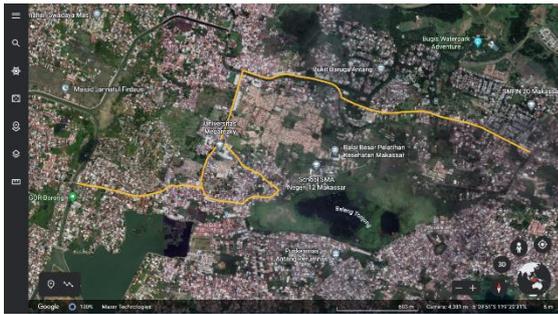


Gambar 3. Bagan Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

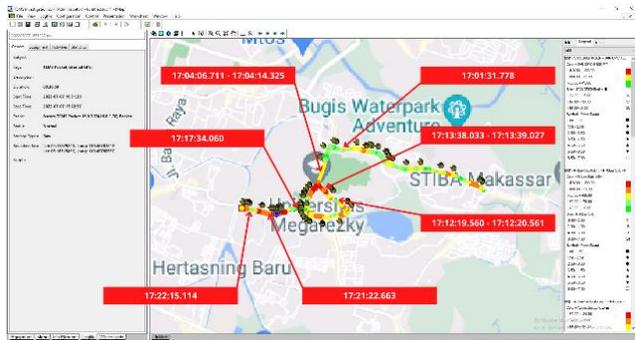
Penelitian ini dilakukan pada tanggal 7 Juli 2022 dengan pengukuran *drive test dedicated mode* dengan metode *download* pada pukul 16:51:38 – 17:22:37. Operator yang digunakan pada penelitian ini adalah Telkomsel dengan frekuensi 1800 MHz dan bandwidth 20 MHz. *Drive test* dilakukan pada Kecamatan Manggala, tepatnya pada Kelurahan Antang. Pengukuran *drive test* dimulai dari Jl. Nipa-Nipa, Jl. Raya Baruga, Jl. Antang

Raya, dan berakhir di Jl. Borong Raya. Berikut pemetaan wilayah tersebut.



Gambar 4. Tampilan Rute Drive Test

Penelitian ini menggunakan data hasil *drive test* guna mengamati kualitas sinyal dan mengetahui seberapa banyak jumlah informasi yang berhasil dikirim (*throughput*) per satuan waktu pada saat melakukan pengunduhan data. Kemudian, *throughput* yang dihasilkan dari hasil pengukuran tersebut dibandingkan dengan kapasitas informasi atau kapasitas Shannonna. Lalu, menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas Shannon pada jaringan LTE.



Gambar 5. Tampilan Rute DT Beserta Perkiraan Waktu pada TEMS Investigation 23.1

Gambar di atas menunjukkan tampilan perkiraan waktu dari beberapa *sample* titik pada rute hasil *drive test* pada TEMS Investigation 23.1 yang akan digunakan pada penelitian ini.

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan kapasitas Shannon berdasarkan persamaan (1) dengan SINR 4 dB.

Diketahui :

$$\text{SINR}_{(\text{dB})} = 4$$

$$\text{Bandwidth} = 20 \text{ MHz} = 20 \times 10^6 \text{ Hz}$$

Penyelesaian :

$$\text{SINR}_{(\text{dB})} = 10 \log_{10} \text{ SINR}$$

$$4 \text{ dB} = 10 \log_{10} \text{ SINR}$$

$$4/10 = \log_{10} \text{ SINR}$$

$$0.4 = \log_{10} \text{ SINR}$$

$$2.512 = \text{SINR}$$

Sehingga, kapasitas Shannonna yaitu :

$$C = 3.32 \times B \times \log_{10} (1 + \text{SINR})$$

$$= 3.32 \times 20 \times 10^6 \times \log_{10} (1 + 2.512)$$

$$= 3.32 \times 20 \times 10^6 \times \log_{10} 3.512$$

$$= 3.32 \times 20 \times 10^6 \times 0.546$$

$$= 36.254 \text{ Mbps}$$

Adapun nilai RSRP, RSSI, RSRQ, SINR, *throughput*, dan skema modulasi yang diambil dari beberapa *sample* titik dalam bentuk tabel, perhitungan interferensi dan noise serta perhitungan kapasitas Shannon berdasarkan persamaan (1) adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Pengukuran Drive Test Nilai RSRP, RSSI, RSRQ, dan SINR

Time	RSRP (dBm)	RSSI (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)
17:01:31.778	-90	-57	-13	4
17:04:06.711	-85	-51	-12	10
17:04:14.325	-89	-55	-12	8
17:12:19.560	-67	-36	-11	14
17:12:20.561	-76	-42	-11	12
17:13:38.033	-98	-63	-13	0
17:13:39.027	-94	-60	-13	2
17:17:34.060	-64	-31	-11	19
17:21:22.663	-93	-58	-13	3
17:22:15.114	-89	-56	-12	6

Tabel 7. Hasil Pengukuran Drive Test Skema Modulasi dan Throughput Beserta Perhitungan Kapasitas Shanon

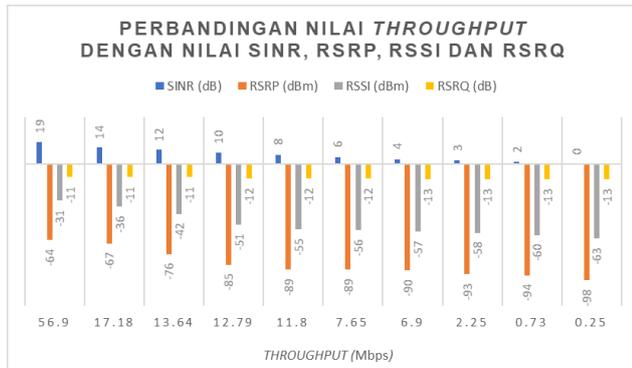
Time	Skema Modulasi	Throughput (Mbps)	Kapasitas Shannon (Mbps)
17:01:31.778	QPSK	6.9	36.254
17:04:06.711	QPSK	12.79	69.122
17:04:14.325	QPSK	11.8	57.37
17:12:19.560	16 QAM	17.18	94.089
17:12:20.561	QPSK	13.64	81.473
17:13:38.033	QPSK	0.25	19.986
17:13:39.027	QPSK	0.73	27.888
17:17:34.060	64 QAM	56.9	126.492
17:21:22.663	QPSK	2.25	31.606
17:22:15.114	QPSK	7.65	46.281

Pada penelitian ini, banyaknya jumlah informasi yang berhasil dikirim (*throughput*) per satuan waktu pada saat melakukan pengunduhan data sangat berbeda jauh dengan kapasitas maksimum atau kapasitas Shannonna. Hal ini dikarenakan pada saat pengukuran terjadi kesalahan bit yang ditransmisikan atau yang biasa disebut dengan *Bit Error Rate* (BER). Sebagai contoh pada pukul 17:01:31.778, didapatkan RSRP -90 dBm dalam kategori normal, RSSI -57 dBm dalam kategori *excellent*, RSRQ -13 dB dalam kategori *good*, SINR 4 dB dalam kategori normal, *throughput* 6.9 Mbps dalam kategori normal, skema modulasinya QPSK dan nilai kapasitas Shannonna 36.254 Mbps. Dapat diamati bahwa *throughput* yang diterima oleh *user* pada saat pengukuran sangat berbeda jauh dengan kapasitas maksimum atau kapasitas Shannonna. Hal ini

dikarenakan pada saat pengukuran terjadi kesalahan bit yang ditransmisikan atau yang biasa disebut dengan *Bit Error Rate* (BER). Pada gambar 2, dapat dilihat jika SINR 4 dB dengan skema modulasi QPSK maka kemungkinan akan terjadi transmisi dengan BER 10^{-1} yang artinya dari 10 bit yang ditransmisikan, akan ada kemungkinan 1 bit yang salah.

Penyebab dari *error* yang meningkat, umumnya disebabkan oleh *noise* dan interferensi. Jika nilai SINR tinggi maka nilai BER rendah, begitu pula sebaliknya, SINR yang rendah akan meningkatkan BER.

Berikut grafik perbandingan nilai throughput dengan nilai SINR, RSRP, RSSI, dan RSRQ.



Gambar 6. Perbandingan Nilai Throughput dengan Nilai SINR, RSRP, RSSI dan RSRQ

Pada gambar di atas, dapat dilihat bahwa jika nilai SINR, RSRP, RSSI dan RSRQ mengalami penurunan maka nilai *throughput* juga akan menurun. Penurunan tersebut disebabkan oleh interferensi dimana hadirnya sinyal dari frekuensi radio lain yang tidak diinginkan ataupun daya pancar yang tinggi dari frekuensi eNodeB lain serta *noise* yang akan selalu ada pada sistem transmisi. Selain itu, beberapa kondisi pada saat melakukan pengukuran juga mempengaruhi penurunan tersebut dimana transmisi sinyal dipengaruhi oleh kondisi lingkungan seperti bangunan, pepohonan dan banyaknya kendaraan yang berlalu lalang sehingga menyebabkan peredaman, pemantulan maupun pembelokan sinyal untuk sampai pada user, *traffic* yang padat, kapasitas kuota internet yang tersedia, dan faktor sensitivitas dari *handphone* yang digunakan,

V. KESIMPULAN

Setelah melakukan analisis data, maka didapatkan kesimpulan bahwa parameter RSRP, RSSI, RSRQ, SINR dan *throughput* saling berkaitan erat. Jika nilai RSRP, RSSI, SINR dan RSRQ mengalami penurunan maka nilai *throughput* juga akan menurun. Penurunan tersebut disebabkan oleh interferensi, daya pancar yang tinggi dari eNodeB lain, *noise*, refleksi, difraksi, scattering, traffic yang padat dan faktor sensitivitas dari *handphone* yang digunakan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas Shannon pada jaringan LTE adalah SINR dan jumlah BER yang dihasilkan. Jika nilai SINR tinggi maka nilai BER rendah, begitu pula sebaliknya, SINR yang rendah akan meningkatkan BER sehingga jumlah bit data yang berhasil dikirim akan rendah. Selain itu, terdapat juga hubungan antara parameter RSRP dan RSSI dengan kapasitas

Shannon. Jika kedua parameter tersebut mengalami penurunan maka jumlah informasi yang berhasil dikirim juga akan menurun yang menyebabkan kualitas sinyal juga menurun.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada orang-orang yang membantu dan turut andil dalam menyelesaikan penelitian ini khususnya dosen pengajar, staff dan mahasiswa(i) program studi S-1 Terapan (D4) Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi.

REFERENSI

- [1] Cox, Christopher. 2014. *An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE, VoLTE AND 4G Mobile Communications*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 9781118818039.
- [2] Elnashar, Ayman et al. 2014. *Design, Deployment and Performance of 4G-LTE Networks: Practical Approach*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 978-1-118-68321-7.
- [3] Kreher, Ralf and Karsten Gaenger. 2011. *LTE Signaling, Troubleshooting, And Optimization*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd. ISBN: 978-0-470-97771-2.
- [4] Zhang, Xincheng. 2018. *LTE Optimization Engineering Handbook*. Beijing: John Wiley & Sons Singapore Pte. ISBN 9781119159001.
- [5] Karo, Ferdinanto Karo dkk. 2019. *Analisis Hasil Pengukuran Performansi Jaringan 4G LTE 1800 MHz di Area Sokaraja Tengah Kota Purwokerto menggunakan Genex Asistant Versi 3.18*. AITI: Jurnal Teknologi Informasi.
- [6] Ramadianty, Vera Desi dkk. 2018. *Analisis Pengukuran Performansi Jaringan 4G LTE Telkomsel dalam Event Game Mobile Legends: Bang-Bang di Pontianak*. Pontianak: Universitas Tanjungpura.
- [7] Setiaji, Wahyu dkk. 2018. *Analisis Performansi dan Optimasi Jaringan Long Term Evolution (LTE) pada Wilayah Tol Padaleunyi*. e-Proceeding of Engineering, Volume 5 Nomor 1. ISSN: 2355-9365.
- [8] Docs Julia Hub. *Compute The Theoretical BER for AWGN Channel and Various Constellation Size*. (Online), https://docs.juliahub.com/DigitalComm/TYRD5/1.0.4/Examples/example_BER/, diakses pada 20 Januari 2022).