

# Analisis Pengukuran Kinerja Jaringan 4G LTE Berdasarkan Hasil *Drive Test*

Nur Halisa Herina<sup>1)</sup>, Sulwan Dase<sup>2)</sup>, Zaini<sup>3)</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang

<sup>1</sup> lisaHerina@yahoo.com, <sup>2</sup> sulwandase@poliupg.ac.id, <sup>3</sup> zaini@poliupg.ac.id

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan dalam mengidentifikasi penyebab yang terjadi pada skema modulasi ketika kinerja jaringan 4G LTE yang diukur menurun. Penelitian ini bertempat di Kelurahan Antang, Kecamatan Manggala, Kota Makassar dengan menggunakan jaringan yang disediakan oleh *provider* Telkomsel. Pengukuran dilakukan dengan metode *Drive Test* (DT) menggunakan *software* TEMS Pocket dan menganalisis hasil pengukuran tersebut menggunakan *software* TEMS Investigation 23.1. Hasil DT disesuaikan dengan *Key Performance Indicator* (KPI) pada sisi RF menggunakan parameter RSRP, RSSI, RSRQ, SINR, dan *throughput*. Parameter-parameter ini saling berkaitan dengan skema modulasi yang digunakan pada LTE yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Adapun diidentifikasi bahwa penurunan disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain *noise*, hingga sensitivitas dari perangkat DT yang digunakan, yang selanjutnya berdampak pada peningkatan jumlah *Bit Error Rate* (BER) pada jaringan. Sehingga, untuk memperoleh BER yang rendah, diperlukan nilai pada *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR) yang tinggi, begitu pula sebaliknya. Misalnya, dengan RSRP -74 dBm dan SINR 11 dB, akan memperoleh BER yang tinggi jika skema modulasi yang digunakan yaitu 64-QAM atau 16-QAM. Oleh karena itu, skema modulasi harus diturunkan menjadi QPSK untuk mencapai BER sebesar  $10^{-6}$ , di mana setiap bit ke-1.000.000 yang terkirim akan terdapat 1 *bit error* dan andal dalam membawa *throughput* 27,57 Mbps.

**Keywords:** LTE, Drive Test, Skema Modulasi, SINR, Kinerja Jaringan

## I. PENDAHULUAN

*Long Term Evolution* (LTE) merupakan standar teknologi komunikasi generasi keempat yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan pengguna *smartphone* saat ini yang menawarkan pengaksesan suara, data, hingga *video conference* yang dapat diakses "di mana saja" dan "kapan saja" [1]. Untuk menunjang kinerja jaringan pada teknologi ini, besar dari *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR) sangat berpengaruh dalam pemilihan skema modulasi yang digunakan dalam mentransmisi sejumlah data. Adapun skema modulasi yang digunakan pada LTE, yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.

Di Indonesia sendiri, teknologi LTE berkembang pesat seiring dengan meningkatnya tuntutan akan kebutuhan layanan. Akan tetapi, permasalahan jaringan yang dinilai cukup mengganggu masih sering ditemui, salah satu contohnya yaitu lambatnya akses internet saat ingin membuka suatu halaman *website*. Berdasarkan permasalahan tersebut, dapat dilihat bahwa hal tersebut terjadi karena kekuatan sinyal yang berbeda-beda pada setiap wilayah, sehingga berdampak pada kinerja jaringan dan mengakibatkan perubahan pada skema modulasi.

Hal ini memotivasi penelitian ini dengan mengambil konsep analisis skema modulasi guna mengidentifikasi penyebab baik-buruknya kinerja jaringan 4G LTE.

## II. KAJIAN LITERATUR

### A. Long Term Evolution (LTE)

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). Dalam sistem MIMO, sinyal pada antena pengirim (Tx) di satu titik dan antena penerima (Rx) di titik lainnya digabungkan. Sehingga, kualitas (*bit error rate*) atau kecepatan data komunikasi untuk setiap pengguna MIMO dapat menjadi baik. Konfigurasi yang umum digunakan pada LTE yaitu MIMO 2x2 karena alasan biaya dan kinerja [2].

### B. Teknik Modulasi pada LTE

Terdapat tiga jenis skema modulasi yang ada pada LTE, antara lain sebagai berikut.

#### 1. Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

QPSK termasuk kategori *low order* modulasi karena QPSK hanya terdiri dari 4 simbol dan setiap simbol terdiri dari 2 bit ( $2^2 = 4$ ). QPSK digunakan pada saat kondisi kanal antara pengirim dan penerima buruk (nilai SINR rendah). Kelebihan dari

modulasi QPSK yaitu lebih tahan terhadap interferensi dan *bit rate* yang rendah [3].

2. *Sixteen Quadrature Amplitude Modulation (16-QAM)*

16-QAM, adalah sistem *M*-ary, di mana simbolnya terdiri dari 16 simbol ( $M = 16$ ), di mana setiap simbol terdiri dari 4 bit ( $2^4 = 16$ ) [3].

3. *Sixty Four Quadrature Amplitude Modulation (64-QAM)*

64-QAM terdiri dari 64 simbol ( $M = 64$ ), di mana setiap simbol terdiri dari 6 bit ( $2^6 = 64$ ). Oleh karena itu, modulasi 64-QAM termasuk kategori *high order modulation*. 64-QAM digunakan pada saat kondisi *channel* antara pengirim dan penerima cukup baik (nilai SINR tinggi) dan mampu memberikan *bit rate* yang tinggi [4].

C. *Key Performance Indicator (KPI) pada Sisi RF LTE*

KPI ini umumnya didapatkan melalui *drive test* menggunakan alat pengujian tertentu. Solusi untuk setiap masalah RF bervariasi tergantung pada konfigurasi lokasi dan morfologi lokasi pengujian, yaitu daerah perkotaan, pinggiran kota, atau pedesaan [2]. Berikut merupakan parameter yang terdapat pada KPI.

1. *Reference Signal Received Power (RSRP)*

RSRP digunakan untuk mengukur *coverage* sel LTE pada sisi UE. Rentang nilai RSRP didefinisikan sebagai berikut [4].

Tabel 1. Standar Parameter RSRP

KATEGORI	RENTANG NILAI
Excellent	(-70) – 25 dBm
Good	(-80) – (-70) dBm
Normal	(-90) – (-80) dBm
Bad	(-100) – (-90) dBm
Poor	(-140) – (-100) dBm

2. *Received Signal Strength Indicator (RSSI)*

RSSI merupakan daya sinyal yang diterima *user* dalam rentang frekuensi tertentu. Secara teori, RSSI adalah *noise* ditambah dengan daya *servicing cell* dan daya *interferensi*. Berikut rentang nilai RSSI [5].

Tabel 2. Standar Parameter RSSI

KATEGORI	RENTANG NILAI
Excellent	(-80) – (-40) dBm
Normal	(-100) – (-80) dBm
Poor	(-140) – (-100) dBm

3. *Reference Signal Receive Quality (RSRQ)*

Seperti RSRP, RSRQ digunakan untuk menentukan kinerja sel terbaik untuk koneksi radio LTE di lokasi geografis tertentu. Perbedaannya ialah RSRP merupakan kekuatan absolut dari *reference signal*, sedangkan RSRQ merupakan rasio *signal-to-noise*. Berikut rentang nilai RSSI [2].

Tabel 3. Standar Parameter RSRQ

KATEGORI	RENTANG NILAI
Excellent	(-9) – 20 dB
Good	(-14) – (-9) dB
Normal	(-19) – (-14) dB
Bad	(-24) – (-19) dB
Poor	(-40) – (-24) dB

4. *Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)*

SINR, atau *Reference Signal Carrier to Interference plus Noise Ratio (RS CINR)*, merupakan rasio perbandingan antara sinyal utama yang dipancarkan dengan interferensi ditambah *noise* yang timbul. Rentang nilai SINR didefinisikan sebagai berikut [5].

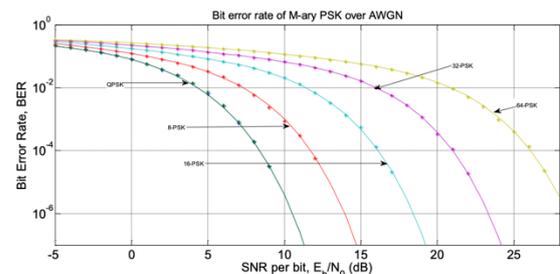
Tabel 4. Standar Parameter SINR

KATEGORI	RENTANG NILAI
Excellent	20 – 30 dB
Good	10 – 20 dB
Normal	0 – 10 dB
Poor	(-30) – 0 dB

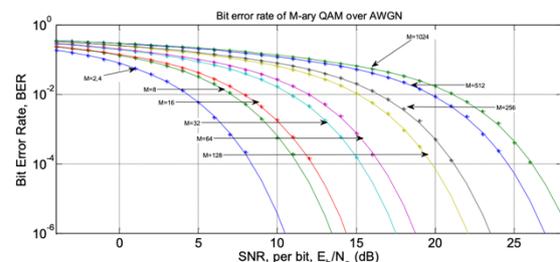
5. *Throughput*

*Throughput* adalah nilai kecepatan data (Kbit/s) dari UE ke eNB. Terdapat dua tipe *throughput* yaitu *download* dan *upload*. Adapun dalam menyesuaikan kebutuhan masyarakat, kegiatan *drive test* umumnya dilakukan menggunakan metode *download* [6].

D. *Bit Error Rate (BER)*



Gambar 1. Grafik Perbandingan SINR dan BER pada M-PSK [7]



Gambar 2. Grafik Perbandingan SINR dan BER pada M-QAM [7]

BER adalah adalah jumlah kesalahan bit dibagi dengan jumlah total bit yang ditransfer selama interval waktu tertentu. Untuk setiap skema modulasi, BER dinyatakan dalam SINR. BER diukur dengan membandingkan sinyal yang ditransmisikan dengan sinyal yang diterima, dan

menghitung jumlah kesalahan atas jumlah total bit yang ditransmisikan.

#### E. Drive Test (DT)

DT merupakan salah satu bagian pekerjaan dalam optimasi jaringan radio yang bertujuan untuk mengukur dan mengumpulkan informasi jaringan secara nyata di lapangan. Informasi yang dikumpulkan merupakan kondisi aktual *radio frequency* (RF) di suatu eNodeB [8].

### III. METODE PENELITIAN

Untuk memudahkan penelitian ini, terdapat tahapan dalam penyusunannya sebagai berikut.

#### A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kelurahan Antang, Kecamatan Manggala, Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Adapun waktu pelaksanaan penelitian ini yaitu Desember 2021 – Agustus 2022 dan jenis provider yang digunakan yaitu Telkomsel.

#### B. Alat dan Bahan

Dalam proses pengambilan data, penelitian ini menggunakan metode pengukuran *drive test*. Adapun alat-alatnya sebagai berikut.

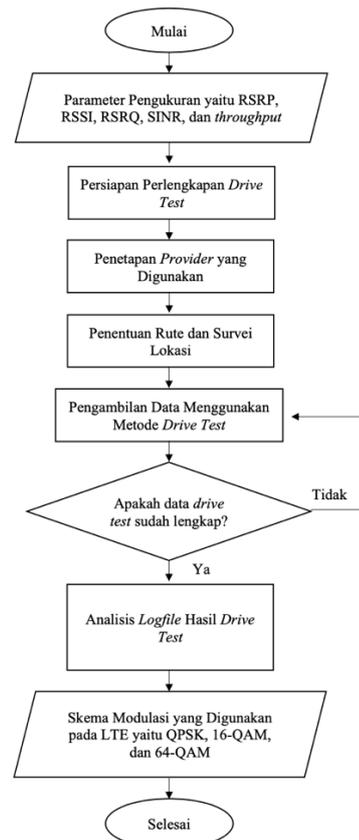
1. PC, digunakan sebagai alat *monitoring* parameter hasil *drive test* secara visual.
2. *Software* TEMS Pocket, digunakan sebagai *drive test tool* pada rute yang dilalui.
3. *Handphone* (HP) Samsung Galaxy Note 5 dan untuk *SIM card* disesuaikan dengan provider yang diukur yaitu Telkomsel.
4. *Website* untuk Aktivitas *Download* pada saat DT, yaitu <https://testfiledownload.com/>.
5. Kabel Data, digunakan untuk memindahkan hasil *logfile*s dari TEMS Pocket ke PC.
6. *Software* TEMS Investigation 23.1, digunakan dalam menganalisis, sekaligus melihat pemetaan lokasi dari data *logfile(s)* yang didapat dari hasil DT.

#### C. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penyusunan laporan penelitian ini, metode yang dilakukan dalam pengumpulan data, antara lain:

1. Metode Studi Literatur
2. Metode Observasi dan *Drive Test*
3. Metode Analisis dan Pemetaan Rute
4. Penarikan Kesimpulan

#### D. Bagan Alir (Flowchart)



Gambar 3. Bagan Alir

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Pengukuran Drive Test (DT)

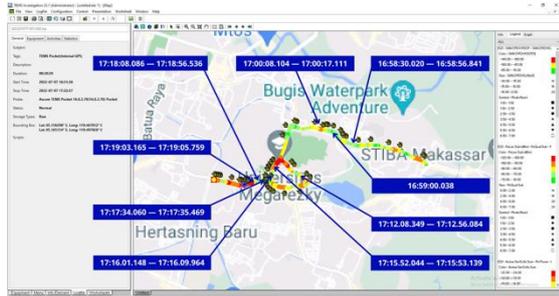
Penelitian ini menggunakan data hasil pengukuran *Drive Test* (DT) guna mengamati kualitas sinyal pada wilayah yang masuk dalam area jangkauan sinyal yang telah ditentukan sebelumnya. Data hasil DT ini dinamakan *logfile* yang berisi informasi kinerja jaringan berdasarkan parameter KPI LTE, seperti RSRP, RSSI, RSRQ, SINR, *throughput*, dan sebagainya. *Logfile* yang telah diukur menggunakan TEMS Pocket, berupa file ekstensi **.pcap** dan **.trp**, selanjutnya dibuka dan dianalisis menggunakan aplikasi TEMS Investigation 23.1.

*Drive Test* (DT) dilakukan pada Kamis, 7 Juli 2022 yang berlokasi di Kecamatan Manggala, tepatnya pada Kelurahan Antang. Pengukuran dimulai dari Jalan Nipa-Nipa, Jalan Raya Baruga, Jalan Antang Raya, Jalan Moh. Paleo Raya, Jalan Moha Lasuloro, dan diakhiri di Jalan Borong Raya.

Mode pengukuran DT yang dilakukan yaitu berupa mode *Dedicated Mode* yang berguna untuk mengukur kualitas sinyal yang diterima oleh UE pada saat menerima aktivitas data yang ditransmisikan. Pengukuran dimulai pada 7 Juli 2022 pukul 16:51 – 17:22 WITA (sekitar 31 menit). Aktivitas yang dilakukan selama pengukuran berupa

mengunduh file pada website <https://testfiledownload.com/> untuk melihat aktivitas data, tanpa memperhatikan aktivitas voice, seperti *dropped call*, dan sebagainya.

**B. Analisis Hasil Pengukuran Drive Test (DT) menggunakan TEMS Investigation 23.1**



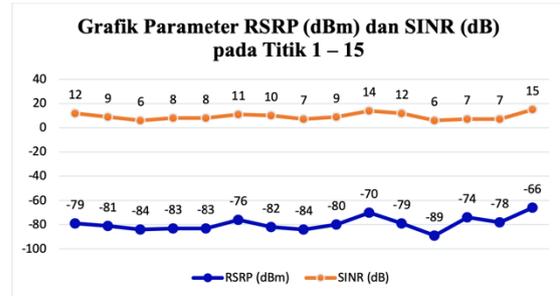
Gambar 4. Rute DT Beserta Perkiraan Waktu pada TEMS Investigation 23.1

Gambar di atas menunjukkan tampilan perkiraan waktu dari beberapa *sample* titik pada rute hasil DT di TEMS Investigation 23.1 yang akan digunakan pada penelitian ini. Berdasarkan tampilan dari beberapa *sample* titik rute hasil DT, dibuatkan tabel untuk memudahkan analisis yaitu sebagai berikut.

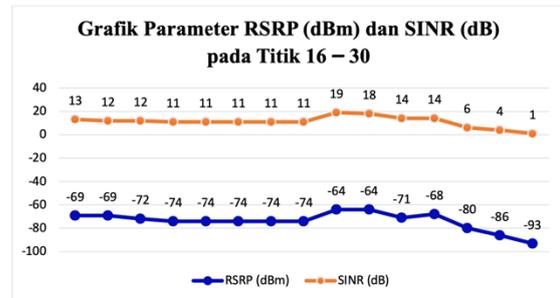
Tabel 5. Nilai RSRP, SINR, Throughput, dan Skema Modulasi beserta Perhitungan Interferensi dan Noise pada TEMS Investigation 23.1

No.	Waktu	RSRP (dBm)	RSSI (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)	Perhitungan Interferensi & Noise (dBm)	Throughput (Mbps)	Skema Modulasi
1	16:58:30.020	-79	-50	-8	12	-91	4,56	64-QAM
2	16:58:36.883	-81	-50	-8	9	-90	4,69	16-QAM
3	16:58:45.029	-84	-53	-11	6	-90	5,72	QPSK
4	16:58:56.841	-83	-49	-12	8	-91	14,74	16-QAM
5	16:59:00.038	-83	-51	-13	8	-91	11,07	QPSK
6	17:00:08.104	-76	-43	-11	11	-87	2,18	64-QAM
7	17:00:11.507	-82	-47	-13	10	-92	2,33	16-QAM
8	17:00:17.111	-84	-54	-7	7	-91	1,8	QPSK
9	17:12:08.349	-80	-46	-12	9	-89	0,01	QPSK
10	17:12:16.049	-70	-37	-12	14	-84	20,37	64-QAM
11	17:12:18.556	-79	-46	-12	12	-91	21,99	64-QAM
12	17:12:56.084	-89	-56	-13	6	-95	15,12	QPSK
13	17:15:52.044	-74	-42	-10	7	-81	17,44	16-QAM
14	17:15:53.139	-78	-44	-12	7	-85	18,79	QPSK
15	17:16:01.148	-66	-32	-12	15	-81	34,71	64-QAM
16	17:16:03.357	-69	-35	-12	13	-82	36,16	16-QAM
17	17:16:04.363	-69	-36	-11	12	-81	26,38	QPSK
18	17:16:04.758	-72	-38	-10	12	-84	36,85	64-QAM
19	17:16:05.877	-74	-41	-12	11	-85	35,44	64-QAM
20	17:16:05.877	-74	-41	-12	11	-85	35,44	QPSK
21	17:16:09.964	-74	-40	-12	11	-85	27,57	64-QAM
22	17:16:09.964	-74	-40	-12	11	-85	27,57	16-QAM
23	17:16:09.964	-74	-40	-12	11	-85	27,57	QPSK
24	17:17:34.060	-64	-31	-11	19	-83	56,9	64-QAM
25	17:17:35.469	-64	-31	-10	18	-82	42,66	64-QAM
26	17:18:08.086	-71	-38	-12	14	-85	11,2	16-QAM
27	17:18:19.100	-68	-38	-11	14	-82	37,77	64-QAM
28	17:18:56.536	-80	-51	-9	6	-86	2,87	16-QAM
29	17:19:03.165	-86	-53	-12	4	-90	4,41	QPSK
30	17:19:05.759	-93	-59	-11	1	-94	4,38	QPSK

Untuk melihat fokus dari penelitian ini, ditunjukkan grafik parameter RSRP (dBm) dan SINR (dB) yang diambil dari Tabel 5 berikut ini.



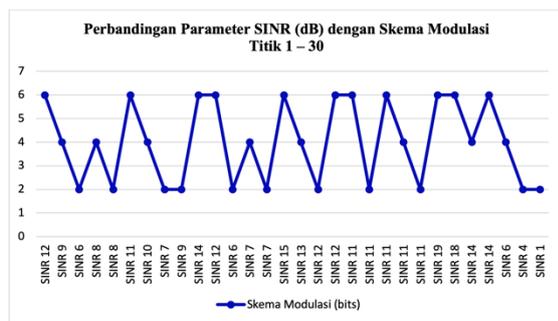
Gambar 5. Grafik Parameter RSRP dan SINR pada Titik 1 – 15



Gambar 6. Grafik Parameter RSRP dan SINR pada Titik 16 – 30

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara parameter kinerja jaringan 4G LTE yaitu RSRP (dBm) dan SINR (dB) yang diambil pada beberapa titik. Terlihat bahwa nilai RSRP yang rendah mengakibatkan turunnya nilai pada SINR, dan begitu pula sebaliknya. Nilai RSRP yang tinggi mengakibatkan naiknya nilai pada SINR. Sederhananya, penurunan dan peningkatan nilai RSRP turut mempengaruhi penurunan dan peningkatan nilai SINR. Menurut Elnashar *et al.* (2014:109), area RSRP yang rendah dipengaruhi oleh interferensi atau *noise* yang tinggi dan biasanya disebabkan oleh gejala *pilot pollution*, *multipath fading*, *overshooting*, kurangnya *cell* yang dominan, perbedaan area *coverage cell*, lokasi "out of service", masalah *neighbor list*, hingga *coverage hole*. Sehingga, solusi untuk menangani gejala masalah RF ini harus disesuaikan pada konfigurasi lokasi dan morfologi lokasi pengujian, yaitu apakah wilayah tersebut merupakan daerah perkotaan (*dense urban*), perkotaan (*urban*), pinggiran kota (*suburban*), atau pedesaan yang padat (*rural*).

Selanjutnya, berikut ini grafik perbandingan parameter SINR (dB) dan skema modulasi berdasarkan jumlah *bits*-nya.

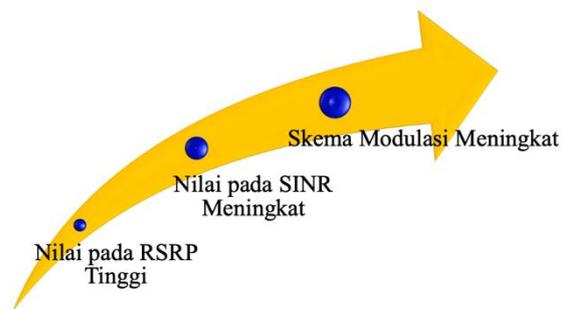


Gambar 7. Grafik Perbandingan SINR dan Skema Modulasi pada Titik 1 – 30

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara parameter kinerja jaringan 4G LTE yaitu SINR (dB) dan skema modulasi yang diambil dari beberapa titik. Skema modulasi pada grafik dibagi menjadi *bits* untuk memudahkan analisis, di mana bit = 2 mewakili skema modulasi QPSK, bit = 4 mewakili skema modulasi 16-QAM, dan bit = 6 mewakili skema modulasi 64-QAM.

Untuk melihat korelasi kinerja jaringan, antara SINR dan skema modulasi yang digunakan, dapat dilakukan dengan membandingkan hasil pada **Tabel 5, Gambar 7, Gambar 1, dan Gambar 2**, di mana *bit error rate* (BER) dinyatakan dalam SINR untuk setiap skema modulasi.

Sebagai contoh, pada pukul 17:16:09.964 terdapat RSRP sebesar -74 dBm dalam kategori *good*, RSSI sebesar -40 dBm dalam kategori *excellent*, RSRQ sebesar -12 dB dalam kategori *good*, SINR sebesar 11 dB dalam kategori *good*, dan skema modulasi yaitu 64-QAM. Berdasarkan hasil tersebut, nilai BER dapat diidentifikasi yaitu  $10^{-1}$  atau 0,1, di mana setiap bit ke-10 yang terkirim akan terdapat 1 *bit error* yang mengindikasikan jaringan pada titik atau area tersebut **sangat buruk**. Oleh karena itu, pada menit yang sama skema modulasi harus diturunkan menjadi 16-QAM untuk meningkatkan kinerja jaringan pada area tersebut. Sehingga, nilai BER dapat mencapai  $10^{-3}$  atau 0,001, di mana setiap bit ke-1.000 akan terdapat 1 *bit error*. Namun, pada menit yang sama juga, kemampuan data tersebut masih dirasa kurang cukup, sehingga skema modulasi turun lagi menjadi QPSK. Berdasarkan penurunan skema modulasi tersebut, nilai BER dapat mencapai  $10^{-6}$  atau 0,000001, di mana setiap bit ke-1.000.000 yang terkirim akan terdapat 1 *bit error* dan dianggap **andal** dalam membawa *throughput* 27,57 Mbps.



Gambar 8. Hubungan Antara RSRP yang Tinggi dengan SINR dan Skema Modulasi



Gambar 9. Hubungan Antara RSRP yang Rendah dengan SINR dan Skema Modulasi

Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai RSRP berkaitan erat dengan nilai SINR. RSRP yang rendah menyebabkan penurunan nilai SINR dan hal ini umumnya disebabkan oleh *noise* dan interferensi yang tinggi. Sebaliknya, RSRP yang tinggi menyebabkan peningkatan nilai SINR dan hal ini umumnya disebabkan oleh *noise* dan interferensi yang rendah.

Adapun kaitannya dengan BER, untuk mendapatkan BER yang rendah diperlukan SINR yang tinggi, begitu pula sebaliknya. SINR yang rendah akan meningkatkan BER. Sederhananya, sinyal yang kuat lebih baik daripada yang lemah dan memiliki kemungkinan kesalahan yang lebih kecil. Sehingga dari kaitan tersebut, berpengaruh pada skema modulasi yang digunakan, baik 64-QAM, 16-QAM, maupun QPSK.

Hal tersebut pun berkaitan dengan kinerja jaringan jika dilihat dari skema modulasi yang tercipta dari grafik tersebut. SINR dengan rentang nilai > 15 dB pada skema modulasi 64-QAM, dapat memberikan BER yang rendah yang menciptakan kinerja jaringan normal ke jaringan yang sangat baik. Sehingga, penggunaan skema modulasi yang sama pada SINR yang lebih rendah, memungkinkan melonjaknya jumlah *bit error*. Oleh karena itu, jaringan harus berupaya menurunkan penggunaan skema modulasi menjadi 16-QAM atau QPSK, untuk memastikan koneksi jaringan tetap terjaga.

Skema modulasi 16-QAM dapat menciptakan kinerja jaringan normal ke jaringan yang sangat baik jika menggunakan SINR dengan rentang nilai > 10 dB. Sehingga, penggunaan skema modulasi yang sama pada SINR yang lebih rendah, memungkinkan melonjaknya jumlah *bit error*. Oleh karena itu, jaringan harus menggunakan skema modulasi lain, yaitu QPSK, untuk memastikan koneksi jaringan tidak terputus.

Skema modulasi QPSK merupakan skema modulasi dengan jumlah bit dan simbol terendah yang bekerja pada jaringan 4G LTE. Adapun untuk memenuhi kinerja jaringan normal ke jaringan yang sangat baik, jaringan harus terdapat pada rentang > 7 dB. Sehingga, penggunaan skema modulasi yang sama pada SINR yang lebih rendah, memungkinkan melonjaknya jumlah *bit error*. Oleh karena itu, jika nilai BER mencapai  $10^{-0}$ , koneksi jaringan akan langsung terputus.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian tersebut, dapat ditarik kesimpulan yaitu sebagai berikut.

1. Pemilihan skema modulasi dilatarbelakangi oleh ketetapan yang digunakan berdasarkan spesifikasi LTE Release-8, di mana modulasi 64-QAM wajib digunakan pada sisi *downlink*. Oleh karena itu, penyebab pada perubahan skema modulasi saat pengukuran dapat diidentifikasi dengan melakukan pengukuran *Drive Test* (DT). Pada hasil DT, nilai dari *Reference Signal Received Power* (RSRP) dan *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR) diketahui, sehingga tinggi-rendahnya sinyal interferensi dan *noise* juga dapat diketahui. Dengan meningkatnya sinyal interferensi dan *noise*, skema modulasi yang tadinya menggunakan modulasi 64-QAM, harus diturunkan menjadi 16-QAM atau QPSK untuk menghindari pelonjakan kesalahan bit hingga putusnya koneksi jaringan.
2. Faktor yang mempengaruhi perubahan skema modulasi pada jaringan LTE adalah SINR dan jumlah *Bit Error Rate* (BER) yang dihasilkan. SINR yang rendah akan meningkatkan BER, begitu pula sebaliknya. Untuk mendapatkan BER yang rendah diperlukan SINR yang tinggi. Sehingga, hal tersebut berpengaruh pada perubahan skema modulasi yang digunakan, baik 64-QAM, 16-QAM, maupun QPSK, yang dapat menentukan jumlah bit yang dapat ditransmisikan berdasarkan tinggi-rendahnya kemungkinan kesalahan bit pada setiap skema modulasi. Salah satu contoh untuk membuktikan pernyataan tersebut dapat dilakukan dengan melihat kinerja jaringan sebagai berikut. Dengan RSRP sebesar -74 dBm, SINR sebesar 11 dB, dan skema modulasi yaitu 64-QAM, diperoleh BER sejumlah  $10^{-1}$  atau 0,1, di mana setiap bit ke-10 yang terkirim akan terdapat 1 *bit error*. Oleh karena itu, pada menit yang sama, skema modulasi harus diturunkan menjadi 16-QAM untuk mencapai BER sebesar  $10^{-3}$  atau 0,001, di mana setiap bit ke-1.000 akan terdapat 1 *bit error*. Pada menit yang sama juga, kemampuan data tersebut masih dirasa kurang cukup, sehingga skema modulasi mengalami penurunan kembali yaitu menjadi QPSK. Berdasarkan

penurunan skema modulasi tersebut, nilai BER dapat mencapai  $10^{-6}$  atau 0,000001, di mana setiap bit ke-1.000.000 yang terkirim akan terdapat 1 *bit error* dan andal dalam membawa *throughput* 27,57 Mbps.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Allah SWT, kedua orang tua, keluarga, dosen Teknik Elektro, khususnya Program Studi S-1 Terapan (D-4) Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi PNUP, dan orang-orang yang turut andil dalam mendukung penulis selama menyusun penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] C. Cox, *An Introduction to LTE: LTE, LTE-Advanced, SAE and 4G Mobile Communications*, West Sussex: John Wiley & Sons, 2014, p. 12.
- [2] A. Elnashar et al, *Design, Deployment and Performance of 4G-LTE Networks: A Practical Approach*, West Sussex: John Wiley & Sons, 2014, pp. 252, 258, 109.
- [3] W. Tomasi, *Advanced Electronic Communications Systems, Sixth Edition*, Harlow: Pearson Education Limited, 2014, pp. 67, 84.
- [4] R. Kreher and K. Gaenger, *LTE Signaling, Troubleshooting, and Optimization*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2011, p. 66, 230.
- [5] X. Zhang, *LTE Optimization Engineering Handbook*, Beijing: John Wiley & Sons Ltd, 2018, p. 45, 47.
- [6] F. Karo dkk, *Analisis Hasil Pengukuran Performansi Jaringan 4G LTE 1800 MHz di Area Sokaraja Tengah Kota Purwokerto Menggunakan Genex Asistant Versi 3.18*. *Jurnal Teknologi Informasi*, (Online), Vol. 16 (2): 115–124, (<https://ejournal.uksw.edu/aiti/article/view/3626>), 2019.
- [7] T. K. Roy, *Comparative BER Performance Analysis of OFDM System Using M-PSK and M-QAM Modulation Schemes over AWGN Channel*. *International Journal of Innovation, Creativity and Change*, (Online), Vol. 1 (4): 1–5, (<https://www.ijicc.net/>), 2012.
- [8] N. A. Azmi, *Optimalisasi Jaringan 4G Telkomsel Compact Mobile Base Station Studi Kasus Tempat Wisata Tebing Breksi Yogyakarta*, Tugas Akhir, Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, 2018.