

**OPTIMALISASI COVERAGE LTE 800 MHz FDD  
DI KOTA TEGAL DENGAN METODE  
PENGATURAN DOWNTILT ANTENNA**

**LAPORAN TUGAS AKHIR**



**OLEH**

**Agus Munoro**

**30602000086**

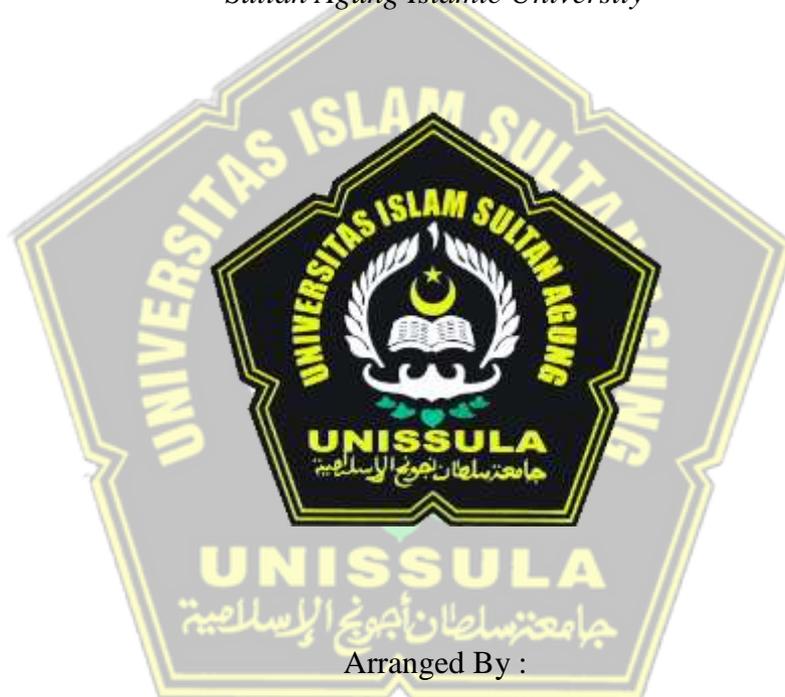
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
SEMARANG**

**2025**

*FINAL PROJECT*

**OPTIMIZATION COVERAGE LTE 800 MHz FDD  
IN THE CITY OF TEGAL WITH DOWNTILT  
ANTENNA SETTINGS METOD**

*Proposed to complete the requirement to obtain a bachelor's degree (S1)  
at Department of Electro Engineering  
Faculty of Industrial Technology  
Sultan Agung Islamic University*



Arranged By :

Agus Munoro

30602000086

**MAJORING OF ELECTRO ENGINEERING  
INDUSTRIAL TECHNOLOGY FACULTY  
SULTAN AGUNG ISLAMIC UNIVERSITY  
SEMARANG 2025**

## ABSTRAK

Semakin berkembangnya teknologi ini sangat berdampak pada berkembangnya teknologi telekomunikasi, telekomunikasi selular yang mendukung kegiatan dan membantu meringankan pekerjaan manusia, sehingga tuntutan dari pengguna atau user pada generasi ke 4 atau sering disebut 4G ini ikut meningkat. Dalam perkembangannya teknologi telekomunikasi sudah merupakan kebutuhan primer, user menghendaki kecepatan data serta kenyamanan dalam menikmati gadget dalam genggamannya tanpa adanya gangguan *dropcall* maupun penggunaan data *low speed* diakibatkan belum maksimalnya kualitas *coverage* dari E Node B yang dapat berakibat beberapa area terdapat *blankspot*.

Kota Tegal yang merupakan kota berkembang berada dijalur Pantura di Jawa Tengah yang pada beberapa spot area jaringan 4G LTE membutuhkan perbaikan atau optimalisasi.

Pada tugas akhir ini penulis menggunakan perangkat lunak Nemo Outdoor dan Nemo Analys sebagai alat bantu yang dapat memudahkan dalam melakukan pengambilan data melalui *drive test* dan analisa dari hasil data berupa nilai RSRP, RSRQ dan SINR yang diperoleh melalui *drive test*, yang kemudian dilakukan *electrical tuning* (electrical tilting antenna). Penelitian ini akan melakukan sebuah optimalisasi jaringan 4G LTE dengan studi kasus di area Kota Tegal. Optimalisasi dilakukan dengan menganalisa kekuatan signal yang didapat melalui *drive test*. Dengan menggunakan Nemo Outdoor dan Nemo Analys pekerjaan seorang *drivetester* dan analis lebih mudah, dan waktu yang lebih efisien.

Berdasarkan hasil *drive test* dan optimalisasi melalui *electrical tuning* untuk optimalisasi antenna 800 MHz FDD di Kota Tegal diperoleh hasil maksimal sesuai perencanaan dengan kondisi *zero blankspot*, Kualitas perbaikan dari sebelum optimalisasi sinyal yang terlihat pengaruhnya yaitu RSRP mengalami penikatan sebesar 8.773 dBm, SNR mengalami penikatan sebesar 6.286 dB., RSRQ mengalami penikatan sebesar 0.875 dB, PDCP Throughput mengalami peningkatan sebesar 14.963 Mbps, MOS dan berkurangnya *overshooting*

*Kata kunci: Optimalisasi Jaringan 4G LTE, Drive Test, Electrical Tuning*

## ABSTRACT

*The development of this technology has an impact on the development of telecommunications technology, cellular telecommunications that supports activities and helps ease human work, so that the demands of users or users in the 4th generation or often called 4G also increase. In its development, telecommunication technology has become a primary need, users want data speed and comfort in enjoying gadgets in their hands without any dropcall disturbances or low speed data usage due to the inadequate coverage quality of E Node B which can result in some areas having blank spots.*

*The city of Tegal, which is a developing city, is on the Pantura line in Central Java, which in several spot areas of the 4G LTE network need repair or optimization.*

*In this final project, the authors use the Nemo Outdoor and Nemo Analysis software as a tool that can facilitate data retrieval through a drive test and analysis of the data results in the form of RSRP, RSRQ and SINR values obtained through a drive test, which is then performed electrical tuning (electrical tilting antenna). This research will carry out an optimization of the 4G LTE network with a case study in the Tegal City area. Optimization is done by analyzing the signal strength obtained through a drive test. By using Nemo Outdoor and Nemo Analyzer the job of a drivetester and analyst is easier, and more time efficient.*

*Based on the results of the drive test and optimization through electrical tuning for the optimization of the 800 MHz FDD antenna in Tegal City, the maximum results were obtained according to the plan with zero blankspot conditions, the quality of improvement from before the optimization of the signal that the effect was that RSRP experienced a binding of 8,773 dBm, SNR experienced a binding of 6,286 dB., RSRQ experienced a binding of 0.875 dB, PDCCP Throughput was binded by 14,963 Mbps, MOS and reduced overshooting*

*Keywords: 4G LTE Network Optimization, Drive Test, Electrical Tuning*

## DAFTAR ISI

	Halaman
Judul .....	i
ABSTRAK .....	ii
ABSTRACT .....	iii
DAFTAR ISI .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	viii
DAFTAR TABEL .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Metodologi Penelitian .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
BAB II DASAR TEORI .....	4
2.1 Tinjauan Pustaka .....	4
2.1.1 Pengenalan Teknologi LTE ( <i>Long Term Evolution</i> ) .....	6
2.1.2 Arsitektur LTE .....	8
2.1.3 Bagian Interface Radio LTE .....	9
2.1.4 Konfigurasi Antena Pada LTE .....	12
2.1.5 Adaptive Modulation Coding (AMC) .....	15
2.2 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) .....	15
2.2.1 Sistem Transceiver OFDM .....	18
2.2.2 Transmitter OFDM .....	19
2.2.3 Receiver OFDM .....	20
2.2.4 Kanal AWGN .....	21
2.3 Modulasi dan Teknik Modulasi Adaptif .....	22

2.3.1	Modulasi .....	22
2.3.2	Quadrature Phase Shift Keying (QPSK) .....	23
2.3.3	Quadrature Amplitude Modulation (QAM).....	25
2.3.4	Teknik Modulasi Adaptif .....	27
2.4	Teknik Transmisi Antena MIMO .....	28
2.4.1	<i>Space Frequency Block Coding (SFBC)</i> .....	30
2.5	Parameter Optimalisasi LTE .....	31
2.5.1	RSRP ( <i>Reference Signal Received Power</i> ).....	31
2.5.2	RSRQ ( <i>Reference Signal Received Quality</i> ).....	32
2.5.3	SINR ( <i>Signal to Interference Noise Ratio</i> ).....	33
2.5.4	PCI ( <i>Physical Cell Id</i> ) .....	35
2.5.5	BLER ( <i>Block Error Rate</i> ).....	36
2.5.6	<i>Tilting</i> .....	36
2.5.7	<i>Azimuth</i> .....	40
2.5.8	Nemo Tools .....	40
2.6	Definisi Operasional .....	40
2.6.1	Proses Optimalisasi .....	41
2.6.2	Kualitas Sinyal.....	41
2.7	Link Budget .....	43
2.7.1	Link Budget Okumura Hata .....	43
2.7.2	Software Pathloss Okumura Hata.....	44
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>46</b>
3.1	Flowchart Penelitian .....	46
3.2	Variabel dan Desain Penelitian.....	46
3.3	Teknik Pengumpulan Data .....	47
3.3.1	Drive Test .....	48
3.3.2	Proses optimalisasi dengan menggunakan parameter yang ada di OSS maupun dengan melakukan <i>physical tuning</i> .....	48
3.4	Teknik Analisis Data .....	49

3.5 Pengaturan Down Tilt.....	49
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA .....</b>	<b>51</b>
4.1 Pengumpulan Data <i>Drive test</i> .....	51
4.1.1 Hasil <i>Drive Test</i> Sebelum Optimalisasi.....	51
4.1.2 RSRP .....	51
4.1.3 SINR .....	53
4.1.4 RSRQ.....	54
4.1.5 PDCP <i>Throughput</i> .....	55
4.1.6 MOS .....	57
4.1.7 Overshooting .....	57
4.2 Proses Optimalisasi dengan Pengaturan <i>Downtilt Antenna</i> .....	58
4.3 Hasil <i>Drive test</i> Setelah Optimalisasi.....	58
4.3.1 RSRP .....	59
4.3.2 SINR .....	60
4.3.3 RSRQ.....	61
4.3.4 PDCP <i>Troughput</i> .....	62
4.3.5 MOS .....	64
4.3.6 Overshooting .....	64
4.4 Analisa.....	65
4.4.1 RSRP .....	65
4.4.2 SINR .....	66
4.4.3 RSRQ.....	67
4.4.4 PDCP <i>Throughput</i> .....	68
4.4.5 MOS .....	69
4.4.6 Overshooting .....	69
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>70</b>
5.1 Kesimpulan.....	70
5.2 Saran .....	71



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Perkembangan Teknologi Seluler [12].....	7
Gambar 2.2 Arsitektur dasar jaringan LTE[14] .....	9
Gambar 2.3 Arah transmisi downlink dan uplink[15] .....	10
Gambar 2.4 FDD pada LTE [16] .....	11
Gambar 2.5 TDD pada LTE [16] .....	11
Gambar 2.6 Konfigurasi SIMO[18] .....	13
Gambar 2.7 Konfigurasi MISO[16] .....	13
Gambar 2.8 Konfigurasi MIMO[15].....	14
Gambar 2.9 Sinyal subcarrier yang <i>nonorthogonal</i> [17] .....	16
Gambar 2.10 Spektrum frekuensi <i>subcarrier</i> yang saling <i>orthogonal</i> [18].....	16
Gambar 2.11 Sistem <i>tranceiver</i> OFDM[18] .....	18
Gambar 2.12 <i>Transmitter</i> OFDM[18].....	19
Gambar 2.13 Proses konversi <i>serial to parallel</i> dan modulasi[15].....	19
Gambar 2.14 Sistem receiver OFDM[11].....	20
Gambar 2.15 Modulator QPSK[13].....	24
Gambar 2. 16 Konsitelasi sinyal QPSK[14] .....	24
Gambar 2.17 Konstelasi sinyal <i>16-QAM</i> (a) dan <i>64-QAM</i> (b) [19].....	26
Gambar 2.18 Penggunaan modulasi adaptif pada kondisi <i>link</i> radio[20] .....	28
Gambar 2.19 Antena MIMO 3x3[22] .....	29
Gambar 2.20 Proses pengkodean SFBC dengan dua antena pengirim[20] .....	30
Gambar 2.21 User 1 menerima sinyal serving RSRP dari site[18].....	32
Gambar 2.22 Perbedaan interferensi dan <i>noise</i> [18] .....	34
Gambar 2.23 CQI[16] .....	35
Gambar 2.24 Contoh Pengukuran Mekanikal <i>Tilting</i> .....	37

Gambar 2.25 Elektrikal <i>tilting</i> Manual[20].....	37
Gambar 2.26 RET[12].....	38
Gambar 2.27 <i>Downtilt</i> [21] .....	38
Gambar 2.28 <i>Uptilt</i> [21].....	38
Gambar 2.29 Ilustrasi <i>Tilting</i> [21].....	39
Gambar 2.30 Contoh <i>Azimuth</i> [18] .....	40
Gambar 3.1 <i>Nemo Outdoor</i> [21] .....	47
Gambar 3.2 <i>Nemo Analisis</i> [18] .....	49
Gambar 4.1 RSRP Sebelum Optimalisasi[12] .....	52
Gambar 4.2 SINR Sebelum Optimalisasi[18].....	53
Gambar 4.3 RSRQ Sebelum Optimalisasi[11] .....	54
Gambar 4.4 PDCP <i>Throughput</i> Sebelum Optimalisasi[18].....	56
Gambar 4.5 <i>Overshooting</i> Sebelum Optimalisasi[18] .....	57
Gambar 4.6 RSRP Setelah Optimalisasi[18] .....	59
Gambar 4.7 SINR Setelah Optimalisasi[18].....	60
Gambar 4.8 SRSQ Setelah Optimalisasi[18] .....	61
Gambar 4.9 PDCP <i>Throughput</i> Setelah Optimalisasi. [19] .....	63
Gambar 4.10 <i>Overshooting</i> Setelah Optimalisasi[19] .....	64

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perbandingan beberapa jenis modulasi pada LTE .....	22
Tabel 2.2 Pemetaan Bit Pada Modulasi QPSK .....	24
Tabel 4. 1 Nilai RSRP Sebelum Optimalisasi.....	52
Tabel 4.2 Nilai <i>aggregates</i> RSRQ Sebelum Optimalisasi .....	52
Tabel 4. 3 Tabel Nilai SINR Sebelum Optimalisasi .....	53
Tabel 4.4 Nilai <i>aggregates</i> SINR Sebelum Optimalisasi .....	54
Tabel 4.5 Nilai RSRQ Sebelum Optimalisasi.....	55
Tabel 4.6 Nilai <i>aggregates</i> RSRQ Sebelum Optimalisasi .....	55
Tabel 4.7 Nilai PDCP <i>Troughput</i> Sebelum Optimalisasi.....	56
Tabel 4.8 Nilai <i>aggregates</i> PDCP <i>Troughput</i> Sebelum Optimalisasi.....	56
Tabel 4.9 Site dan sector yang akan dirubah <i>electical tilt</i> nya.....	58
Tabel 4.10 Nilai RSRP Setelah Optimalisasi.....	59
Tabel 4.11 Nilai <i>aggregates</i> RSRP Setelah Optimalisasi .....	60
Tabel 4.12 Nilai SINR Setelah Optimalisasi.....	61
Tabel 4.13 Nilai <i>aggregates</i> SINR Setelah Optimalisasi.....	61
Tabel 4.14 Nilai RSRQ Setelah Optimalisasi .....	62
Tabel 4.15 Nilai <i>aggregates</i> RSRQ Setelah Optimalisasi .....	62
Tabel 4.16 Nilai PDCP <i>Troughput</i> Setelah Optimalisasi.....	63
Tabel 4.17 Nilai <i>aggregates</i> PDCP <i>Troughput</i> Setelah Optimalisasi.....	63
Tabel 4.18 Perbandingan Nilai RSRP sebelum dan setelah optimalisasi .....	65
Tabel 4.19 Nilai perbandingan <i>aggregates</i> RSRP sebelum dan setelah optimalisasi .....	65
Tabel 4.20 Perbandingan Nilai SINR sebelum dan setelah optimalisasi .....	66
Tabel 4.21 Perbandingan Nilai SINR sebelum dan setelah optimalisasi .....	66

Tabel 4.22 Perbandingan Nilai RSRQ sebelum dan setelah optimalisasi.....	67
Tabel 4.23 Perbandingan Nilai SRSQ sebelum dan setelah optimalisasi .....	67
Tabel 4.24 Perbandingan Nilai PDCP Troughput sebelum dan setelah.....	68
Tabel 4.25 Perbandingan Nilai PDCP Troughput sebelum dan setelah.....	68



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Meningkatnya teknologi telekomunikasi selular di zaman modern ini menyebabkan para pengusaha melirik berinvestasi dalam bidang ini [1]. Mereka berbondong-bondong untuk mengembangkan sistem telekomunikasi yang terbaik, terbaru, dan terbesar sehingga memanjakan bagi penggunanya. Dalam kurun waktu satu dekade terakhir faktor penentunya adalah kebutuhan manusia akan telekomunikasi dan akses terhadap informasi [2]. Industri telekomunikasi merupakan industri yang dalam 25 tahun mengalami perubahan yang super cepat, kita dihadapkan pada perkembangan *information and communication technologies* (ICT) [2]. Perbandingan teknologi 4G ini dengan teknologi sebelumnya (1G, 2G, 3G) yang jauh lebih baik dari sisi *download* dan *upload*, *game online*, serta *HD video streaming* tanpa *buffering*, dikarenakan perangkat menggunakan kapasitas tinggi yang ini merupakan dambaan para pengguna data internet.

Kota Tegal dijadikan obyek penelitian karena kota ini merupakan salah satu kota yang sedang berkembang di Jawa Tengah yang memiliki luas area sekitar 39.68 km<sup>2</sup>[3], luasnya geografis yang meliputi pantai utara pulau jawa ini menyebabkan beberapa area masih terdapat *blankspot*. Hadirnya teknologi Generasi ke 4 LTE (*Long Them Evolution*) dengan sistem (*FDD/ Frequency Division Duplex*), setidaknya dapat menjawab kebutuhan ini. Secara prosedur kerja (SOP) untuk setiap E Node B baru on air perlu dioptim. Pentingnya optimalisasi sangat dibutuhkan setelah selesai pelaksanaan instalasi, ini dikarenakan belum maksimal antara *planning* dan target pancaran dari *Evolved NodeB* (E Node B). Selain itu juga optimalisasi dibutuhkan untuk menyesuaikan kondisi pancaran dari antar E Node B agar tidak menyebabkan *overshooting* dan lain sebagainya. Dengan demikian diharapkan setelah dilakukan optimalisasi akan memperbaiki *coverage*, dari E Node B memaksimalkan *troughput* serta menutupi *blankspot* area

Dalam tugas akhir ini, masalah akan difokuskan pada optimalisasi *coverage* LTE 800 MHz FDD Di Kota Tegal karena jarak pancar LTE 800 MHz FDD lebih jauh dibanding dengan TDD dengan frekwensi 2300 Mhz. Alat yang digunakan untuk *drive test* adalah Nemo Outdoor, dimana alat ini memiliki kelebihan yaitu data yang diambil saat *drive test* lebih detail sehingga *drive tester* akan mudah menganalisa saat *post processing* juga log file lebih ringan sehingga tidak membebani memori pada laptop.

## 1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah pada penulisan dari tugas akhir ini antara lain:

1. Bagaimana mengatasi *bad spot area* dan mengoptimalkan pancaran antenna sector yang telah *service* sesuai dengan target.
2. Berapa berkurangnya bad spot setelah dilakukan proses optimalisasi dari E Node B hingga *end user*
3. Bagaimana mempertahankan kualitas pancaran sinyal setelah dilakukan optimalisasi parameter E Node B, parameter, *azimuth* dan *tilting*.

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam pembuatan tugas akhir ini, penulis membatasi permasalahan sebagai berikut:

1. Optimalisasi *network* FDD 1 di Kota Tegal.
2. Alat yang digunakan untuk *drive test* adalah Nemo Outdoor.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Untuk mengetahui cara mengatasi *badspot* dari hasil *drive test* di area Kota Tegal dengan melakukan optimalisasi network LTE 4G FDD dengan metode *electrical downtilt*.
2. Untuk menganalisa *bad spot* di area Kota Tegal dan mengevaluasi hasil *drive test* yang masih diperlukan perbaikan dalam area LTE 4G serta melakukan perbaikan atas kondisi tersebut.

3. Untuk mengetahui & melakukan pengecekan E Node B, parameter, *azimuth* dan *tilting*.

### 1.5 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian ini dilakukan dengan cara yaitu :

1. Melakukan *drive test* di mini cluster dengan menggunakan tool nemo outdoor.
2. Melakukan analisa hasil *drive test* dengan menggunakan tool nemo analyzer.
3. Melakukan perubahan parameter yang diperlukan untuk perbaikan area-area yang kurang bagus.
4. Melakukan *drive test* ulang setelah dilakukan perbaikan pada area-area tersebut.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam tugas akhir ini, disusun sebagai berikut:

#### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, permasalahan, pembatasan masalah, tujuan dan manfaat penulisan, serta sistematika penulisan.

#### BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini berisi gambaran tentang teori jaringan LTE dan teknologi serta arsitektur perangkat LTE.

#### BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan variabel penelitian, metode pengumpulan data, waktu dan tempat penelitian, dan prosedur analisis data.

#### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi analisis dari hasil pengolahan data dan pembahasan mengenai jaringan LTE di Kota Tegal.

#### BAB V KESIMPULAN

Pada bab ini berisikan beberapa kesimpulan dari hasil penelitian.

## BAB II DASAR TEORI

### 2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa tinjauan pustaka dari tugas akhir yang hampir sama dengan tugas akhir ini digunakan sebagai referensi. Adapun beberapa judul referensi tugas akhir sebagai berikut:

1. Andi Chaerunisa Utami Putri dkk menyebutkan bahwa: Untuk mencapai KPI (*Key Performance Indicator*) pada proses perencanaan jaringan LTE, dibutuhkan Optimalisasi parameter yang diukur sesuai *performance* antar lain *Mean Troughput*, *RSRP (Radio Signal Received Power)* dan *SINR (Signal to Interference Noise Radio)*. [4].
2. Alfindo, Ersya Cucun menyatakan bahwa: ‘Untuk meningkatkan kinerja pada sebuah jaringan penulis melakukan physical tuning yang berupa *mechanical tilting* dan *electrical tilting*. *Mechanical tilting* sendiri merupakan sebuah proses yang dilakukan dengan mengubah antena secara fisik, sedangkan *electrical tilting* dilakukan perubahan fasa pada antena tanpa merubah fisik antena. Peningkatan tersebut dilakukan di wilayah Universitas Islam Indonesia dengan menggunakan operator XL. Setelah dilakukan physical tuning terjadi peningkatan *Reference signal Received power (RSRP)* level sangat buruk menurun dari 14% menjadi 0%, *Reference Signal Received Quality (RSRQ)* level sangat buruk menurun dari 22% menjadi 7% dan *Signal to Interference Noise Ratio (SINR)* level *worst* dari 17% menjadi 10%”. [5]
3. Pramono, Subuh dkk, “Menyatakan bahwa, untuk dapat meningkatkan kualitas jaringan 4G LTE, perlu mengoptimalkan area jangkauan jaringan 4G LTE di Sragen dengan menggunakan metode penyetelan fisik, yaitu menyesuaikan kemiringan antena, antena *azimuth*, daya. *Key Performance Indicator* adalah referensi untuk menentukan kinerja jaringan. Parameter yang diukur adalah daya penerimaan sinyal referensi (*RSRP*), kualitas penerimaan sinyal referensi (*RSRQ*), rasio kebisingan gangguan sinyal

(SINR). Hasil dari optimalisasi adalah persentase RSRP adalah awal 45,87% menjadi 75,58%, meningkat 29,72%. Sementara nilai RSRQ meningkat sebesar 20,78%, dengan nilai awal adalah 27,84% menjadi 48,62%. SINR meningkat sebesar 5,29% dengan persentase awal adalah 4,87% menjadi 10,16%”. [6]

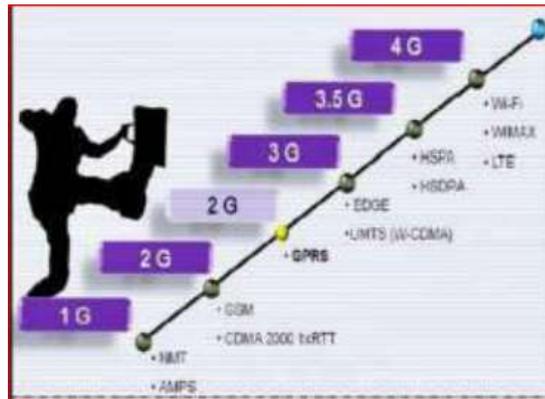
4. Andri Nasru Fajar, Mengatakan,; “Koneksi internet yang lemah tidak hanya disebabkan oleh kualitas sinyal yang buruk, tetapi juga karena beberapa faktor, salah satunya adalah meningkatnya jumlah pengguna di satu sektor BTS dan daerah dikelilingi oleh gedung-gedung tinggi, seperti dalam kasus Pluit Selatan, Jakarta Utara. Optimalisasi dilakukan dengan mengubah kemiringan dan antena *azimuth* menggunakan metode kemiringan listrik. Hasil optimalisasi yang didapat adalah penurunan RSRP, Tingkat Poor 39,54%, penurunan tingkat RSRQ Poor sebesar 9,09%, penurunan tingkat SINR Poor sebesar 25,36% dan peningkatan *Throughput* unduhan mencapai 23,8 Mbps dan unggahan mencapai 1,9 Mbps”. [7]
5. Muhammad Ilham Afwan, mengungkapkan:” Metode *Drive Test* merupakan metode pengukuran pada system selular yang bertujuan untuk mengumpulkan data kualitas sinyal hasil pengukuran secara nyata dilapangan, guna mengetahui performa jaringan tersebut”. [8]
6. Komang Ayu, menyatakan, “LTE (*Long Term Evolution*) merupakan teknologi komunikasi seluler terbaru, secara standar LTE memberikan kecepatan uplink mencapai 50 Mbps dan kecepatan downlink mencapai 100 Mbps. Implementasi LTE untuk mengatasi permasalahan koneksi backhaul di pedesaan, dengan teknologi rural 4G secara teknis dilakukan guna mengatasi permasalahan koneksi backhaul pada jaringan wifi, karena LTE merupakan teknologi jaringan mobile yang diproduksi jaringan GSM/EDGE dan UMTS/ HSDPA”. [9]
7. Dalam perencanaan sistem komunikasi wireless diperlukan perhitungan link budget, yang mempunyai peranan penting agar rancangan jaringan komunikasi dapat mencapai hasil yang optimum dan efisien baik dari segi kehandalan teknis maupun biaya juga merupakan perhitungan loss dari

antena transmitter menuju receiver. Perhitungan Link Budget dengan menggunakan rumus Okumura-Hata model untuk urban area.[10]

8. Pathloss pita frekuensi 1800 MHz lebih besar daripada pathloss pita frekuensi 850 MHz dalam kondisi yang sama. Pathloss dapat digunakan untuk menentukan lokasi pemasangan Base Transceiver Station dengan kualitas link budget terbaik. Jadi, pada jarak yang sama jika menggunakan pita frekuensi 1800 MHz untuk jaringan seluler dengan teknologi yang sama akan diperlukan Base Transceiver Station lebih banyak daripada menggunakan pita frekuensi 800 MHz[11]

### 2.1.1 Pengenalan Teknologi LTE (*Long Term Evolution*)

Evolusi Teknologi Selular dimulai dari Generasi (G) awal yang hampir semua system pada era ini masih analog, 1G, *Original analog cellular for voice* (AMPS, NMT, TACS) memiliki kecepatan transmisi data mencapai 14.4 kbps. Generasi berikutnya adalah 2G, *Digital narrow band circuit data* (TDMA, CDMA) teknologi ini memiliki kecepatan transmisi data 9-14.4 kbps. Teknologi selanjutnya adalah 3G *Digital Broadband packet data* (CDMA, EV-DO, UMTS, EDGE) yang memiliki kecepatan transmisi data hingga 500-700 kbps. Generasi selular 3.5G merupakan penyempurna teknologi sebelumnya *Replacement for EDGE is HSPA* yang memiliki kecepatan data transmisi 1-3Mbps sedang HSDPA kecepatan hingga 7.2 Mbps. Generasi berikutnya adalah *Long Term Evolution* (LTE), Teknologi 4G adalah istilah serapan dari bahas Inggris (*Fourth Generation Technology*). Lazimnya istilah ini digunakan sebagai penjelasan pengembangan teknologi selular yang juga merupakan jaringan akses radio evolusi jangka Panjang. Pada tahun 2009 LTE telah berhasil ujicoba komersial, yang diharapkan menjadi standar evolusi komunikasi data pita lebar bergerak untuk dasawarsa mendatang. Semenjak Desember 2007, 3GPP melakukan studi kelayakan untuk LTE dengan mengeluarkan Release-7. Akhirnya konsep LTE terbentuk pada 2008 dengan dikeluarkannya Release-8. LTE kecepatan transfer data mencapai 100 Mbps pada sisi downlink dan 50 Mbps pada sisi uplink. Gambar 2.1 berikut menunjukkan evolusi perkembangan dari beberapa generasi selular.



Gambar 2.1 Perkembangan Teknologi Seluler [12]

Pada Gambar 2.1 merupakan gambaran bagaimana proses penyempurnaan teknologi dari berbagai generasi. LTE menjadikan wujud evolusi dari jaringan seluler yang dipersiapkan. Sedangkan target dari peningkatan teknologi pada 3GPP adalah sebagai berikut :

1. Evolusi teknologi sebelumnya (3G) untuk waktu mendatang.
2. Kebutuhan pengguna/ user yang menuntut kualitas, *data speed* yang tinggi serta QOS (*Quality Of Service*).
3. Perluasan teknologi pada sistem *Packet Switching*.
4. Arsitektur jaringan yang sangat simple sehingga operasional hemat.

Kelebihan dan manfaat LTE untuk customer dan dari sisi operator antara lain:

1. *Throughput* yang tinggi namun spectrum yang efisien, LTE menggunakan OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) yaitu teknik modulasi untuk komunikasi wireless broadband yang tahan melawan frekuensi selective fading dan interferensi narrowband
2. Efisien menghadapi multi-path delay spread dan memanfaatkan *single-carrier-FDMA* (SC-FDMA) pada arah *uplink* yang memiliki *peak average power ratio* (PAPR) tingkat bawah.
3. Memberi dukungan antena *multiple input multiple output* (MIMO) yang dapat menambah *bit error rate* (BER) dan *bit rate*.
4. LTE memiliki *latency* yang kecil 5ms, memiliki *setup time* dan *transfer delay* yang sangat rendah, serta waktu *handover* yang rendah.
5. *Support Frequency Division Duplex* (FDD) dan *Time Division Duplex* (TDD)

6. Desain jaringan yang gampang, hanya ada eNodeB pada *evolved UMTS terrestrial radio access* (E-UTRAN) yang tidak dimiliki teknologi sebelumnya.
7. Kompatibel dengan teknologi sebelumnya yaitu 3GPP dan teknologi lainnya.

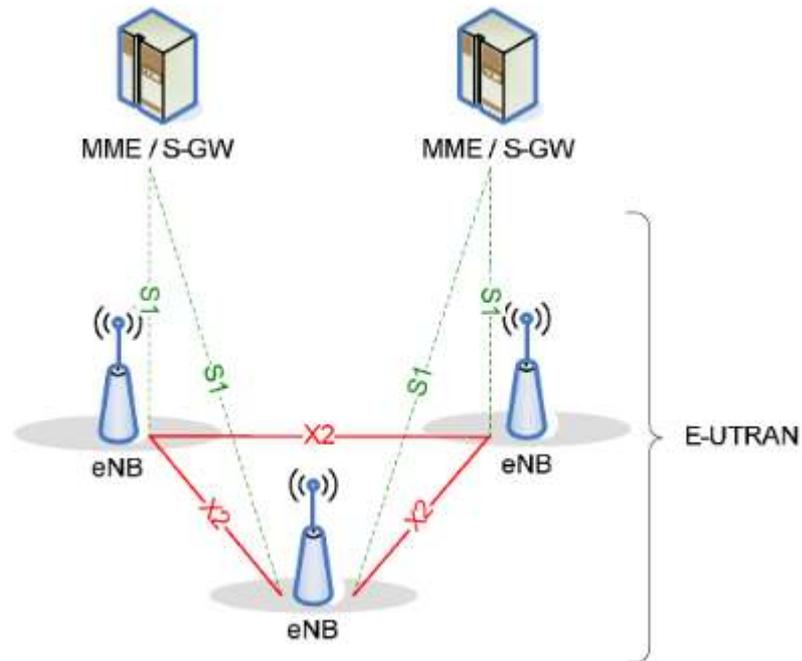
### 2.1.2 Arsitektur LTE

Arsitektur jaringan LTE terdiri dari tiga komponen utama, yaitu: *User Equipment* (UE), *evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN), *Evolved Packet Core* (EPC).

EPC atau *Evolved Packet Core* berkomunikasi dengan paket jaringan data di dunia luar seperti internet, jaringan perusahaan swasta atau subsistem IP multimedia. Antarmuka antara bagian-bagian yang berbeda dari sistem dilambangkan dalam Uu, S1 dan SGI telah ditampilkan pada gambar 2.2. Rancangan Arsitektur *network* pada LTE bertujuan selain mendukung *traffic paket switching* dengan perpindahan tinggi, *quality of service* (QoS) juga *latency* yang kecil. Dengan model *Packet Switching* ini membuka kesempatan untuk semua fasilitas termasuk *voice* melalui koneksi paket. Dengan demikian berbeda dengan arsitektur teknologi sebelumnya yaitu GSM dan UMTS yang memiliki struktur lebih kompleks dengan adanya *radio network controller* (RNC), pada arsitektur teknologi LTE dirancang sangat sederhana yaitu hanya terdiri dari dua *node* yaitu eNodeB (*evolved NodeB*) dan *mobility management entity/ gateway* (MME/GW). Pada jaringan akses, manfaat serta keuntungan dengan menggunakan *single node* adalah reduksi *latency* dan pembagian beban proses RNC untuk beberapa eNodeB. *RNC elimination* pada jaringan akses mengharuskan karena LTE sendiri tidak membantu *soft Handover*.

Jaringan pada LTE *interface* seluruhnya berbasis IP (*internet protocol*). eNodeB terkoneksi dengan *interface* X2 dan tersambung dengan MME/GW melalui *interface* S1, juga pada LTE terdapat 2 *logical gateway* yaitu *serving gateway* (S-GW) dan *packet data network gateway* (P-GW). Fungsi S-GW bertugas menerima dan melanjutkan paket ke dan dari eNodeB yang melayani *user equipment* (UE). Sedangkan P-GW menyuplai *interface* dengan jaringan 8

*packet data network* (PDN) seperti IMS dan internet. Fungsi lain P-GW juga membuat alokasi alamat, *packing filtering* dan *routing*. Arsitektur dasar jaringan LTE dapat dilihat pada Gambar 2.2. [13].

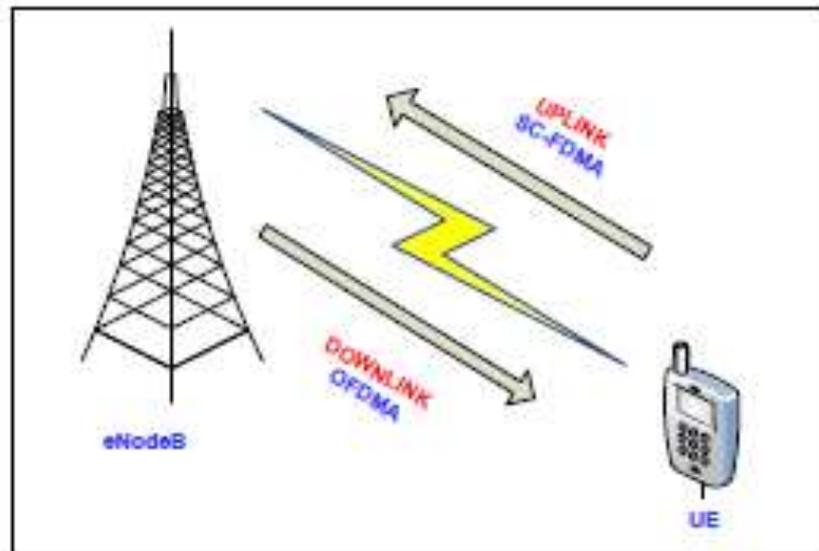


Gambar 2.2 Arsitektur dasar jaringan LTE[14]

### 2.1.3 Bagian Interface Radio LTE

Detail LTE telah ditetapkan dan dikembangkan oleh 3GPP (Proyek Kemitraan Generasi ke-3) untuk *user equipment* (UE) dan E Node B. Adapun rincian teknik LTE yang telah disepakati meliputi mode akses radio, mode transmisi MIMO metode akses standar serta modulasi yang digunakan.

Metode akses yang digunakan pada LTE, pengiriman dibedakan untuk arah *downlink* dan *uplink*. Arah *downlink* adalah arah komunikasi dari eNodeB ke UE, sementara arah *uplink* adalah arah dari UE menuju eNodeB. Pada arah *downlink* teknik akses yang digunakan adalah *orthogonal frequency division modulation access* (OFDMA) dan pada arah *uplink* teknik akses yang digunakan adalah *single carrier frequency division multiple access* (SC-FDMA). OFDMA adalah modifikasi dari *orthogonal frequency division modulation* (OFDM). Sebagaimana yang ditunjukkan melalui Gambar 2.3.



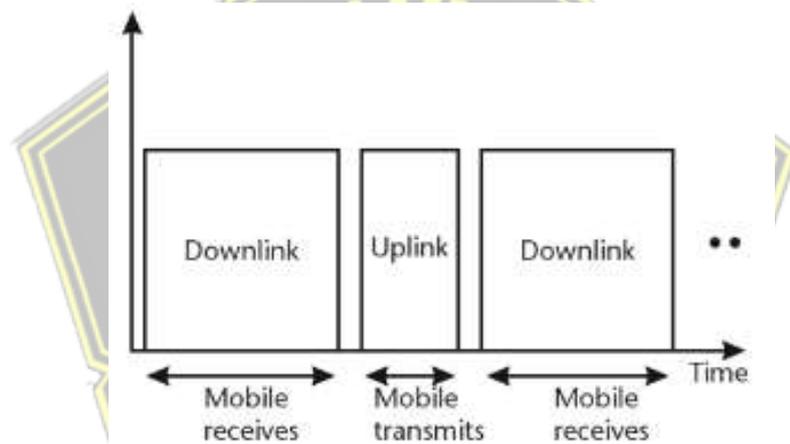
Gambar 2.3 Arah transmisi downlink dan uplink[15]

Kelebihan teknologi OFDM dapat mengubah *frequency selective fading* menjadi *flat fading*, sebab walaupun system secara keseluruhan mempunyai kecepatan transmisi yang sangat tinggi sehingga memiliki bandwidth yang lebar karena frekuensi menggunakan *subcarrier* dengan jumlah yang sangat banyak. Teknik OFDM sebuah Teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*) sehingga akan menghemat spektrum frekuensi dan setiap *subcarrier* tidak akan saling mempengaruhi.

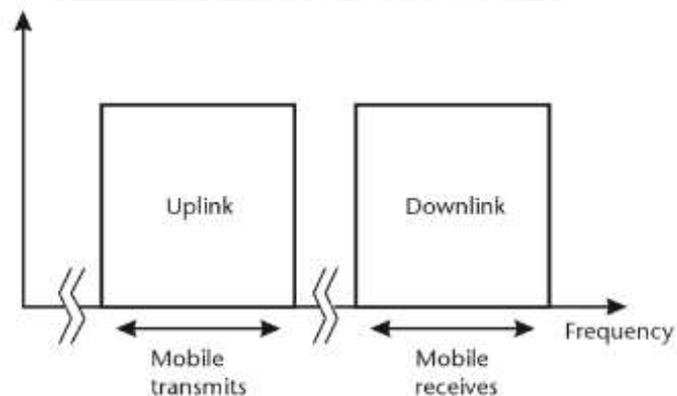
Akan tetapi salah satu kelemahan teknik akses ini adalah tingginya *peak average power ratio* (PAPR) yang dibutuhkan. Tingginya PAPR dalam OFDM membuat 3GPP melihat skema teknik akses yang berbeda pada arah *uplink* karena akan sangat mempengaruhi konsumsi daya pada UE sehingga pada arah *uplink* LTE menggunakan teknik SC-FDMA. SC-FDMA dipilih karena teknik ini mengkombinasikan keunggulan PAPR yang rendah dengan daya tahan terhadap *frequency selective fading*.

Untuk melakukan komunikasi dalam dua arah secara bersamaan/ simultan atau dikenal dengan istilah komunikasi *full duplex*, maka dibutuhkan suatu teknik *duplex*, teknik ini penting dan harus dipertimbangkan pada komunikasi seluler. Terdapat dua teknik *duplex* yang lazim digunakan, yaitu *frequency division duplex* (FDD) dan *time division duplex* (TDD). FDD merupakan teknik *duplex* dimana

data diantarkan dan diterima dalam satu channel frekuensi yang sama, hanya dengan pemisahan jeda waktu yang singkat, cara pengantaran data menggunakan dua buah channel yang berbeda antara *transmit* dan *receive*. Dengan menggunakan teknik FDD dimungkinkan untuk mengirim dan menerima sinyal secara bersamaan dengan frekuensi yang berbeda-beda. Dengan teknik ini dibutuhkan *guard frequency* untuk memisahkan frekuensi pengiriman dan penerimaan secara simultan, serta dibutuhkan proses *filtering* frekuensi yang harus akurat. Sedangkan TDD menggunakan frekuensi tunggal dan frekuensi tersebut digunakan oleh semua kanal untuk melakukan pengiriman dan penerimaan data. Setiap kanal tersebut di-*multiplexing* dengan menggunakan basis waktu sehingga setiap kanal memiliki *time slot* yang berbeda. Perbedaan teknik FDD dan TDD dapat dilihat pada Gambar 2.4. dan 2.5



Gambar 2.4 FDD pada LTE [16]



Gambar 2.5 TDD pada LTE [16]

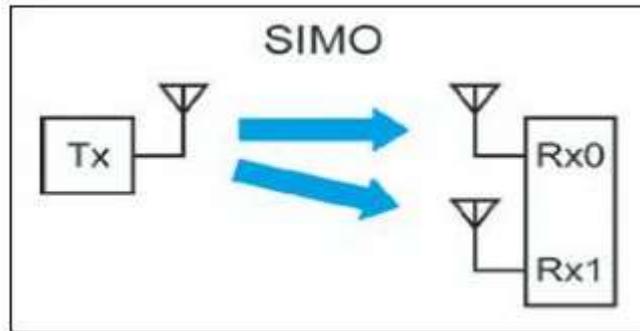
Sebagaimana dijelaskan pada gambar 2.4, bahwa dalam Teknik FDD lebih banyak menggunakan spektrum frekuensi yang tersedia. Kelebihan FDD lebih unggul dalam menangani *latency* dibanding TDD, karena kanal harus lama menunggu waktu pemrosesan dalam *multiplexing interface radio*, seperti penjelasan pada gambar 2.5. Dikarenakan teknologi LTE mendukung *frequency division duplex* (FDD) dan *time division duplex* (TDD), keduanya memiliki struktur *frame* yang berbeda-beda. FDD terdapat 15 band operasi, sedangkan pada TDD terdapat 8 band operasi LTE. Selain itu pada LTE juga dapat menggunakan fasilitas *half-duplex* FDD yang memungkinkan *sharing hardware* diantara *uplink* dan *downlink* dimana keduanya (*uplink dan downlink*) tidak digunakan secara simultan, LTE juga dapat menggunakan kembali semua *band* frekuensi yang digunakan pada UMTS .

#### 2.1.4 Konfigurasi Antena Pada LTE

Dalam komunikasi nirkabel antenna ganda merupakan terobosan signifikan dalam teknologi transmisi nirkabel pada industri komunikasi selular. Konfigurasi antenna yang digunakan pada LTE untuk mengoptimalkan kinerja pada arah *downlink* dalam kondisi *link radio* dengan memanfaatkan jalur spasial dan meningkatkan pemanfaatan spektrum.

##### 1. Single Input Multiple Output (SIMO)

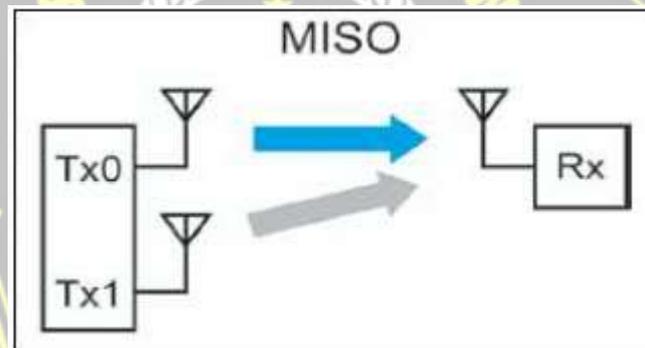
Pada konfigurasi ini hanya digunakan satu buah antenna pada E Node B dan *user equipment* (UE) harus memiliki minimal dua antenna penerima seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Konfigurasi ini disebut *single input multiple output* (SIMO) atau *receive diversity*. Konfigurasi ini diimplementasikan menggunakan teknik *maximum ratio combining* (MRC) pada aliran data yang diterima untuk memperbaiki SNR pada kondisi propagasi yang buruk, sehingga sinyal yang akan diproses selanjutnya adalah sinyal dengan kualitas SNR terbaik.



Gambar 2.6 Konfigurasi SIMO[18]

## 2. Multiple Input Single Output (MISO)

Pada mode ini jumlah antenna yang digunakan pada sisi penerima lebih dari satu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Konfigurasi Antena ini digunakan untuk skema *transmit diversity* dan tipe *beam forming* yang berbeda. Tujuan utama *beam forming* adalah untuk memperbaiki SNR dan tentunya memperbaiki kapasitas sistem dan daerah layanan.

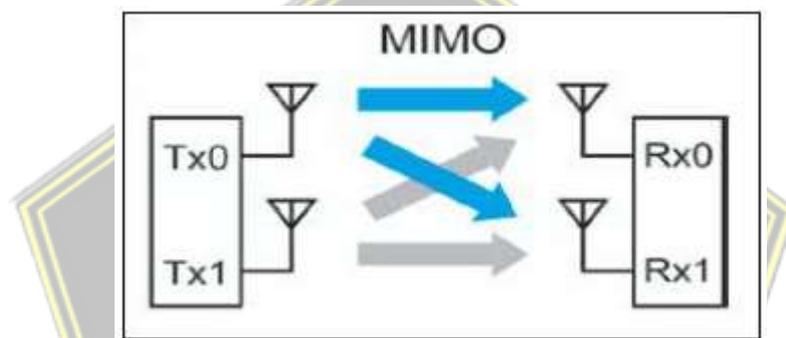


Gambar 2.7 Konfigurasi MISO[16]

## 3. Multiple Input Multiple Output (MIMO)

MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) seperangkat teknologi teknik yang bergantung pada penggunaan beberapa antenna pada penerima dan / atau pemancar, dapat digunakan untuk mencapai peningkatan kapasitas sistem dan peningkatan cakupan area, sistem ini termasuk bagian dari *spatial multiplexing* serta sebagai *pra-coding* dan *transmit diversity*. MIMO memungkinkan perolehan keragaman atau penguatan multiplexing dengan mengadopsi teknologi pemrosesan ruang-waktu, membuatnya penuh penggunaan sumber daya spasial dan meningkatkan pemanfaatan

spektrum. Prinsip dasarnya penggunaan MIMO adalah untuk menyediakan keragaman ruang yang lebih tinggi, memastikan *channel* radio setara yang lebih mulus mengurangi *bit error rate* dan meningkatkan kapasitas system. Kapasitas system yang lebih besar Ketika *Signal Noise Ratio* (SNR) cukup tinggi dan meningkat. MIMO menguraikan data pengguna menjadi beberapa aliran data parallel, mengirimkan sinyal dari dua atau lebih antenna yang berbeda dengan aliran data berbeda dan dengan pemrosesan sinyal dengan mempertahankan daya pancar total, mengidentifikasi aliran data dengan array antenna penerima multi element mengingat karakteristik ruang dari setiap aliran data parallel di penerima dan mengembalikan aliran data asli dengan memanfaatkan teknologi demodulasi multi user.



Gambar 2.8 Konfigurasi MIMO[15]

Teknik MIMO pada umumnya terdiri atas teknik *spatial multiplexing* dan *transmit diversity* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Teknik *spatial multiplexing* mengirimkan data yang berbeda pada masing-masing antenna pemancar, sedangkan teknik *transmit diversity* mengirimkan data yang sama pada masing-masing antenna pemancar. Masing-masing teknik ini memiliki keuntungan tersendiri tergantung dari skenario yang ada. Misalnya, pada beban jaringan yang tinggi atau pada tepi sel, teknik *spatial multiplexing* keuntungan yang terbatas karena pada kondisi ini kondisi SNR cukup buruk. Sebaliknya teknik *transmit diversity* seharusnya digunakan untuk memperbaiki SNR dengan *beamforming*. Selanjutnya pada skenario dimana kondisi SNR tinggi, misalnya pada sel yang kecil, maka *spatial multiplexing* lebih baik digunakan untuk memberikan *bit rate* yang tinggi.

### 2.1.5 Adaptive Modulation Coding (AMC)

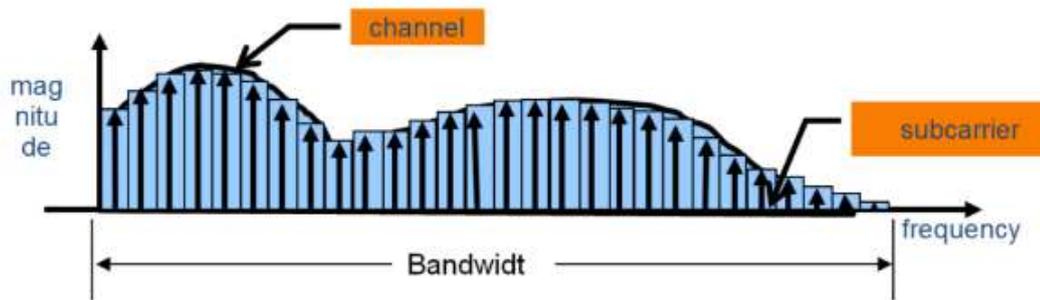
LTE menggunakan modulasi dan pengkodean adaptif AMC untuk memperbaiki *Throughput*. Teknik ini memvariasikan teknik modulasi dan pengkodean yang digunakan sesuai dengan kondisi kanal dari masing-masing user. Apabila kondisi *link* baik, LTE akan menggunakan teknik modulasi tingkat tinggi (lebih banyak *bit*/simbol), dimana akan meningkatkan kapasitas dan *bit rate* jaringan. Sebaliknya ketika kondisi kanal buruk misalnya akibat *fading*, maka LTE dapat merubahnya ke teknik modulasi tingkat lebih rendah untuk menjaga *link margin radio* yang sudah ditetapkan. Pada LTE digunakan 3 jenis modulasi, yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM.

## 2.2 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

OFDM atau singkatan dari *orthogonal frequency division multiplexing* merupakan metode modulasi *multicarrier* yang telah berhasil dikembangkan pada teknologi *wireline*, seperti *digital subscriber line* (DSL). OFDM adalah teknologi yang sangat tepat digunakan untuk lingkungan komunikasi mobile untuk *bit rate* yang tinggi. OFDM membagi aliran data seri dengan laju yang tinggi menjadi aliran data paralel dengan laju data yang rendah dan masing-masing laju data tersebut dimodulasi dengan *carrier* yang berbeda-beda. Durasi simbol sumber dari suatu data serial akan dikonversikan ke bentuk paralel menjadi durasi simbol OFDM yang dinyatakan seperti pada persamaan 2.1.

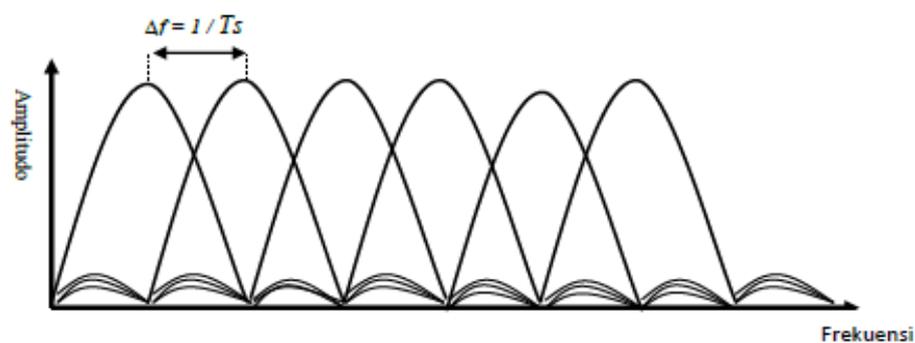
$$T_s = NT_d \quad (2.1)$$

Dimana N adalah jumlah *subcarrier*,  $T_s$  adalah periode simbol OFDM, dan  $T_d$  periode simbol sumber. OFDM merupakan teknik pengembangan dari *frequency division multiplexing* (FDM). Pada teknik FDM, *subcarrier* ini dibuat tidak saling *overlapping* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Sedangkan pada OFDM setiap *subcarrier* memiliki frekuensi *orthogonal* sehingga memungkinkan kedua *subcarrier* saling *overlap* dan sangat menghemat spektrum frekuensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Sinyal subcarrier yang *nonorthogonal* [17]

Pada Gambar 2.9 dapat dilihat bahwa OFDM menghindari rugi-rugi atau efisiensi *bandwidth* karena tidak ada jarak *bandwidth* di antara *subcarrier* dan hal ini memberikan keuntungan yang besar untuk teknik OFDM dibandingkan dengan teknik lainnya.



Gambar 2.10 Spektrum frekuensi *subcarrier* yang saling *orthogonal*[18]  
pada OFDM

Pada Gambar 2.10 dapat dilihat bahwa jarak setiap frekuensi *subcarrier* agar *orthogonal* minimal harus dipisahkan sejauh  $1/T_s$  dan dapat dinyatakan pada persamaan 2.2.

$$\Delta f = \frac{1}{T_s} \quad (2.2)$$

Orthogonal mengandung arti hubungan matematis antara frekuensi *subcarrier*. Hubungan matematis dari *orthogonalitas* dari *subcarrier* dituliskan seperti pada persamaan 2.3.

$$\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} g_k(t) g_l(t) dt = \begin{cases} 1 & k=l \\ 0 & k \neq l \end{cases} \quad (2.3)$$

Misalkan terdapat dua buah *subcarrier* yang diwakilkan dengan persamaan, maka *subcarrier* tersebut dikatakan *orthogonal* jika perkalian dari periode dasar bersama mereka adalah nol seperti pada persamaan 2.4.

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} g_k(t) g_l(t) dt &= \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} e^{j2\pi f_k t} e^{-j2\pi f_l t} dt \\
 &= \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} e^{j2\pi \frac{k}{T_s} t} e^{-j2\pi \frac{l}{T_s} t} dt \\
 &= \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} e^{j2\pi \frac{(k-l)}{T_s} t} dt \\
 &= \begin{cases} 1 & k=l \\ 0 & k \neq l \end{cases}
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

Sinyal yang ditransmisikan  $X_k$  dapat diterima kembali pada *receiver* dengan menggunakan teknik korelasi sesuai dengan persamaan 2.5.

$$\begin{aligned}
 Corr &= \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} x_k(t) g_l(t) dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} X_k g_k(t) g_l(t) dt \\
 &= \sum_{k=0}^{N-1} X_k \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} g_k(t) g_l(t) dt \\
 &= \sum_{k=0}^{N-1} x_k \delta_k \\
 &= x_k
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

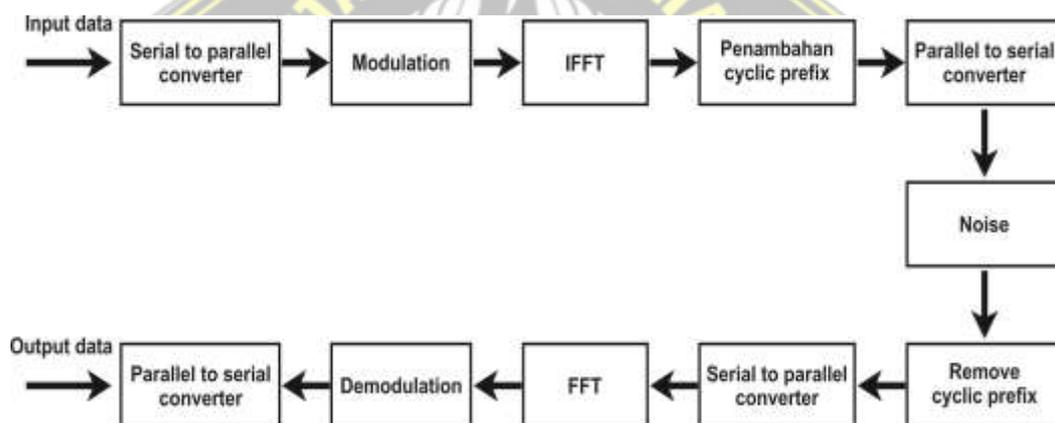
Salah satu masalah pada komunikasi bergerak adalah adanya *intersymbol interference* (ISI) akibat adanya peristiwa *multipath*. Keuntungan utama dari OFDM adalah periode simbol OFDM lebih besar karena kecepatan transmisi di tiap *subcarrier* lebih rendah, sehingga kesensitifan terhadap peristiwa *delay spread* (Penyebaran yang tertunda) menjadi sangat berkurang. Hal ini akan menjadikan teknik OFDM dapat mengurangi pengaruh ISI. Selain itu *Guard interval* juga dapat disisipkan di antara simbol-simbol OFDM. Apabila *guard interval* lebih besar dari lebar waktu tunda *multipath* maka ISI akan dapat dihilangkan.

Pada umumnya kanal *multipath* memiliki suatu *bandwidth*, dimana variasi kanalnya yang relatif sama. *Bandwidth* ini dinamakan *coherence bandwidth*. Ketika sinyal-sinyal ditransmisikan melalui suatu kanal, apabila *coherence bandwidth* lebih kecil dibandingkan dengan *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan, kanal tersebut disebut *frequency selective channel*. Pada kasus ini, sinyal tersebut akan terdistorsi atau mengalami pelemahan daya secara tidak seragam pada beberapa frekuensi tertentu. Sebaliknya jika *coherence bandwidth*

lebih besar dibandingkan dengan *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan, kanal tersebut disebut *frequency non selective* atau *flat channel*. Kanal ini akan mengakibatkan pelemahan daya secara seragam. Pelemahan daya akibat *flat channel* lebih mudah dikendalikan, sehingga kinerja sistem dapat ditingkatkan. Teknologi OFDM dapat mengubah *frequency selective* menjadi *flat channel*, karena transmisi menggunakan *subcarrier* dengan jumlah yang banyak sehingga kecepatan di setiap *subcarrier* sangat rendah dan *bandwidth* di setiap *subcarrier* sangat sempit dan lebih kecil dari *coherence bandwidth*.

### 2.2.1 Sistem Transceiver OFDM

Prinsip kerja teknik OFDM adalah membagi deretan data serial laju yang tinggi ke dalam sejumlah deretan data paralel dengan laju yang lebih rendah dan kemudian ditransmisikan menggunakan *subcarrier* yang saling *orthogonal*. Adapun diagram blok dari *transceiver* OFDM ditunjukkan oleh Gambar 2.10.



Gambar 2.11 Sistem *transceiver* OFDM[18]

Pada Gambar 2.11 dapat dilihat bahwa proses yang terjadi pada *transceiver* meliputi proses *serial to parallel converter*, modulasi, IFFT, penambahan *cyclic prefix* (CP), serta proses *parallel to serial converter*, pemindahan *cyclic prefix* (CP), *serial to parallel converter*, FFT, *demodulator*, dan *parallel to serial converter*.

## 2.2.2 Transmitter OFDM

Gambar 2.11 menunjukkan blok *transmitter* OFDM. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa proses yang terjadi pada *transmitter*, yaitu *serial to parallel converter*, modulasi, *inverse fast fourier transform* (IFFT), penambahan *cyclic prefix* (CP), serta proses *parallel to serial converter*.

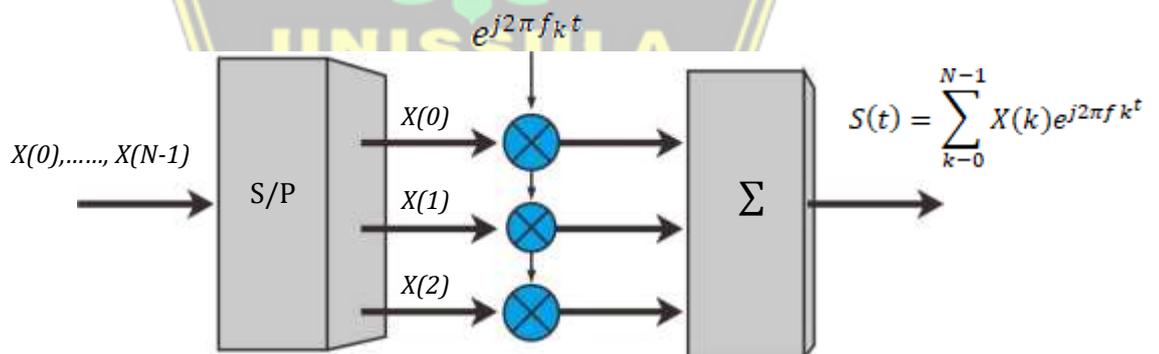


Gambar 2.12 *Transmitter* OFDM[18]

Data yang masuk dengan kecepatan  $R$  pada *serial to parallel converter* akan memiliki kecepatan  $R/N_c$  pada setiap jalur paralel, dimana  $N_c$  adalah jumlah jalur paralel atau *subcarrier*. Misalkan data yang masuk adalah  $[X(0), X(1), \dots, X(N-1)]$ , maka data tersebut akan dipisahkan menjadi beberapa bagian, yaitu  $X(0), X(1), \dots, X(N-1)$ . Kemudian data tersebut dimodulasi dengan *subcarrier* yang berbeda-beda dengan masing-masing *subcarrier* dipisahkan sejauh  $\Delta f$ , maka sinyal termodulasi dinyatakan pada persamaan 2.6:

$$S(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi f_k t}, 0 \leq t \leq T_s \quad (2.6)$$

Dimana  $X(k)$  adalah simbol paralel yang dikirim pada *subcarrier* ke- $k$  yang dimodulasi dengan  $e^{j2\pi f_k t}$  Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Proses konversi *serial to parallel* dan modulasi[15]

Setiap *subcarrier* memiliki frekuensi seperti pada persamaan 2.7.

$$f_k = \frac{k}{T_s}, k = 0, \dots, N-1 \quad (2.7)$$

Kemudian sinyal hasil modulasi dimasukkan dalam blok IFFT untuk mengubah sinyal dalam domain frekuensi ke dalam sinyal domain waktu yang menghasilkan sinyal keluaran IFFT. Hal ini dilakukan dengan melakukan *sampling* pada persamaan  $S(t)$  dengan menggunakan kecepatan sampling  $1/T_d$  seperti pada persamaan 2.8.

$$x_v = X(nT_d) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi \frac{k}{T_s} nT_d}$$

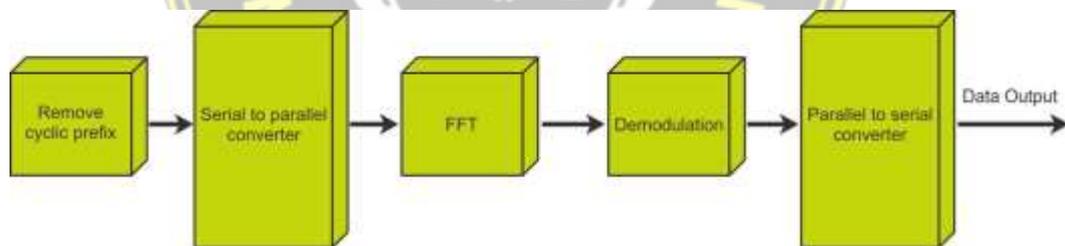
$$x_v = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi \frac{k}{T_s} n \frac{T_s}{N}}$$

$$x_v = (nT_d) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{\frac{j2\pi kn}{N}}, n = 0, \dots, N-1$$
(2.8)

Selanjutnya sinyal ini dikonversikan kembali ke serial dengan menggunakan *parallel to serial converter*.

### 2.2.3 Receiver OFDM

Gambar 2.14 menunjukkan diagram *blok receiver* OFDM. Dari Gambar tersebut dapat dilihat bahwa proses yang terjadi pada *receiver*, meliputi pembuangan *cyclic prefix* (CP), *serial to parallel converter*, *fast fourier transform* (FFT), demodulasi, serta proses *parallel to serial converter*.



Gambar 2.14 Sistem receiver OFDM[11]

Sinyal keluaran dari FFT dan *demodulator* dapat ditulis seperti pada persamaan 2.9.

$$FFT\{x_v\} = S_k = \sum_{k=0}^{N-1} [x_v + N_0] e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}, n = 0, \dots, N-1$$
(2.9)

dimana  $N_0$  adalah *noise* dan  $N$  adalah jumlah *subcarrier*. Apabila tidak ada *noise* pada kanal, maka persamaan menjadi seperti pada persamaan 2.5

$$FFT\{x[k]\} = S_k = \sum_{k=0}^{N-1} x[k] e^{-\frac{j2\pi kn}{N}}$$
(2.10)

### 2.2.4 Kanal AWGN

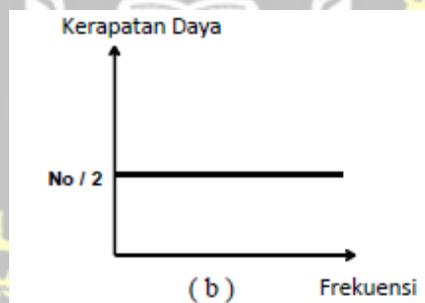
Kanal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) merupakan kanal ideal yang memiliki *bandwidth* tidak terbatas dan respon frekuensinya tetap untuk segala frekuensi sehingga tidak menimbulkan distorsi atau perubahan sinyal yang dikirimkan. Kanal ini memiliki *white noise* dengan kerapatan spektrum yang tetap dan amplitudo terdistribusi *Gaussian*. Kanal ini tidak melibatkan pengaruh *fading*, interferensi, ketidaklinieran kanal atau dispersi. *White noise* ini berasal dari berbagai sumber, seperti *thermal noise* atom dalam konduktor, *shot noise*, radiasi bumi atau objek lainnya, serta panas matahari. Apabila sinyal  $s(t)$  dikirimkan melewati kanal AWGN  $n(t)$ , maka sinyal yang tiba di penerima  $r(t)$  dapat dituliskan seperti pada persamaan 2.11.

$$r(t) = s(t) + n(t) \quad (2.11)$$

*White noise* memiliki kerapatan noise yang sama untuk setiap frekuensi seperti Gambar 2.14 dan dapat dituliskan seperti pada persamaan 2.12.

$$\phi(f) = \frac{N_0}{2} \quad [W/Hz] \quad (2.12)$$

Dimana  $N_0$  adalah konstanta dan sering disebut kerapatan daya noise.



Gambar 2.14. Fungsi kerapatan daya AWGN[10]

Pola kemunculan *noise* AWGN dianggap terdistribusi *Gaussian* dengan nilai rata-rata ( $\mu$ ) adalah nol dan variansi tergantung dari rapat daya yang diperkirakan dari *noise* tersebut seperti pada Gambar 2.14. Fungsi kerapatan probabilitas dapat ditunjukkan persamaan 2.13.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) \quad (2.13)$$

$$\sigma^2 = N_0/2 \text{ dan } N_0 = kTB, \text{ sehingga } \sigma^2 = kTB/2.$$

Dimana :

$f(x)$	= Fungsi kepadatan probabilitas
$\sigma^2$	= Variansi
$\mu$	= rata-rata (mean), nilainya 0
$x$	= variabel (tegangan atau daya sinyal)
$k$	= konstanta Boltzman ( $1,38 \times 10^{-23}$ JK <sup>-1</sup> )
$T$	= Temperatur (Kelvin)
$B$	= Bandwidth (Hz)

### 2.3 Modulasi dan Teknik Modulasi Adaptif

Pada LTE dengan Teknik modulasi Adaptif yang mampu menyesuaikan jenis modulasi sesuai dengan kondisi *link* saat itu. Modulasi yang dapat digunakan, yaitu QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM

#### 2.3.1 Modulasi

Modulasi adalah proses pengkodean informasi dari sumber pesan dengan cara yang sesuai dengan proses transmisi. Pada modulasi digunakan sinyal *carrier* yang memiliki nilai frekuensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai frekuensi sinyal pesan. Sinyal pesan disebut sebagai sinyal pemodulasi dan sinyal *carrier* disebut sinyal termodulasi. Pada umumnya modulasi dapat dilakukan dengan mengubah-ubah amplitudo, fasa, atau frekuensi dari sinyal *carrier* sesuai dengan amplitudo sinyal pesan. Akan tetapi pada perkembangannya teknik modulasi sudah dapat mengkombinasikan perubahan amplitudo, fasa, dan frekuensi dalam suatu teknik modulasi. Adapun jenis-jenis modulasi yang digunakan pada teknologi LTE dalam arah *downlink* adalah QPSK, 16-QAM, dan 64-QAM. Perbedaan *bit rate* dan jumlah *bit* per simbol modulasi pada LTE ditunjukkan pada Tabel 2.1

Jenis Modulasi	Jumlah Bit /Simbol	Bit rate
QPSK	2	R
16-QAM	4	2R
64-QAM	6	3R

Tabel 2.1 Perbandingan beberapa jenis modulasi pada LTE

Pada Tabel 2.1 dapat dilihat bahwa modulasi 64-QAM memiliki jumlah *bit* untuk membentuk satu simbol dibandingkan dengan modulasi lainnya sehingga memiliki *bit rate* tiga kali lebih cepat dibandingkan dengan *bit rate* QPSK dan dua kali lebih tinggi dibandingkan dengan *bit rate* 16-QAM.

### 2.3.2 Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)

Modulasi QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) adalah teknik modulasi digital yang merupakan pengembangan dari Teknik modulasi PSK (*Phase Shift Keying*) dengan memanfaatkan perubahan fasa dari sinyal pembawa, modulasi ini dapat mengkodekan dua bit per symbol yang ditujukan untuk meminimalisir *bit error rate* (BER), teknik ini pula menjadikan efisiensi *bandwidth* dua kali lebih baik dibanding BPSK. Sinyal QPSK untuk keadaan setiap symbol ditunjukkan oleh persamaan 2.14.

$$S_{QPSK} = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos \left[ 2\pi f_c t + (i-1) \frac{\pi}{2} \right], 0 < t < T_s, i = 1, 2, 3, 4 \quad (2.14)$$

Dimana  $T_s$  merupakan durasi dari symbol dan nilainya dua kali periode *bit* dan adalah energi sinyal. Persamaan diatas dapat dituliskan dengan menggunakan rumus trigonometri, seperti pada persamaan 2.15.

$$S_{QPSK} = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos \left[ (i-1) \frac{\pi}{2} \right] \cos(2\pi f_c t) - \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \sin \left[ (i-1) \frac{\pi}{2} \right] \sin(2\pi f_c t) \quad (2.15)$$

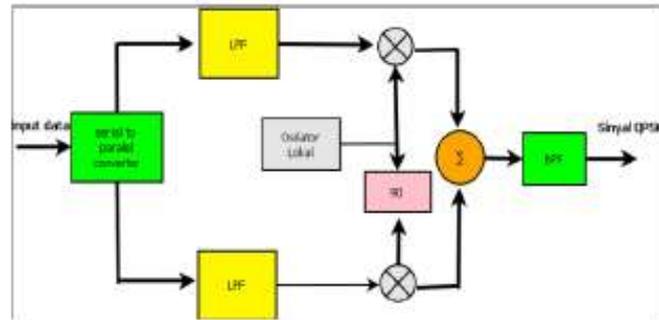
Dikarenakan dua sinyal BPSK menghasilkan sinyal QPSK, maka untuk membedakan antara kedua sinyal tersebut digunakan dua sinyal *carrier* yang saling *orthogonal*, yaitu gelombang sinus dan cosinus dapat dirumuskan pada persamaan 2.16 dan persamaan 2.17.

$$\Phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(2\pi f_c t) \quad (2.16)$$

$$\Phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \sin(2\pi f_c t) \quad (2.17)$$

Selanjutnya substitusi persamaan 2.16 dan 2.17 ke persamaan 2.15, sehingga persamaan sinyal QPSK dengan 4 keadaan dapat dinyatakan dengan persamaan

$$S_{QPSK} = \sqrt{E_s} \cos \left[ (i-1) \frac{\pi}{2} \right] \Phi_1(t) - \sqrt{E_s} \sin \left[ (i-1) \frac{\pi}{2} \right] \Phi_2(t) \quad (2.18)$$



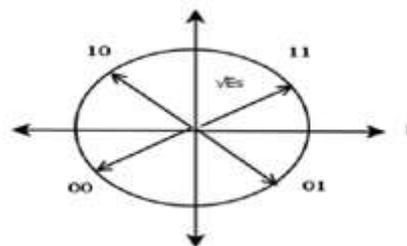
Gambar 2.15 Modulator QPSK[13]

Gambar 2.15 merupakan skema modulator QPSK, penjelasan dari gambar tersebut bahwa sinyal input data terlebih dahulu di konversikan kedalam bentuk parallel dengan masing-masing terdiri atas 2 bit, selanjutnya sinyal tersebut melalui LPF (*Low Pass Filter*) dan kemudian melalui isolator lokal dengan frekwensi sinyal *carrier* berbeda fasa 90. Dikarenakan dalam satu symbol terdapat 2 bit, maka kemungkinan terdiri 4 kombinasi bit yang membentuk 1 simbol, yaitu 00, 01, 10, 11. Adapun pemetaan bit tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Kombinasi Bit	Besar Fasa	Resultan Amplitudo
11	$\pi/4$	$\sqrt{E_s}$
01	$3\pi/4$	$\sqrt{E_s}$
00	$5\pi/4$	$\sqrt{E_s}$
10	$7\pi/4$	$\sqrt{E_s}$

Tabel 2.2 Pemetaan Bit Pada Modulasi QPSK

Secara konsitelasi sinyal QPSK dapat diwakilkan dengan menggunakan dua dimensi diagram konsitelasi seperti pada gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Konsitelasi sinyal QPSK[14]

### 2.3.3 Quadrature Amplitude Modulation (QAM)

QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) merupakan sebuah metode untuk menggabungkan dua AM (*Amplitude Modulated*) sinyal dalam satu saluran, sehingga lebih efektif karena bisa dua kali lipat bandwidth. QAM digunakan dengan PAM (*Pulse Amplitude Modulation*) dalam system digital, terutama pada nirkabel aplikasi. Jika kita mengirim lebih banyak bit secara bersamaan tentunya error-rate juga akan lebih tinggi, untuk mencegah hal tersebut yaitu menggunakan system MQAM (*M-ary Quadrature Amplitude Modulation*). Pada modulasi M-QAM, amplitudo dari sinyal yang ditransmisikan dijaga tetap konstan. Dengan membuat amplitudo dan fasa selalu berubah, suatu teknik modulasi QAM akan diperoleh. Bentuk umum sinyal M-QAM ditunjukkan oleh persamaan 2. 19.

$$S_{QPSK} = \sqrt{\frac{2E_{min}}{T_s}} a_i \cos[2\pi f_c t] - \sqrt{\frac{2E_{min}}{T_s}} b_i \sin[2\pi f_c t] \quad (2.19)$$

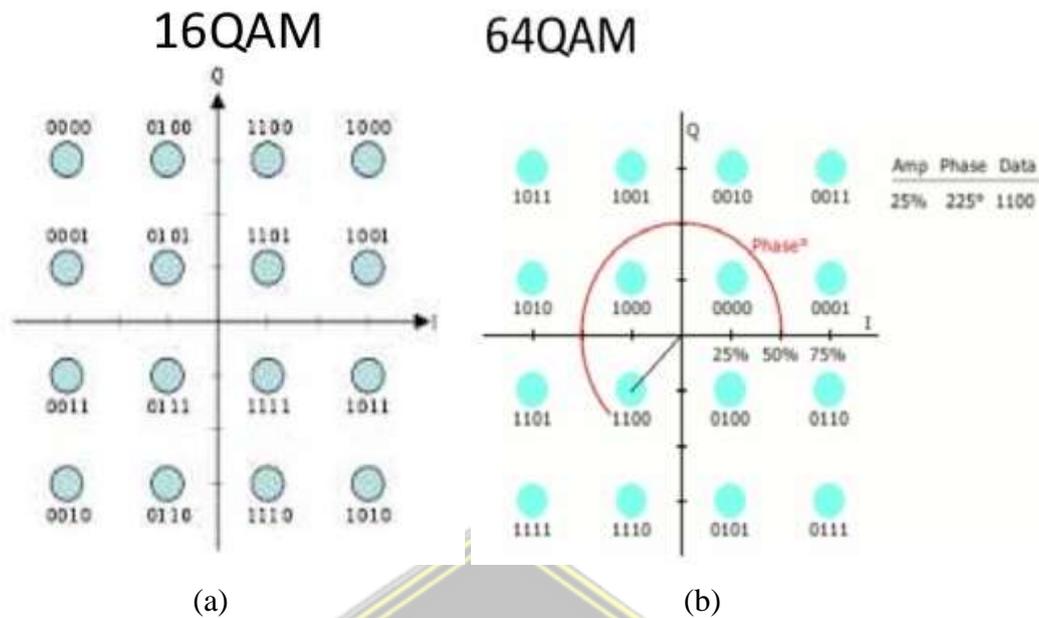
Dimana  $E_{min}$  adalah energi dari sinyal pada amplitudo terendah dan  $a_i, b_i$  adalah bilangan integer yang dipilih sesuai dengan letak titik sinyal. Nilai  $(a_i, b_i)$  (minimum adalah  $(\pm 1, \pm 1)$ ), dimana  $i = 1, 2, \dots, M$ .  $a_i, b_i$  adalah elemen  $\sqrt{M}$  dari matriks  $L \times L$ , seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.20.

$$a_i, b_i = \begin{bmatrix} (-L+1, L-1) & (-L+3, L-1) & \dots & (L-1, L-1) \\ (-L+1, L-3) & (-L+3, L-3) & \dots & (L-1, L-3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ (-L+1, L+1) & (-L+3, -L+1) & \dots & (L-1, -L+1) \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Misalkan untuk 16-QAM ( $M=4$ ), maka matri  $L \times L$  dapat di tuliskan dengan persamaan di bawah ini :

$$a_i, b_i = \begin{bmatrix} (-3,3) & (-3,3) & (1,3) & (3,3) \\ (-3,1) & (-1,1) & (1,1) & (3,1) \\ (-3,-3) & (-1,-1) & (1,-1) & (3,-1) \\ (-3,-3) & (-1,-3) & (1,-3) & (3,-1) \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Konstelasi sinyal 16 QAM dan 64 QAM dapat dilihat pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Konstelasi sinyal  $16\text{-QAM}$  (a) dan  $64\text{-QAM}$  (b) [19]

Gambar 2.17 memperlihatkan bahwa pada modulasi  $16\text{-QAM}$  terdapat 16 simbol yang berbeda dengan masing-masing pada simbol terdiri atas 4 bit. Sementara untuk  $64\text{-QAM}$  terdapat 64 simbol yang berbeda dengan masing-masing pada simbol terdiri atas 6 bit. Pada modulasi  $M\text{-QAM}$ , alphabet  $\alpha$  yang digunakan memenuhi persamaan 2.22.

$$\alpha_{M\text{-QAM}} = [\pm(2m-1) \pm j(2m-1)] \quad (2.22)$$

dimana  $m \in \frac{\sqrt{M}}{2} \{1, \dots\}$ . Maka dapat ditentukan besar alphabet  $\alpha$  dari modulasi  $16\text{-QAM}$  dan  $64\text{-QAM}$  dinyatakan seperti pada gambar 2.23 dan persamaan 2.24.

$$\alpha_{16\text{ QAM}} = \left\{ \begin{array}{l} \pm 1 + \pm 1j, \pm 1 + \pm 3j \\ \pm 3 + \pm 3j, \pm 3 + \pm 1j \end{array} \right\} \quad (2.23)$$

$$\alpha_{64\text{ QAM}} = \left\{ \begin{array}{l} \pm 7 \pm 7j, \pm 7 \pm 5j, \pm 7 \pm 3j, \pm 7 \pm 1j \\ \pm 5 \pm 7j, \pm 5 \pm 5j, \pm 5 \pm 3j, \pm 5 \pm 1j \\ \pm 3 \pm 7j, \pm 3 \pm 5j, \pm 3 \pm 3j, \pm 3 \pm 1j \\ \pm 1 \pm 7j, \pm 1 \pm 5j, \pm 1 \pm 3j, \pm 1 \pm 1j \end{array} \right\} \quad (2.24)$$

Jadi total energi pada konstelasi  $M\text{-QAM}$  dapat dirumuskan seperti pada persamaan 2.25.

$$E_{\alpha} = \sum_{m=1}^{\frac{\sqrt{M}}{2}} |(2m-1) + j(2m-1)|^2 = \frac{\sqrt{M}}{3} M - 1 \quad (2.25)$$

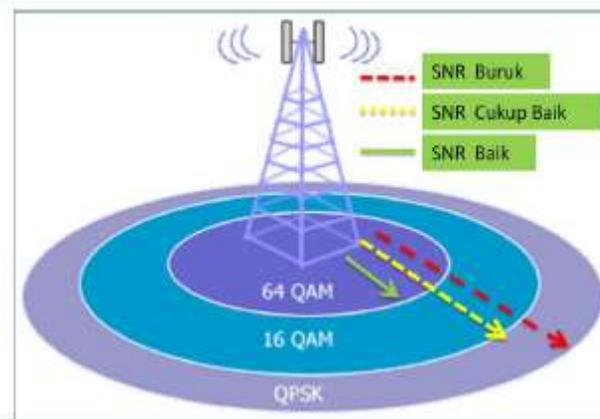
Masing masing *alphabet* digunakan kali pada konstelasi sehingga untuk mendapatkan energi rata-rata dari konstelasi simbol dapat dituliskan seperti pada persamaan 2.26.

$$\begin{aligned}
 E_{M-QAM} &= \frac{2\sqrt{M}}{M} E_{\alpha} \\
 &= \frac{2\sqrt{M}}{M} \left( \frac{\sqrt{M}}{3} (M - 1) \right) \\
 &= \frac{2}{3} (M - 1)
 \end{aligned} \tag{2.26}$$

Energi rata-rata untuk  $16-QAM$   $\frac{2}{3}(16 - 1) = 10$  adalah dan energi rata-rata untuk  $64-QAM = 64 - QAM = \frac{2}{3}(64 - 1) = 42$ . Oleh karena itu, untuk menormalisasi energi rata-rata menjadi satu, maka digunakan faktor skala  $\frac{1}{\sqrt{10}}$ , untuk modulasi  $16-QAM$  dan  $\frac{1}{\sqrt{42}}$  untuk modulasi  $64-QAM$ .

#### 2.3.4 Teknik Modulasi Adaptif

Sistem modulasi adaptif melakukan perubahan jenis modulasi sesuai dengan kondisi *link* radio saat itu. Misalkan, saat kondisi *link* radio baik, maka akan meningkatkan nilai SNR sehingga dapat digunakan teknik modulasi yang menghasilkan *bit rate* tertinggi dengan BER yang rendah. Saat *link* radio buruk akan menurunkan nilai SNR sehingga memaksa penggunaan teknik modulasi dengan *bit rate* yang lebih rendah untuk mempertahankan reabilitas *link*. Ketika kondisi *link* baik maka modulasi 64-QAM akan dipilih untuk digunakan dari pada modulasi QPSK karena memiliki *bit rate* lebih cepat. Kondisi ini diperlihatkan pada Gambar 2.18. Pada Gambar tersebut dapat dilihat bahwa semakin dekat daerah layanan dengan antena pengirim, maka digunakan modulasi dengan level lebih tinggi sehingga digunakan *bit rate* yang lebih tinggi. Modulasi adaptif memungkinkan adanya efisiensi spektrum dan kekebalan transmisi pada kondisi kanal yang bervariasi terhadap waktu.



Gambar 2.18 Penggunaan modulasi adaptif pada kondisi *link* radio[20]

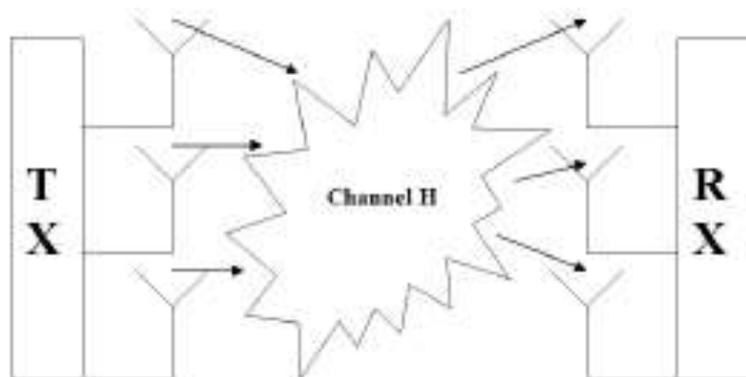
yang berbeda

Pada teknik modulasi adaptif *receiver* akan mengirimkan *channel quality indicator* (CQI) berisi level SNR kepada *transmitter* dan nilai tersebut akan dibandingkan dengan nilai *threshold* SNR dan standar BER yang ditetapkan sebelumnya sehingga pengirim akan memutuskan untuk mengubah jenis modulasi pada transmisi berikutnya sesuai dengan informasi yang diterimanya dari penerima.

#### 2.4 Teknik Transmisi Antena MIMO

MIMO adalah antena cerdas yang menggunakan antena lebih dari satu, baik pada sisi *transmitter* ataupun *receiver* untuk memperbaiki kinerja komunikasi *link* radio seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.19. Teknologi MIMO sudah diimplementasikan pada standar teknologi komunikasi *wireless* seperti 3GPP LTE atau wimax karena teknologi ini menawarkan peningkatan *Throughput* data secara signifikan dan jangkauan *link* tanpa penambahan *bandwidth* atau daya pancar. Teknologi ini memberikan efisiensi spektrum dan reabilitas *link* yang tinggi karena dapat mengurangi pengaruh fading [7]. Dengan Antena MIMO, maka interferensi yang sering mengganggu pada komunikasi seluler dapat ditekan sehingga dapat menaikkan *signal to noise ratio* (SNR). Selain itu kombinasi teknik OFDM dan MIMO atau MIMO-OFDM telah memberikan efisiensi spektrum yang tinggi karena OFDM membagi data serial

dengan frekuensi tinggi menjadi data paralel dengan laju rendah yang dimodulasi menggunakan *subcarrier-subcarrier* dengan frekuensi yang *orthogonal*.



Gambar 2.19 Antena MIMO 3x3[22]

MIMO dapat dibagi kedalam dua bagian, yaitu teknik *transmit diversity* dan *spatial multiplexing* dan pemilihan ini tergantung pada kondisi kanal. *Transmit diversity* meningkatkan *coverage* dan *quality of service* (QOS) karena mengirimkan aliran data yang sama ke penerima, sedangkan *spatial multiplexing* meningkatkan efisiensi spektrum karena mengirimkan aliran data secara independen dan terpisah pada masing-masing antenna.

Mode Operasi MIMO terdiri atas dua jenis, yaitu *open loop* dan *closed loop*. Pada MIMO-*open loop system* hanya mengetahui *channel state information* (CSI) pada sisi penerima, sedangkan MIMO-*closed loop* sudah mengetahui CSI pada sisi *transmitter* yang dapat digunakan untuk memperbaiki *Throughput* dan reabilitas dari sistem. Teknik *open loop* pada *spatial multiplexing* menerapkan strategi pendeteksian pada sisi penerima secara linear, seperti *zero forcing* (ZF) dan *minimum mean square error* (MMSE), atau secara nonlinear, misalnya *maximum likelihood* (ML), *successive interference cancellation* (SIC) atau *parallel interference cancellation* (PIC). Sementara Untuk teknik *transmit diversity*, misalnya *space time block coding* (STBC) dan *space frequency block coding* (SFBC). Teknik STBC yang cukup populer saat ini adalah teknik yang diperkenalkan *alamouti* dan selanjutnya dikembangkan menjadi teknik *orthogonal space time block coding* (OSTBC) untuk jumlah antenna pemancar di *transmitter* lebih dari dua [7].

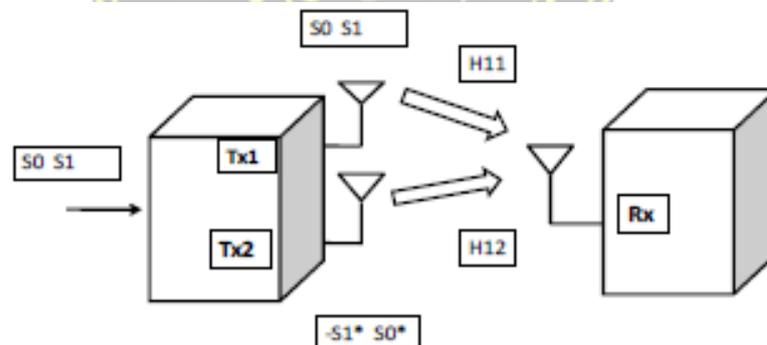
### 2.4.1 Space Frequency Block Coding (SFBC)

Teknik *transmit diversity* diimplementasikan dengan menggunakan *space frequency block coding* (SFBC) dan *space time block coding* (STBC). SFBC hampir memiliki kesamaan dengan teknik *space time block coding* (STBC) yang dikenal dengan *alamouti code*. Akan tetapi perbedaannya terletak pada domainnya, dimana SFBC berada pada domain frekuensi, sedangkan STBC berada dalam domain waktu [8]. STBC digunakan pada UMTS, tetapi pada LTE jumlah simbol OFDM pada suatu *subframe* selalu berjumlah ganjil, sementara STBC menggunakan pasangan-pasangan simbol yang berpasangan pada domain waktu. Oleh karena itu teknik STBC tidak digunakan pada teknologi LTE [9].

Simbol-simbol yang ditransmisikan dari dua antenna pengirim pada *subcarrier* yang berdekatan pada teknik SFBC dapat dituliskan sebagai berikut :

$$X \begin{bmatrix} x^{(0)}(1) & x^{(1)}(1) \\ x^{(0)}(2) & x^{(1)}(2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_0 & -S_1 \\ S_1 & S_0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \xrightarrow{\text{Antena}} \\ \downarrow \text{Frekuensi} \end{matrix}$$

dimana  $x(p)(k)$  menyatakan simbol yang dikirimkan pada *port* antenna ke- $p$  pada subcarrier ke- $k$ . Pada persamaan di atas dapat dilihat pada antenna pertama dikirimkan  $S_0$  dan  $S_1$  pada frekuensi yang berbeda dan pada antenna kedua dikirimkan simbol  $S_1$  dan  $S_0$  yang merupakan hasil konjugasi dari sinyal asli. Pada Gambar 2.20 dapat dilihat kombinasi SFBC dengan dua antenna pengirim dan satu antenna penerima.



Gambar 2.20 Proses pengkodean SFBC dengan dua antenna pengirim[20]

Pada Gambar 2.20 dapat dilihat bahwa sinyal yang sama dikirimkan pada kedua antenna kemudian dipancarkan melewati antenna yang berbeda. Sinyal yang dipancarkan oleh kedua antenna tersebut melewati lintasan yang berbeda dan diasumsikan terdapat bahwa kanal adalah kanal fading, maka persamaan matematis dapat dituliskan seperti pada persamaan 2.27 dan 2.28.

$$H_{11} = \alpha_0 e^{j\theta_0} \quad (2.27)$$

$$H_{12} = \alpha_1 e^{j\theta_1} \quad (2.28)$$

Sinyal yang diterima pada penerima dinyatakan seperti pada persamaan 2.29:

$$Y = HS + N \quad (2.29)$$

Subtitusikan persamaan 2.27 dan 2.28 ke persamaan 2.29.

$$\begin{bmatrix} Y_0 \\ Y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_0 & S_1 \\ -S_1 & S_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} N_0 \\ N_1 \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

$$Y_0 = H_{11}S_0 + H_{12}(-S_1) + N_0 \quad (2.30)$$

$$Y_1 = H_{11}S_1 + H_{12}S_0 + N_1 \quad (2.31)$$

Dimana  $N_0$  dan  $N_1$  adalah *noise* AWGN,  $H$  adalah matriks kanal MIMO, dan  $Y_0$ ,  $Y_1$  merupakan sinyal yang diterima pada frekuensi yang berbeda. Kemudian kedua sinyal tersebut masuk ke bagian combiner dan hasil sinyal yang dikombinasikan dinyatakan seperti pada persamaan 2.32.

$$\begin{bmatrix} S_{0r} \\ -S_{1r}^* \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{12} & -H_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_0 \\ Y_1 \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

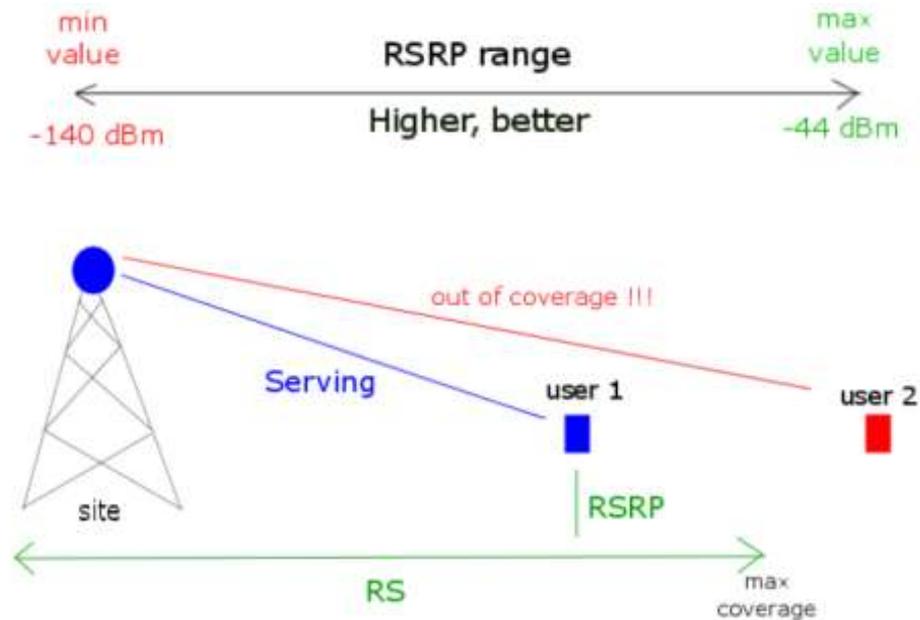
dimana dan merupakan hasil akhir sinyal yang diterima di *receiver* pada proses pengiriman simbol  $S_0$  dan  $S_1$ .

## 2.5 Parameter Optimalisasi LTE

### 2.5.1 RSRP (*Reference Signal Received Power*)

RSRP adalah power rata-rata pada *resource element* yang membawa *reference signal* dalam subcarrier. UE (*User Equipment*) mengukur power dari banyak *resource element* yang digunakan untuk membawa *reference signal* kemudian dihitung rata-rata-nya dalam satu bandwidth. Semakin jauh jarak antara *site* dan *user*, maka semakin kecil pula RSRP yang diterima oleh *user*. RS merupakan *Reference Signal* atau RSRP di tiap titik

jangkauan *coverage*. *user* yang berada di luar jangkauan maka tidak akan mendapatkan layanan LTE.



Gambar 2.21 User 1 menerima sinyal serving RSRP dari site[18]

RSRP bisa dihitung dengan formula berikut :

$$\text{RSRP} = \text{RSSI} - 10 \log (12 * N) \quad (2.33)$$

dengan penjelasan sebagai berikut :

- RSRP *Reference Signal Received Power* (dBm).
- RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) merupakan power sinyal yang diterima *user* dalam rentang frekuensi tertentu termasuk *noise* dan interferensi (dBm).
- N merupakan *Number of resource block* yang digunakan oleh OFDMA.

### 2.5.2 RSRQ (Reference Signal Received Quality)

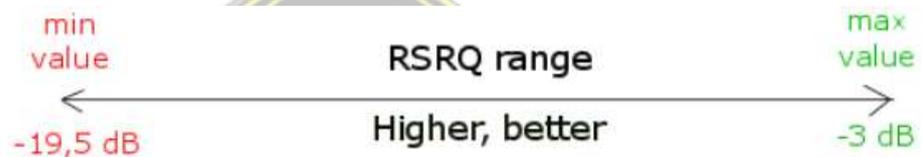
RSRQ didefinisikan sebagai rasio antara jumlah N RSRP terhadap RSSI (*Received Signal Strength Indication*). Atau biasa ditulis  $\text{RSRQ} = N \times \text{RSRP} / \text{RSSI}$ . RSSI mengukur power bandwidth termasuk serving cell power, noise, dan interference power. RSRQ merupakan parameter yang

menentukan kualitas dari sinyal yang diterima. RSRQ dapat dihitung dengan formula berikut :

$$\mathbf{RSRQ = (RSRP * N) / RSSI} \quad (2.34)$$

Dengan penjelasan sebagai berikut :

- RSRQ = *Reference Signal Received Quality* (dB).
- RSRP = *Reference Signal Received Power* (dBm) merupakan level sinyal yang diterima *user*.
- N = *Number of Resource block* yang digunakan oleh OFDMA.
- RSSI = *Received Signal Strength Indicator* merupakan *power* sinyal yang diterima *user* dalam rentang frekuensi tertentu termasuk *noise* dan interferensi (dBm).

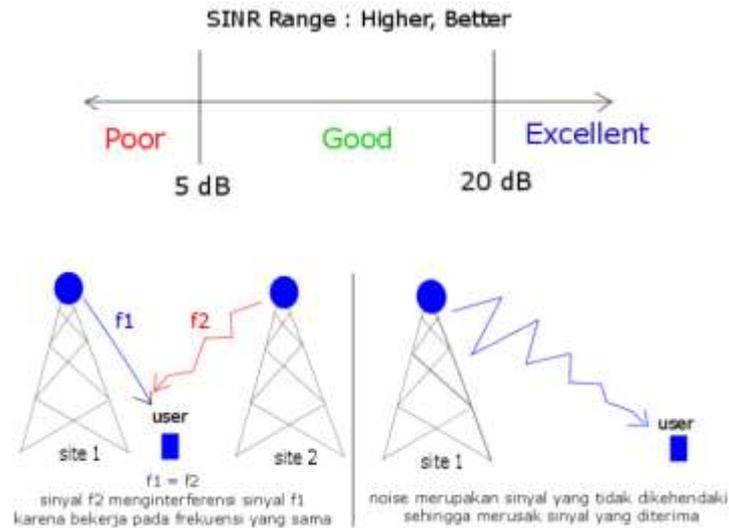


Gambar 2.22 RSRQ Range[18]

berdasarkan persamaan diatas, semakin besar nilai RSSI maka semakin kecil nilai RSRQ. selain itu, semakin besar nilai RSRP maka semakin besar pula nilai RSRQ

### 2.5.3 SINR (*Signal to Interference Noise Ratio*)

SINR merupakan rasio perbandingan antara sinyal utama yang dipancarkan dengan interferensi dan *noise* yang timbul (tercampur dengan sinyal utama)



Gambar 2.22 Perbedaan interferensi dan *noise*[18]

formula dalam menghitung SINR adalah sebagai berikut :

$$\text{SINR} = \text{P} / \text{I} + \text{N} \quad (2.35)$$

dimana :

- a. SINR = *Signal to Noise Ratio* (dB).
- b. P = Power yang diterima pada jarak tertentu.
- c. I = Interferensi yang diterima P akibat site lain yang bekerja pada frekuensi yang sama.
- d. N = Noise yang diterima P.

### 2.1.1. CQI (*Channel Quality Index*)

CQI merupakan kualitas dari sebuah *channel downlink* (dari *site* ke *user*) dengan kondisi *dedicated mode* (pada LTE, *user* melakukan download data). CQI dapat diperoleh dari *user* yang melakukan pemberian informasi terhadap *site* berupa modulasi yang digunakan, *code rate*, dan *efficiency*.



### 2.5.5 BLER (*Block Error Rate*)

BLER merupakan rasio perbandingan antara total *error block* dengan total *block* dari sebuah transmisi data digital. BLER digunakan untuk mengetahui tingkat keberhasilan dari demodulasi sinyal dengan menggunakan metode CRC.

formula dari BLER adalah :

$$\text{BLER} = (\text{Total error Block} / \text{total block}) * 100\% \quad (2.37)$$

BLER masih dianggap baik apabila bernilai <10%, semakin besar nilai BLER mengakibatkan gagal demodulasi data digital menjadi informasi.

### 2.5.6 *Tilting*

*Tilting* diartikan sebagai suatu pengaturan kemiringan antena yang berfungsi untuk menetapkan area yang akan menerima cakupan sinyal. Dan untuk menentukan/mengubah *coverage* area yang akan di layani oleh BTS inilah biasanya kita melakukan teknik *tilting*, dimana kita bisa mengubah arah atau kemiringan antena. *Tilting* itu dibagi menjadi 2 jenis yaitu :

#### a. Mekanikal *Tilting*

Mekanikal *tilting* adalah mengubah kemiringan antena dengan metode mekanis atau mengubahnya dari sisi fisik antena. *Rigger* memiliki alat ukur tilt meter yang memperlihatkan derajat kemiringan antena. Kemiringan antenna mekanis yang terbaik adalah  $1^0 \sim 5^0$ , Ketika kemiringan  $5^0 \sim 10^0$  radikalisasi antena memiliki perubahan kecil, sedangkan kemiringan lebih dari  $15^0$  radikalisasi antena berubah serius dan dapat meningkatkan gangguan system.



Gambar 2.24 Contoh Pengukuran Mekanikal *Tilting*

b. Elektrikal *Tilting*

Elektrikal *tilting* adalah mengubah jangkauan area cakupan antenna dengan cara merubah fasa pada pol antenna, sehingga akan terjadi perubahan pada *bandwith* antenna. Saat membutuhkan perubahan fasa dengan cara melakukan perubahan pada settingan *electrical tilting* pada antenna. Posisi pengaturan *electrical tilting* berada dibawah antenna. Berikut sesuai tertera pada gambar 2.25.



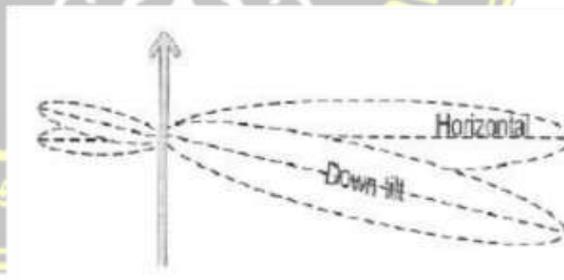
Gambar 2.25 Elektrikal *tilting* Manual[20]

Kemajuan teknologi yang dinamis memudahkan para *engineer* dalam melakukan perubahan tilting tanpa harus naik ke antenna, namun cukup dengan merubah parameter RET (*Remot Electrical Tilt*) melalui computer yang terhubung dengan antenna tersebut. Posisi RET (*Remot Electrical Tilt*) pada antenna sebagaimana pada gambar2.36.

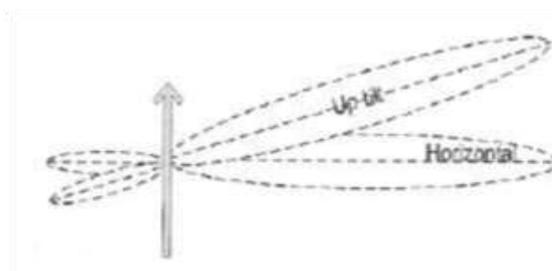


Gambar 2.26 RET[12]

Pengaturan *mechanical* dan *electical tilting* yang seimbang dan tepat akan menghasilkan *coverage* yang baik sesuai dengan harapan. Jika kondisi pada antenna tersebut terdapat *electical tilting*, akan lebih disukai nilai *mechanical tilting* tetap pada posisi 0. *Tilting* memiliki dua arah yaitu *up tilt* dan *down tilt*. *Uptilt* dapat mengubah arah *coverage* antenna lebih keatas, sedangkan *downtilt* sebaliknya yaitu mengubah arah *coverage* antenna lebih kebawah.



Gambar 2.27 Downtilt[21]



Gambar 2.28 Uptilt[21]

Rumus untuk menghitung jarak pancar yang akan ditempuh oleh sebuah antenna dapat dihitung adalah dengan:

$$Beam < 3 \text{ dB} = Ha / \tan(\text{downtilt} + \text{vertical beamwidth}/2) \text{ (meter)}$$

$$\text{Main beam} = Ha / \tan(\text{downtilt}) \text{ (meter)} \quad (2.38)$$

$$Beam > 3 \text{ dB} = Ha / \tan(\text{downtilt} - \text{vertical beamwidth}/2) \text{ (meter)}$$

Dimana:

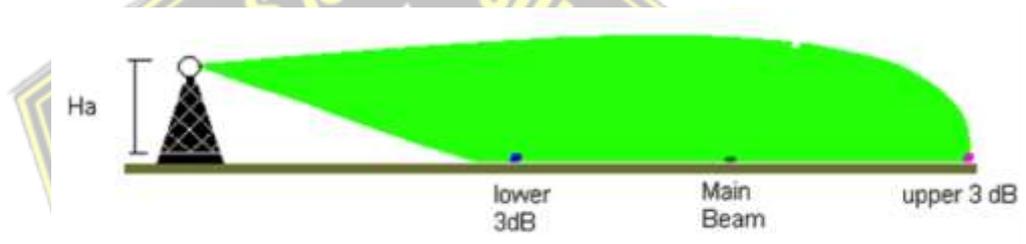
Jarak = Jarak beam (meter)

Ha = Tinggi antenna (meter)

Downtilt = Kemiringan antenna (derajat)

Vertikal beamwidth = Besar beam vertical (derajat)

Gambar berikut sebagai ilustrasi perumusan untuk menghitung jarak yang tercover antenna:

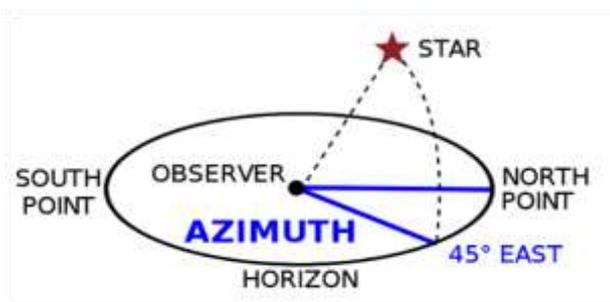


Gambar 2.29 Ilustrasi *Tilting*[21]

Pada kenyataannya nilai *downtilt* antenna juga sangat berkaitan dengan tinggi antenna, ketika merubah derajat kemiringan antenna maka akan mempegaruhi dan merubah jarak pancar antenna. Tools yang dapat membantu memudahkan analisa dan memperkirakan jarak pancar antenna bisa digunakan *software*, salah satu contoh *software* tersebut adalah *Katherin Scala* yang dikeluarkan oleh *Katherin*. Untuk menentukan nilai *tilting* perlu diketahui juga data *sheet* antena yang digunakan. Untuk melihat karakteristik antena tersebut, seperti band pancaran, vertikal *beam*, tipe dan derajat *tilt*.

### 2.5.7 Azimuth

Di dalam instalasi antenna BTS juga kita harus mengenal apa yang dinamakan *azimuth*. Pengertian *azimuth* adalah sudut putar dari arah barat hingga timur. Sebagai referensi sudut nol dipakai arah mata angin Utara. Tanda (+) berarti arah putar searah jarum jam dari sudut nol, tanda (-) untuk arah sebaliknya. Sebagai contoh, dari sudut nol ke arah Timur tepat adalah 90 derajat, dan Barat adalah sudut -90 derajat.



Gambar 2.30 Contoh Azimuth[18]

*Azimuth* dalam instal antenna berdasarkan *sector* / jumlah antenna dipasang ditentukan dari derajat terkecil. Sebagai contoh apabila ada 3 antenna (*sector*) dengan *azimuth* 80,160,320 maka untuk *sector* 1 biasanya 80°, *sector* 2 160° dan *sector* 3 320° dan seterusnya.

### 2.5.8 Nemo Tools

Sebelum dan sesudah optimalisasi dilakukan adalah dengan mengambil atau mengumpulkan informasi secara real dilapangan parameter seputar radio frequency yang dipancarkan oleh E Node B dengan cara *drive test mobile* diukur dengan menggunakan perangkat lunak *Nemo Tools* yang telah diinstall pada laptop.

## 2.6 Definisi Operasional

Definisi operasional dibutuhkan sebagai dasar untuk mempermudah dalam pengambilan data, karena dengan adanya definisi operasional maka akan memperjelas ruang lingkup variable penelitian.

Tujuan penelitian ini dilakukan guna dapat mengetahui ada tau tidaknya pengaruh optimalisasi terhadap kualitas sinyal LTE 800 MHz FDD di Kota Tegal. Adapun definisi operasional penelitian ini adalah:

### 2.6.1 Proses Optimalisasi

Adalah semua proses yang dilakukan untuk memperbaiki kualitas sinyal sebelum maupun dalam proses *drive test*, sehingga di dapatkan hasil yang optimal. Proses optimalisasi meliputi :

a. Metode Tilt Elektrik/ *Electrical Tilting Methode*.

Metode ini diperkenalkan pada system telekomunikasi generasi kedua (GSM), dimana antenna dimiringkan dengan cara mengubah sinyal secara bertahap. Solusi ini menawarkan sebuah data yang tidak menyimpang (*distorsi*), ditambah *azimuth* berbeda dalam pengembangan antenna selular pada generasi ketiga, yang memiliki "*electrical tilt adjustable*" yang memungkinkan operator selular untuk terus mengatur kemiringan antenna untuk dapat memungkinkan optimalisasi cakupan.

b. Metode Mekanikal Tilt/ *Mechanical Tilting Methode*.

Merupakan generasi pertama dalam teknik mengatur kemiringan antenna. Mekanisme antenna dimiringkan secara kasar beberapa derajat ke arah *vertical* dalam memodifikasi satu layanan area. Namun teknik secara tradisional ini membawa sejumlah masalah, efektifnya hanya dalam mengarahkan ke depan, tapi dapat merusak *azimuth*.

### 2.6.2 Kualitas Sinyal

Adalah hasil yang didapatkan setelah proses optimalisasi dilakukan sehingga dapat diketahui apakah proses optimalisasi yang dilakukan dapat berpengaruh terhadap kualitas sinyal. Adapun kualitas sinyal yang di check adalah :

a. RSRP

RSRP merupakan rata-rata linear daya yang dibagikan pada *resource elements* yang membawa *reference signal* dalam rentang *bandwidth*

yang digunakan. Semakin jauh jarak antara *site* dan *user*, maka akan semakin kecil nilai RSRP yang diterima oleh *user*. RS merupakan *reference signal* di tiap titik jangkauan. Pengguna yang berada di luar jangkauan akan tidak mendapatkan layanan LTE. Fungsi RSRP yaitu untuk memberi informasi ke UE (*User Equipment*) mengenai kuat sinyal suatu *cell* berdasarkan perhitungan *path loss* dan memiliki peranan dalam proses *handover* dan *cell selection-reselection*.

b. SINR

SINR (*Signal to Interference Noise Ratio*) merupakan rasio perbandingan antara sinyal utama yang dipancarkan dengan *interferensi* dan *noise* yang timbul (tercampur dengan sinyal utama).

c. RSRQ

RSRQ (*Reference Signal Received Quality*) merupakan parameter yang menentukan kualitas dari sinyal yang diterima.

d. PDCP Throughput

*Throughput* adalah laju data aktual dari suatu informasi yang ditransfer. Selain itu, *Throughput* juga dapat diartikan dengan jumlah informasi yang berhasil dikirim per satuan waktu.

e. MOS

*Mean Opinion Score* (MOS) adalah satuan kualitas suara yang biasa digunakan. Metode MOS adalah hasil *survey* dari percakapan dimana nilai rata-rata kualitas suara antara 1 sampai 5, dimana 1 berarti buruk dan 5 adalah yang paling baik.

f. Overshooting

*Overshoot* adalah kondisi dimana antenna E Node B mengarah terlalu tinggi sehingga *coverage* E Node B tersebut melebar, hal ini perlu diperhatikan karena akan sangat mengganggu user pada daerah E Node B lain. Jika kita menemukan kondisi tersebut, maka kita harus segera mensetting “*tilt*” antena E Node B atau mengurangi povernya.

## 2.7 Link Budget

### 2.7.1 Link Budget Okumura Hata

Link budget merupakan perhitungan yang digunakan untuk memprediksi dan menentukan jalur komunikasi signal radio dapat mencapai penerima / end user dengan kualitas yang maksimal dan efisien. Perhitungan link budget ini disesuaikan dengan kebutuhan penyedia layanan telekomunikasi/ operator. Teori link budget Okumura Hata adalah model empiris yang digunakan untuk memprediksi penurunan signal (*pathloss*) didaerah urban pada jaringan nirkabel terutama pada frekuensi dibawah 1 GHz.

Model link budget Okumura Hata mempertimbangkan beberapa faktor, seperti:

1. Frekuensi (f)
2. Jarak antara pengirim dan penerima(d)
3. Tinggi antenna pengirim (h\_b)
4. Tinggi antenna penerima (h\_m)
5. Jenis lingkungan (urban, suburban atau rural)

Untuk frekuensi 850 MHz, model Okumura-Hata dapat digunakan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$L \text{ (dB)} = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log(h_b)) \log(d)$$

dimana:

$L \text{ (dB)}$  = pathloss (penurunan sinyal) dalam satuan desibel (dB)

f = frekuensi dalam satuan MHz (dalam kasus ini, 850 MHz)

h\_b = tinggi antenna pengirim dalam satuan meter

h\_m = tinggi antenna penerima dalam satuan meter

d = jarak antara pengirim dan penerima dalam satuan kilometer

Faktor koreksi untuk tinggi antena penerima,  $a(h_m)$ , dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$a(h_m) = (1,1 \log(f) - 0,7) h_m - (1,56 \log(f) - 0,8)$$

Contoh penggunaan model Okumura-Hata untuk frekuensi 850 MHz:

Misalkan kita memiliki:

$$f = 850 \text{ MHz}$$

$$h_b = 30 \text{ meter}$$

$$h_m = 2 \text{ meter}$$

$$d = 5 \text{ kilometer}$$

Maka, kita dapat menghitung pathloss menggunakan model Okumura-Hata:

$$L \text{ (dB)} = 69,55 + 26,16 \log(850) - 13,82 \log(30) - a(2) + (44,9 - 6,55 \log(30)) \log(5)$$

Setelah melakukan perhitungan, kita dapat mendapatkan nilai pathloss yang dapat digunakan untuk desain jaringan seluler.

### 2.7.2 Software Pathloss Okumura Hata

Ada beberapa software perencanaan jaringan seluler yang banyak digunakan untuk menghitung link budget dengan berbagai model propagasi termasuk model Okumura-Hata, diantaranya adalah:

1. Atoll
2. Planet (by Infovista)
3. Mentum Planet
4. Radioplan (Aircom)
5. NS-3 (Network Simulator 3)
6. TEMS CellPlanner
7. WinProp (by Altair)

Beberapa software diatas merupakan software komersial yang memiliki keterbatasan karena memerlukan lisensi untuk digunakan, sehingga perlu memeriksa spesifikasi dan persyaratan software sebelum menggunakannya.

Dalam penelitian ini untuk menghitung link budget menggunakan model Okumura-Hata menggunakan software Atoll, terlepas dari kelebihan dan kekurangan.

Kelebihan Software Atoll:

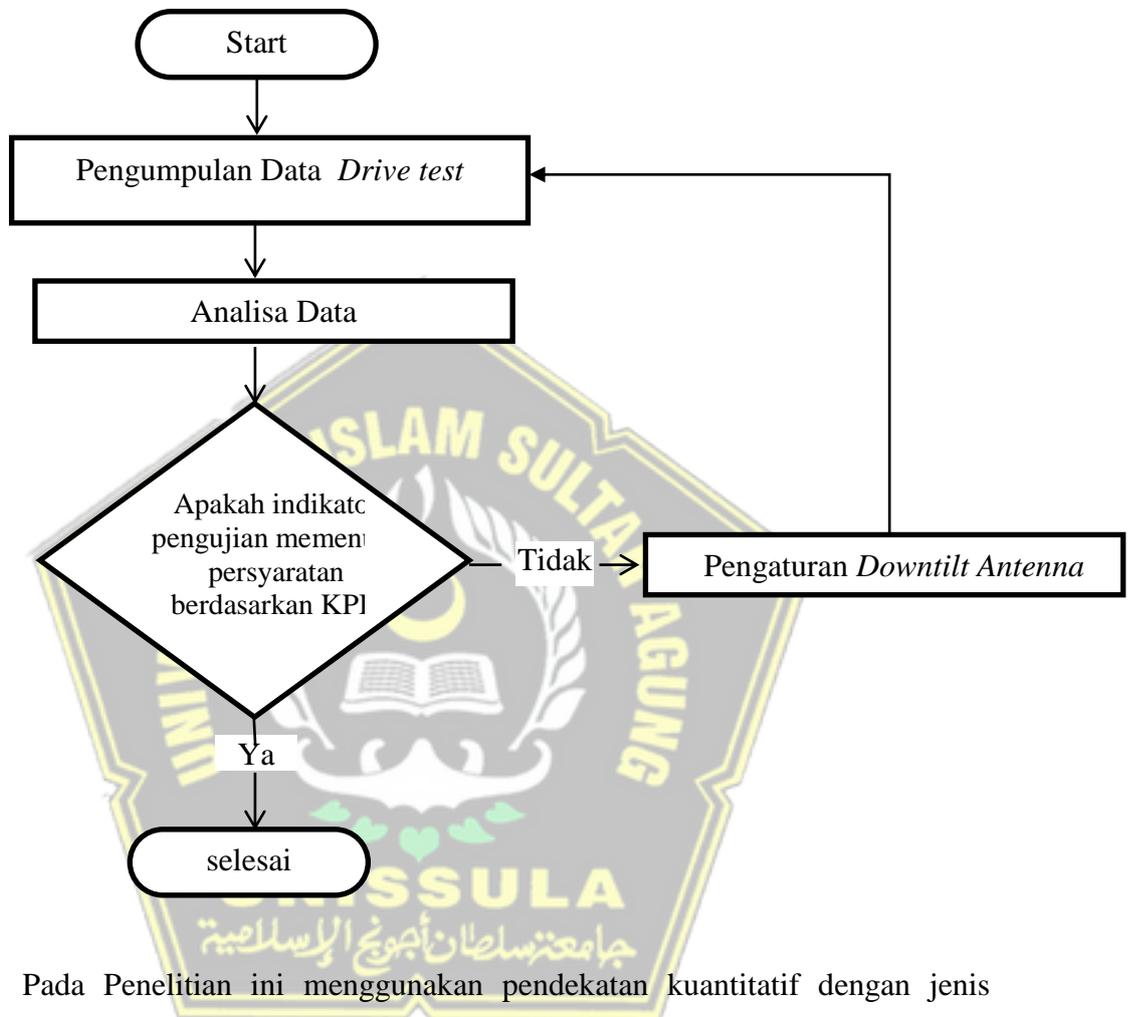
1. Software Atoll mendukung model Okumura-Hata, sehingga dapat digunakan untuk menghitung link budget pada frekuensi 850 MHz.
2. Software Atoll dapat digunakan untuk perencanaan jaringan seluler, termasuk desain jaringan, optimasi jaringan, dan analisis kinerja jaringan.
3. Software Atoll mendukung berbagai teknologi seluler, termasuk GSM, UMTS, LTE, dan 5G.
4. Software Atoll memiliki antarmuka pengguna yang mudah digunakan, sehingga memudahkan pengguna untuk mengoperasikan software.
5. Software Atoll memiliki dukungan teknis yang baik, sehingga pengguna dapat mendapatkan bantuan jika mengalami masalah.

Kekurangan Software Atoll:

1. Biaya lisensi yang tinggi, sehingga tidak efisien.
2. Fleksibilitas dalam hal pengaturan parameter terbatas, sehingga pengguna tidak dapat mengatur parameter sesuai kebutuhan.
3. Tidak mendukung teknologi baru, sehingga pengguna tidak dapat menggunakan software untuk menghitung link budget pada teknologi baru.
4. Memiliki integrasi yang terbatas dengan software lain, sehingga pengguna tidak dapat mengimport data dari software lain.
5. Tidak memiliki dokumentasi yang lengkap, sehingga pengguna tidak dapat memahami cara menggunakan software dengan baik.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Flowchart Penelitian



Pada Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan jenis penelitian korelasional untuk mengetahui *improved* atau *not improved* dari hasil optimalisasi terhadap kualitas sinyal LTE 800 MHz FDD di Kota Tegal.

### 3.2 Variabel dan Desain Penelitian

#### 1. Variabel Penelitian

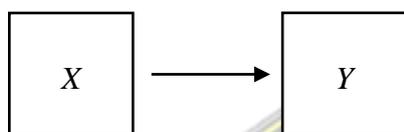
Variabel penelitian merupakan objek penelitian atau apa saja yang menjadi titik perhatian suatu penelitian. Pada penelitian ini peneliti mengkaji dua variable yaitu “Proses Optimalisasi” sebagai variable independent (bebas)

atau sebagai variable yang mempengaruhi, yang digambarkan dengan symbol “X” dan “Kualitas sinyal” sebagai variabel yang dipengaruhi atau variabel dependen (terikat), yang digambarkan dengan symbol “Y”.

## 2. Desain Penelitian

Desain penelitian ini merupakan hubungan antara variabel X dan variabel Y. Dengan demikian penelitian ini bersifat korelasional, yaitu penelitian yang menggambarkan hubungan kedua variabel tersebut.

Berdasarkan hal itu maka pendekatan penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif dengan model:

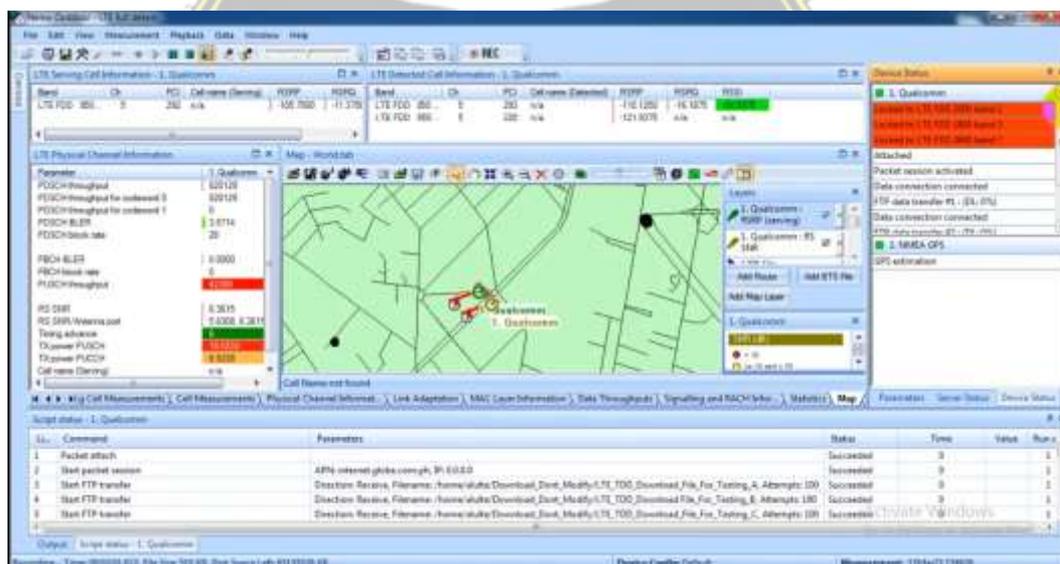


Keterangan : X: Proses Optimalisasi

Y: Kualitas Sinyal

## 3.3 Teknik Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data yang akurat, maka dalam penelitian ini digunakan teknik pengumpulan data melalui *Drive Test*.



Gambar 3.1 Nemo Outdoor[21]

Saat dilakukan *drive test* GPS akan menentukan titik koordinat (*Latitude*, *Longitude*) dan waktu saat kendaraan bergerak dalam suatu rute, seperti pada

gambar 3.1 ditampilkan menggunakan peta digital pada tools *Nemo outdoor*. Saat mengambil data, *Engineer / drive tester* mengawasi tampilan pada komputer, selain posisi titik koordinat dan waktu, juga band channel, koneksi dimonitor secara bersamaan untuk mengantisipasi *error* pada saat pengambilan data *drive test*.

### 3.3.1 Drive Test

Pengambilan data jaringan akses melalui *drive test* dilakukan 2 (dua) kali (*before-after optimization*) dengan *tools*, rute dan area yang sama. Waktu penelitian pengambilan data jaringan akses periode *before optimization* (sebelum optimalisasi) adalah setelah selesainya instalasi perangkat dan *E nodeB* dinyatakan *on air* yaitu tanggal 15 Maret 2023. Sedangkan pengambilan data jaringan akses melalui *drive test After optimization* (setelah optimalisasi) pada tanggal 17 Maret 2023 dilakukan untuk mengetahui dampak peningkatan kualitas perubahan *mechanical tilting* maupun *electrical tilting* pada antenna. Dalam melakukan *drive test* kendaraan yang digunakan harus dengan kecepatan rendah.

Tujuan umum dilakukannya *drive test* yaitu sebagai berikut:

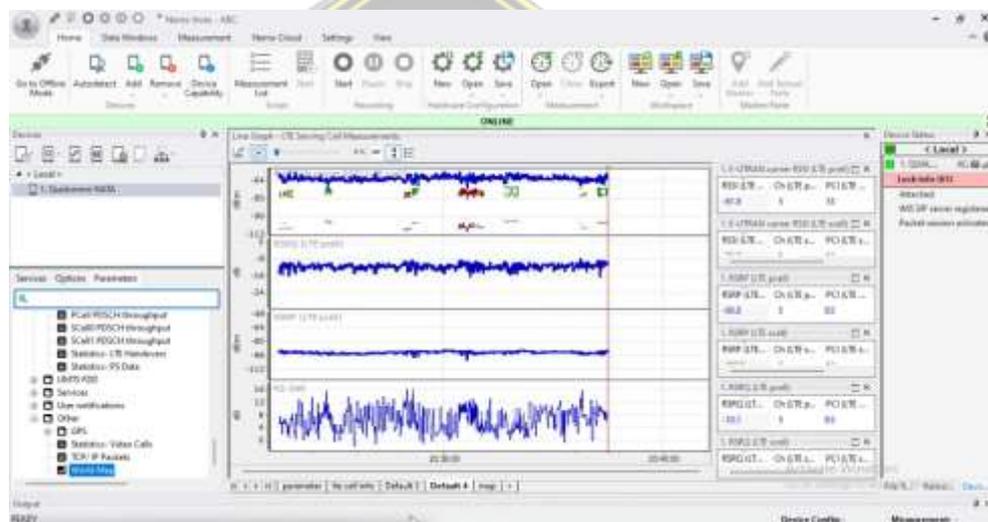
- a. Untuk mengetahui *coverage* yang terjadi dilapangan disesuaikan dengan prediksi *coverage* ketika *planning*.
- b. Untuk mengetahui performansi jaringan setelah dilakukannya perubahan.
- c. Untuk mengetahui adanya interferensi.
- d. Untuk mencari adanya daerah yang memiliki daya terima sinyal yang rendah (*poor coverage*).
- e. Untuk mencari RF *issue* yang berkaitan dengan *drop call* dan *block call*.
- f. *Benchmarking* atau membandingkan hasil periode sebelum dan sesudah optimalisasi

### 3.3.2 Proses optimalisasi dengan menggunakan parameter yang ada di OSS maupun dengan melakukan *physical tuning*.

### 3.4 Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan mengambil *log file* hasil *drive test* saat setelah *E NodeB on air* sebelum optimalisasi atau hasil *coverage planning* dan menganalisa dengan menggunakan *nemo analysis* untuk mengidentifikasi, membandingkan dan mengetahui *weak coverage* data hasil *drive test* sebelum dilakukan optimalisasi dengan memeriksa kondisi *mechanical* dan *electrical antenna* dan mensetting keduanya sesuai target *coverage*.

Begitu pula pada parameter *existing* OSS, dianalisa untuk mengetahui kualitas RSRP, SINR, *overshooting* dan *throughput* dan melakukan *drive test* kembali setelah dilakukan optimalisasi.



Gambar 3.2 Nemo Analysis[18]

### 3.5 Pengaturan Down Tilt

Pengaturan pancaran signal dari antenna idealnya dengan setting parameter *down tilt* yaitu kombinasi *Mechanical Tilt* dan *Electrical Tilt*. Jika dibutuhkan perubahan signifikan *coverage* yaitu dengan mengurangi dan menambahkan nilai pada *Mechanical Tilt* antenna. Pada pekerjaan optimalisasi dikarenakan dilakukan dengan *onsite* menaiki tower dan merubah posisi kemiringan *antenna* diketinggian tertentu, optimalisasi *Mechanical Tilt* ini bersyarat hanya boleh dilakukan oleh *engineer* berpengalaman, memiliki ketrampilan tertentu dan bersertifikat. Sedangkan optimalisasi dengan *Electrical Tilt* untuk penyesuaian fleksibel

tanpa merubah dan mengganti kondisi fisik *antenna*, tetapi hanya dengan mengurangi atau menambah nilai parameter pada OSS, metode pengaturan ini lebih cepat dan lebih efisien yang dikenal dengan *Remot Electrical Tilting (RET)*. Setelah pengaturan *down tilt* selesai untuk mengetahui hasil perubahan maka dilanjutkan dengan pengumpulan data kembali melalui *drive test*.



## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS DATA

#### 4.1 Pengumpulan Data *Drive test*

*Drive test* merupakan suatu pekerjaan yang mensimulasikan masalah yang dialami pelanggan secara real di lapangan juga melakukan pengukuran dan sebagai pengumpulan data yang direcord pada laptop dengan tools Nemo Outdoor. Target penelitiannya area kota Tegal sebagai bahan acuan untuk optimalisasi, Metode yang dilakukan dengan *mobile long call*, sedang tools yang digunakan adalah:

- a. Hardware: Laptop, Handphone, kabel data, Antenna GPS
- b. Software: Nemo Outdoor
- c. Kendaraan mobil

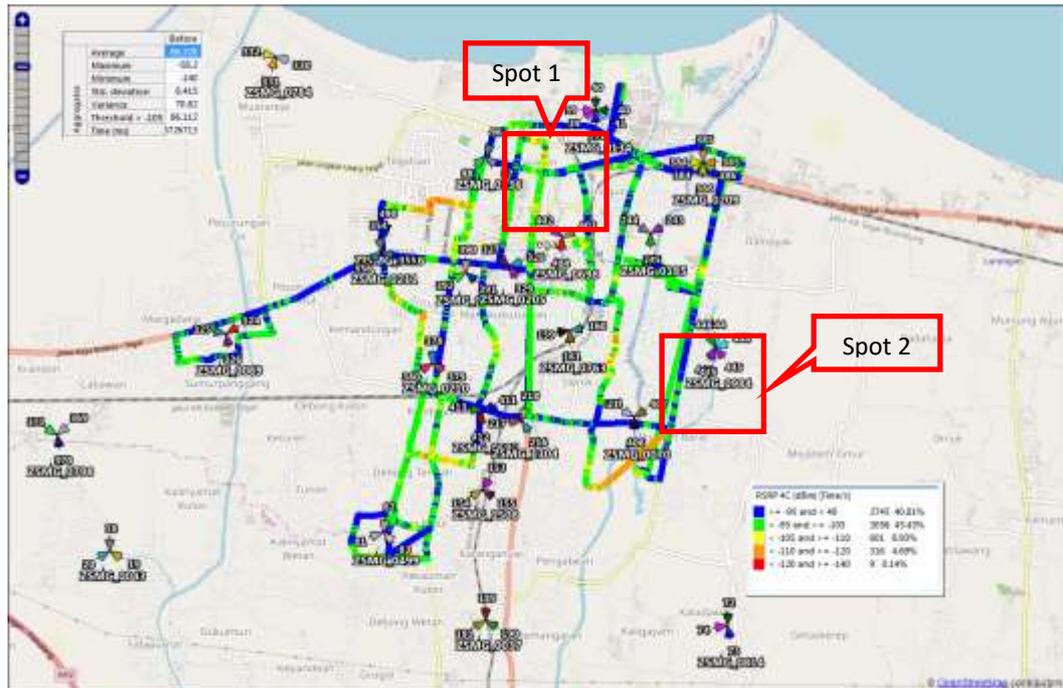
Pengumpulan data melalui *drive test outdoor mobile* tersebut akan diperoleh parameter RSRP, SINR, RSRQ, PDCP, besaran *Throughput*, MOS dan *Overshooting*. Karena parameter dasar dari E Node B yang baru selesai diinstall serta baru on air tersebut. Informasi parameter dari metode *drive test* sebelum optimalisasi akan dapat dibandingkan dengan hasil *drive test* sesudah optimalisasi. Nilai keberhasilan dari hasil optimalisasi akan nampak jika adanya *improvement* parameter yang didapat dari hasil *drive test* setelah optimalisasi.

##### 4.1.1 Hasil *Drive Test* Sebelum Optimalisasi

Dari hasil pengumpulan data yang telah dilakukan dan terkumpul dalam satu logfile diproses, diolah dan dianalisa menggunakan tools NEMO Analyzer agar dapat menampilkan parameter yang dibutuhkan, parameter tersebut dapat menjelaskan beberapa area atau spot yang masih menunjukkan kondisi poor dari nilai masing-masing parameter dan hal itu masih diperlukan optimalisasi, yaitu:

##### 4.1.2 RSRP

Pada penelitian ini RSRP yang didapat yaitu sebelum proses optimalisasi, didapat beberapa sector pada E Node B yang masih belum optimal. Hasil dari *drive test* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.1 RSRP Sebelum Optimalisasi[12]

Tabel 4. 1 Nilai RSRP Sebelum Optimalisasi

RSRP			
Color	Value dBm	Value Category	Value % Before
Green	>= -95 and < 40	Excellent	40.81%
Light Green	< -95 and > = -105	Good	45.43%
Yellow	< -105 and > = -110	Average	8.93%
Orange	< -110 and > = -120	Poor	4.69%
Red	< -120 and > = -140	Worst	0.14%

Tabel 4.2 Nilai aggregates RSRQ Sebelum Optimalisasi

RSRP Aggregates	Before
Average	-96.328
Maksimum	-58.2
Minimum	-140
Std. Deviation	8.415
Variance	70.82
Threshold > -105	86.112
Time (ms)	5726713

Pada gambar 4.1 tersebut terlihat sebelum proses optimalisasi coverage dari site-site terlihat spot yang perlu dioptim. Selain itu dapat dilihat dari table nilai dari *average aggregates* nya yaitu -96.328 dBm , Sedang Nilai RSRQ yang *excellent* adalah sebesar 40.81%.

**4.1.3 SINR**

Pada penelitian ini SINR yang didapat sebelum proses optimalisasi. Hasil dari *drive test* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.2 SINR Sebelum Optimalisasi[18]

Pada gambar 4.2. tersebut terlihat hasil drive test sebelum optimalisasi, beberapa spot area yang masih membutuhkan perbaikan kualitas coverage. Selain itu dapat dilihat dibawah ini table nilai dari aggregates SINR before average-nya 5.587 dB, Sedang Nilai SINR yang excellent adalah sebesar 17.48%.

Tabel 4. 3 Tabel Nilai SINR Sebelum Optimalisasi

SINR			
Color	Value dBm	Value Category	Value % Before
	>=12 and < 30	Exellent	17.48%

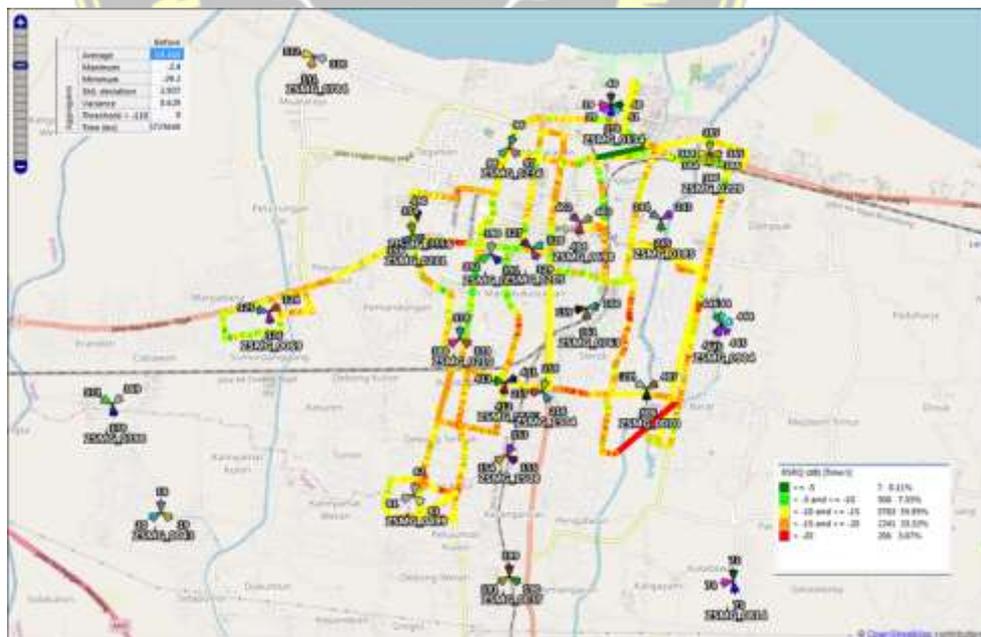
SINR			
Color	Value dBm	Value Category	Value % Before
	< 12 and > = 6	Good	31.09%
	> = 3 and < 6	Average	15.46%
	< 3 and > = -3	Poor	26.02%
	< -3 and > = -20	Worst	9.95%

Tabel 4.4 Nilai *aggregates* SINR Sebelum Optimalisasi

SINR Aggregates	Before
Average	5.587
Maksimum	23.9
Minimum	-14.4
Std. Deviation	6.484
Variance	42.036
Threshold > 3	63.599
Time (ms)	672774

#### 4.1.4 RSRQ

Pada penelitian ini RSRQ yang didapat sebelum proses optimalisasi. Hasil dari *drive test* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.3 RSRQ Sebelum Optimalisasi[11]

Pada gambar 4.3. tersebut terlihat sebelum proses optimalisasi. Masih dibutuhkan optimalisasi guna memperbaiki kualitas dari site-site yang coveragenya belum maksimal. Selain itu dapat dilihat pada table dibawah ini nilai dari *average aggregates* RSRQ nya yaitu -14.163 dB. Sedang Nilai RSRQ yang *excellent* adalah sebesar 0.11%.

Tabel 4.5 Nilai RSRQ Sebelum Optimalisasi

RSRQ			
Color	Value dBm	Value Category	Value % Before
	$\geq -5$	Excellent	0.11%
	$< -5$ and $\geq -10$	Good	7.55%
	$< -10$ and $\geq -15$	Average	55.95%
	$< -15$ and $\geq -20$	Poor	33.32%
	$< -20$	Worst	3.07%

Tabel 4.6 Nilai *aggregates* RSRQ Sebelum Optimalisasi

RSRQ Aggregates	Before
Average	-14.163
Maksimum	-2.4
Minimum	-29.2
Std. Deviation	2.937
Variance	8.629
Threshold $< -110$	0
Time (ms)	5725648

#### 4.1.5 PDCP Throughput

Pada penelitian ini PDCP *Throughput* yang didapat ada dua yaitu sebelum dan setelah proses optimalisasi. Hasil dari *drive test* tersebut dapat dilihat pada gambar sebagai berikut:



Gambar 4.4 PDCP *Throughput* Sebelum Optimalisasi[18]

Pada gambar 4.4. tersebut terlihat proses optimalisasi dibutuhkan guna dapat menaikkan PDCP *Throughput* dari site-site yang dioptim. Selain itu dapat dilihat dibawah ini table nilai dari *average aggregates* nya PDCP *Throughput*: 18.861 Mbps, Sedang Nilai SINR yang excellent adalah sebesar 19.21%.

Tabel 4.7 Nilai PDCP *Troughput* Sebelum Optimalisasi

PDCP Troughput			
Color	Value dBm	Value Category	Value % Before
Blue	$\geq 30000000$	Excellent	19.21%
Light Blue	$> 22000000 \leq 30000000$	Very Good	15.30%
Green	$> 10000000 \leq 22000000$	Good	33.20%
Yellow-Green	$> 5000000 \leq 10000000$	Fair	16.66%
Yellow	$> 2000000 \leq 5000000$	Average	10.36%
Orange	$> 1000000 \leq 2000000$	Poor	3.19%
Red	$< 1000000$	Worst	2.08%

Tabel 4.8 Nilai *aggregates* PDCP *Troughput* Sebelum Optimalisasi

PDCP Troughput Aggregates	Before
Average	18861248766
Maksimum	91546368
Minimum	0

Std. Deviation	14328387789
Variance	205302696621228,56
Threshold > 5000000	84
Time (ms)	6724116.015

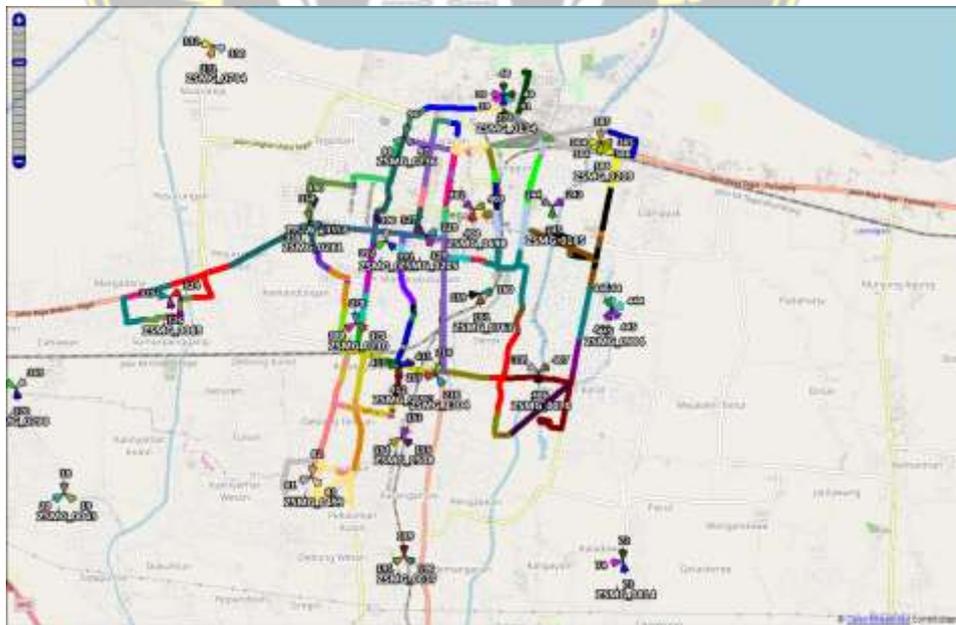
#### 4.1.6 MOS

*Mean Opinion Score* (MOS) dalam telekomunikasi merupakan ukuran numerik dari kualitas keseluruhan suara suatu peristiwa atau pengalaman pengguna/ *user*.

Nilai dari MOS ini skala 1 sampai 5, dimana nilai 1 buruk dan nilai 5 adalah nilai paling baik.

#### 4.1.7 Overshooting

Pada penelitian ini *overshooting* dilihat dari persebaran PCI yang didapat pada sebelum dan setelah proses optimalisasi. Hasil dari *drivetest* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 4.5 *Overshooting* Sebelum Optimalisasi[18]

Pada gambar 4.5. tersebut terlihat sebelum proses optimalisasi dilakukan guna mengurangi adanya overshooting yang ada. Dimana overshooting ini

dapat menurunkan kualitas sinyal apabila dibiarkan. Overshooting akan berbanding lurus dengan SINR, apabila overshooting nya tidak ada maka SINR akan mengalami kenaikan dan kualitas sinyal akan menjadi lebih baik.

#### 4.2 Proses Optimalisasi dengan Pengaturan *Downtilt Antenna*

Proses optimalisasi telah dilakukan dengan cara pengaturan *downtilt electrical antenna* dengan setelah melihat analisa dari hasil pengumpulan data melalui *drivet test* pengujian penelitian dan pengambilan data menggunakan metode *drive test* di kota Tegal. Adapun site dan target sector yang akan dirubah seperti terlampir pada table berikut:

Tabel 4.9 Site dan sector yang akan dirubah *electical tilt* nya

Site	Sector Optim	Site Sector ETilt Pre	Site Sector ETilt Post
ZSMG_0134	2	2	5
ZSMG_0209	2	0	2
ZSMG_0209	3	0	4
ZSMG_0499	1	2	3
ZSMG_0205	1	2	5
ZSMG_0236	2	0	3
ZSMG_0211	2	0	4
ZSMG_0070	1	2	3
ZSMG_0070	3	2	4
ZSMG_0069	1	2	3

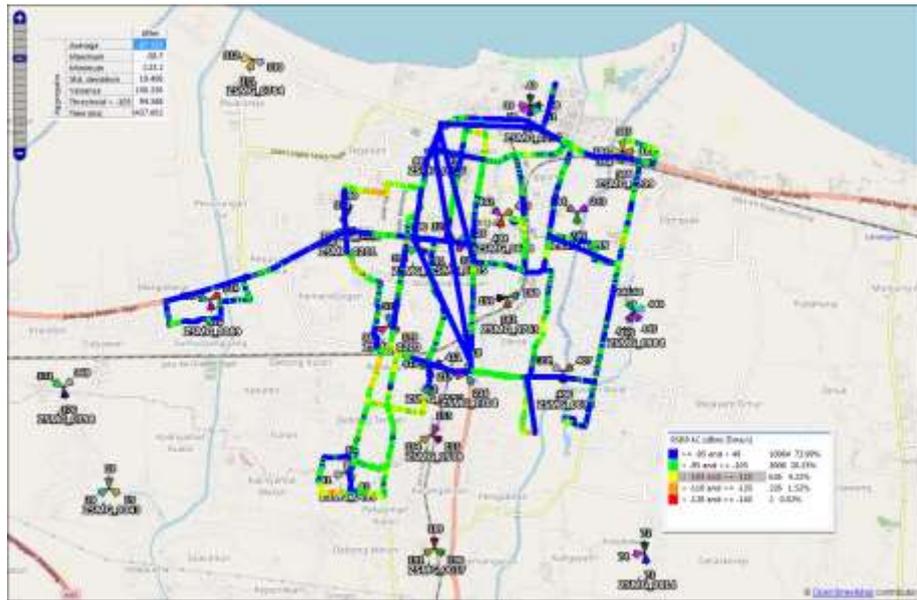
#### 4.3 Hasil *Drive test* Setelah Optimalisasi

Pada bab ini telah dilakukan pengujian penelitian dan pengambilan data kembali, seperti pada saat pengambilan data sebelum optimalisasi yaitu menggunakan metode *drive test* kedua setelah dilakukan optimalisasi. Ini dilakukan guna mengetahui seberapa banyak perbaikan setelah perubahan optimalisasi yang dilakukan melalui *electrical tilting*. Parameter nilai yang akan diambil pun sama yaitu nilai RSRP, SINR, RSRQ, PDCP *Throughput*, MOS dan

Overshooting. Paparan hasil *drive test* kedua setelah optimalisasi tersebut akan sangat menentukan kesuksesan atau gagalnya proses optimalisasi.

#### 4.3.1 RSRP

Pada penelitian ini RSRP yang didapat setelah proses optimalisasi dengan cara *down tilt* beberapa sector pada E Node B yang menyebabkan *overshoot*. Hasil dari *drive test* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.6 RSRP Setelah Optimalisasi[18]

Pada gambar 4.6. tersebut terlihat proses optimalisasi dapat memperbaiki *coverage* dari site-site yang dioptim. Selain itu dapat dilihat dari table nilai *aggregates average*-nya mengalami peningkatan yaitu dari -96.328 dBm ke -87.555 dBm.

Tabel 4.10 Nilai RSRP Setelah Optimalisasi

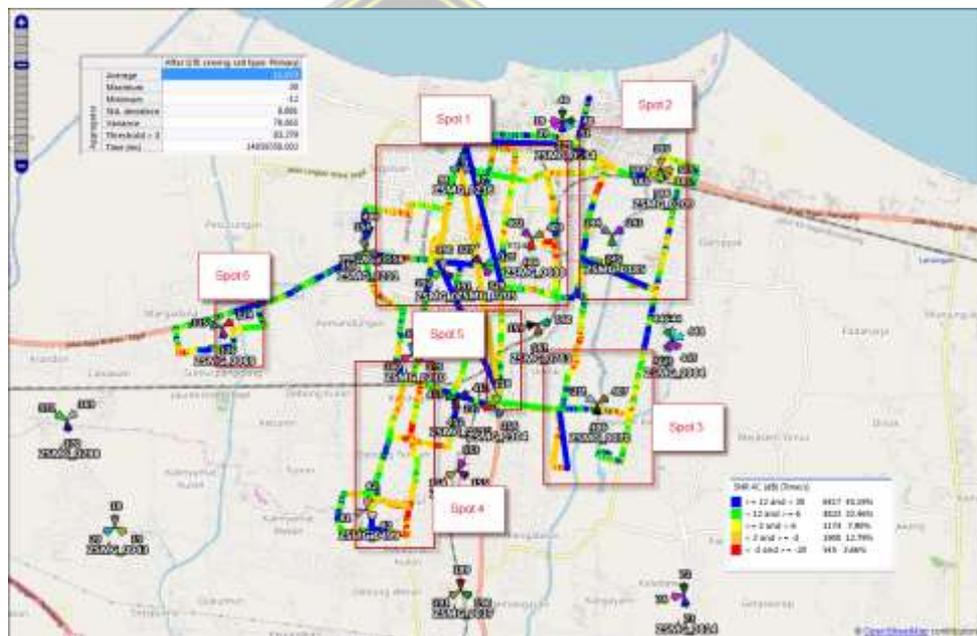
RSRP			
Color	Value dBm	Value Category	Value % After
Green	$\geq -95$ and $< 40$	Exellent	73.99%
Yellow	$< -95$ and $\geq -105$	Good	20.25%
Orange	$< -105$ and $\geq -110$	Average	4.22%
Red	$< -110$ and $\geq -120$	Poor	41.52%
Dark Red	$< -120$ and $\geq -140$	Worst	0.02%

Tabel 4.11 Nilai *aggregates* RSRP Setelah Optimalisasi

RSRP Aggregates	After
Average	-87.555
Maksimum	-58.7
Minimum	-123.2
Std. Deviation	10.408
Variance	108.336
Threshold > -105	94.168
Time (ms)	1437.002

#### 4.3.2 SINR

Pada penelitian ini SINR yang didapa setelah proses optimalisasi. Hasil dari *drive test* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.7 SINR Setelah Optimalisasi[18]

Pada gambar 4.7. tersebut terlihat proses optimalisasi dapat memperbaiki quality dari site-site yang dioptim. Selain itu dapat dilihat dari table nilai *aggregates average*-nya mengalami peningkatan yaitu dari 5.587 dB ke 11.873 dB.

Tabel 4.12 Nilai SINR Setelah Optimalisasi

SINR			
Color	Value dBm	Value Category	Value % After
	$\geq 12$ and $< 30$	Excellent	43.19%
	$< 12$ and $\geq 6$	Good	32.46%
	$\geq 3$ and $< 6$	Average	7.90%
	$< 3$ and $\geq -3$	Poor	12.79%
	$< -3$ and $\geq -20$	Worst	3.66%

Tabel 4.13 Nilai *aggregates* SINR Setelah Optimalisasi

SINR Aggregates	After
Average	11.873
Maksimum	30
Minimum	-12
Std. Deviation	8.881
Variance	78.865
Threshold $> 3$	83.279
Time (ms)	14859358002

### 4.3.3 RSRQ

Pada penelitian ini RSRQ yang didapat proses optimalisasi. Hasil dari *drive test* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.8 SRSQ Setelah Optimalisasi[18]

Pada gambar 4.8. tersebut terlihat proses optimalisasi dapat memperbaiki quality dari site-site yang dioptim. Selain itu dapat dilihat dari table nilai *aggregates average*-nya mengalami peningkatan yaitu dari -14.163 dB ke -13.288 dB.

Tabel 4.14 Nilai RSRQ Setelah Optimalisasi

RSRQ			
Color	Value dBm	Value Category	Value % After
	$\geq -5$	Excellent	0.28%
	$< -5$ and $\geq -10$	Good	14.15%
	$< -10$ and $\geq -15$	Average	61.23%
	$< -15$ and $\geq -20$	Poor	23.32%
	$< -20$	Worst	1.02%

Tabel 4.15 Nilai *aggregates* RSRQ Setelah Optimalisasi

RSRQ Aggregates	After
Average	-13.288
Maksimum	0
Minimum	-29.1
Std. Deviation	2.806
Variance	7.876
Threshold $< -110$	0
Time (ms)	913.002

#### 4.3.4 PDCP Throughput

Pada penelitian ini PDCP *Throughput* yang didapat ada dua yaitu sebelum dan setelah proses optimalisasi. Hasil dari *drive test* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :

Gambar 4.9 PDCP *Throughput* Setelah Optimalisasi. [19]Tabel 4.16 Nilai PDCP *Troughput* Setelah Optimalisasi

RSRP			
Color	Value dBm	Value Category	Value % After
Green	$\geq -95$ and $< 40$	Excellent	73.99%
Light Green	$< -95$ and $\geq -105$	Good	20.25%
Yellow	$< -105$ and $\geq -110$	Average	4.22%
Orange	$< -110$ and $\geq -120$	Poor	41.52%
Red	$< -120$ and $\geq -140$	Worst	0.02%

Tabel 4.17 Nilai *aggregates PDCP Troughput* Setelah Optimalisasi

RSRP Aggregates	After
Average	-87.555
Maksimum	-58.7
Minimum	-123.2
Std. Deviation	10.408
Variance	108.336
Threshold $> -105$	94.168
Time (ms)	1437.002

Pada gambar 4.9. tersebut terlihat proses optimalisasi dapat menaikkan PDCP *Throughput* dari site-site yang dioptim. Selain itu dapat dilihat dari table

nilai *aggregates average*-nya mengalami peningkatan yaitu dari 18.861 Mbps ke 33.804 Mbps.

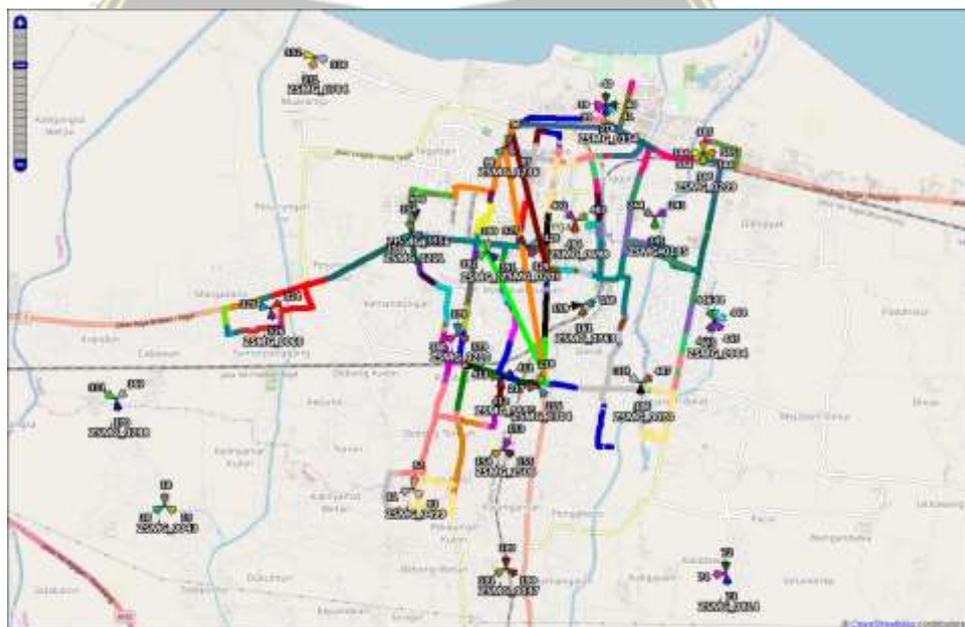
Namun ada faktor lain yg mempengaruhi hasil PDCP *Throughput* ini yaitu waktu DT yang dilakukan pada *busy hour* maupun *non busy hour*, PRB dari masing-masing site maupun jumlah pengguna. Maka dari itu untuk PDCP *Throughput* bisa berbeda setiap waktu.

#### 4.3.5 MOS

*Mean Opinion Score* (MOS) adalah satuan kualitas suara yang biasa digunakan. Metode MOS adalah hasil survey dari percakapan dimana nilai rata-rata kualitas suara antara 1 sampai 5, dimana 1 berarti buruk dan 5 adalah yang paling baik.

#### 4.3.6 Overshooting

Pada penelitian ini *overshooting* dilihat dari persebaran PCI yang didapat setelah proses optimalisasi. Hasil dari *drive test* tersebut dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4.10 *Overshooting* Setelah Optimalisasi[19]

Pada gambar 4.10. tersebut terlihat proses optimalisasi yang dilakukan mengurangi adanya *overshooting* dari sebelumnya.

#### 4.4 Analisa

Hasil setelah dan sebelum optimalisasi untuk masing- masing parameter telah didapat dengan melakukan *drivetest* menggunakan Nemo Analyzer. Parameter yang diambil yaitu nilai RSRP, SINR, RSRQ, PDCP *Throughput*, MOS dan Overshooting.

##### 4.4.1 RSRP

Tabel 4.18. Menunjukkan nilai RSRP sebelum dan sesudah dilakukan optimalisasi. Pada Tabel 4.19. Terlihat adanya perbaikan nilai presentase yaitu untuk kategori *excellent* meningkat dari 40.81% ke 73.99%, untuk kategori *Good* meningkat dari 45.43% ke 20.25% untuk kategori *Average* meningkat dari 8.93% ke 4.22%. Sedangkan untuk kategori *Poor* mengalami penurunan dari 4.69% ke 41.52% dan katategori *Worst* menurun dari 0.14% ke 0.02%.

Selain itu dapat dilihat dari table nilai dari *aggregates average*-nya dari -96.328 dBm menjadi -87.555 dBm, mengalami peningkatan sebesar 8.773 dBm. Data di tabel 4. dan table 4. Menunjukkan bahwa proses optimalisasi sangat mempengaruhi nilai RSRP setiap kategori.

Tabel 4.18 Perbandingan Nilai RSRP sebelum dan setelah optimalisasi

RSRP				
Color	Value dBm	Value Category	Value % Before	Value % After
	$\geq -95$ and $< 40$	Excellent	40.81%	73.99%
	$< -95$ and $\geq -105$	Good	45.43%	20.25%
	$< -105$ and $\geq -110$	Average	8.93%	4.22%
	$< -110$ and $\geq -120$	Poor	4.69%	41.52%
	$< -120$ and $\geq -140$	Worst	0.14%	0.02%

Tabel 4.19 Nilai perbandingan *aggregates* RSRP sebelum dan setelah optimalisasi

RSRP Aggregates	Before	After
Average	-96.328	-87.555
Maksimum	-58.2	-58.7
Minimum	-140	-123.2
Std. Deviation	8.415	10.408
Variance	70.82	108.336
Threshold > -105	86.112	94.168
Time (ms)	5726713	1437.002

#### 4.4.2 SINR

Tabel 4.20. Menunjukkan nilai SINR sebelum dan sesudah dilakukan optimalisasi. Pada Tabel 4.21. Terlihat adanya perbaikan nilai presentase yaitu untuk kategori excellent meningkat dari 40.81% ke 73.99%, untuk kategori Good meningkat dari 45.43% ke 20.25%, untuk kategori Average meningkat dari 8.93% ke 4.22%. Sedangkan untuk kategori Poor mengalami penurunan dari 4.69% ke 41.52% dan katategori Worst menurun dari 0.14% ke 0.02%.

Data di tabel 4. Selain itu dapat dilihat dari table nilai dari *aggregates average*-nya dari 5.587 dBm menjadi 11.873 dBm. mengalami penikatan sebesar 6.286 dB. Data di tabel 4. dan 4. menunjukkan bahwa proses optimalisasi sangat mempengaruhi nilai SINR setiap kategori.

Tabel 4.20 Perbandingan Nilai SINR sebelum dan setelah optimalisasi

SINR				
Color	Value dBm	Value Category	Value % Before	Value % After
	$\geq 12$ and $< 30$	Exellent	17.48%	43.19%
	$< 12$ and $\geq 6$	Good	31.09%	32.46%
	$> = 3$ and $< 6$	Average	15.46%	7.90%
	$< 3$ and $\geq -3$	Poor	26.02%	12.79%
	$< -3$ and $\geq -20$	Worst	9.95%	3.66%

Tabel 4.21 Perbandingan Nilai SINR sebelum dan setelah optimalisasi

SINR Aggregates	Before	After
Average	5.587	11.873
Maksimum	23.9	30

Minimum	-14.4	-12
Std. Deviation	6.484	8.881
Variance	42.036	78.865
Threshold > 3	63.599	83.279
Time (ms)	672774	14859358002

#### 4.4.3 RSRQ

Tabel 4.22. Menunjukkan nilai RSRQ sebelum dan sesudah dilakukan optimalisasi. Pada Tabel 4.23. Terlihat adanya perbaikan nilai presentase yaitu untuk kategori *excellent* meningkat dari 0,11% ke 0,28%, untuk kategori Good meningkat dari 7,55% ke 14,15%, untuk kategori Average meningkat dari 55,95% ke 61,23%. Sedangkan untuk kategori Poor mengalami penurunan dari 33,32% ke 23,32% dan katategori Worst menurun dari 3,07% ke 1,02%. Selain itu dapat dilihat dari table nilai dari *aggregates average*-nya dari -14.163 dBm menjadi -13.288 dBm, mengalami penikatan sebesar 0.875 dB.

Data di tabel 4. dan 4. data di tabel 4. Menunjukkan bahwa proses optimalisasi sangat mempengaruhi nilai RSRQ setiap kategori.

Tabel 4.22 Perbandingan Nilai RSRQ sebelum dan setelah optimalisasi

RSRQ				
Color	Value dBm	Value Category	Value % Before	Value % After
Green	$\geq -5$	Excellent	0.11%	0.28%
Light Green	$< -5$ and $\geq -10$	Good	7.55%	14.15%
Yellow	$< -10$ and $\geq -15$	Average	55.95%	61.23%
Orange	$< -15$ and $\geq -20$	Poor	33.32%	23.32%
Red	$< -20$	Worst	3.07%	1.02%

Tabel 4.23 Perbandingan Nilai SRSQ sebelum dan setelah optimalisasi

RSRQ Aggregates	Before	After
Average	-14.163	-13.288
Maksimum	-2.4	0
Minimum	-29.2	-29.1
Std. Deviation	2.937	2.806
Variance	8.629	7.876
Threshold < -110	0	0
Time (ms)	5725648	913.002

#### 4.4.4 PDCP Throughput

Tabel 4.24. Menunjukkan nilai PDCP *Throughput* sebelum dan sesudah dilakukan optimalisasi. Pada Tabel 4.25. Terlihat adanya perbaikan nilai presentase yaitu untuk kategori *excellent* meningkat dari 19.21% ke 52.53%, untuk kategori Good meningkat dari 33.20% ke 19.61%, untuk kategori Average meningkat dari 10.36% ke 1.49%,. untuk kategori poor menurun dari 3.19% ke 0.47%, untuk kategori worst menurun dari 2.08% ke 2.10%. Selain itu dapat dilihat dari table nilai dari *aggregates average*-nya dari 18,861,248,766 Mbps menjadi 33,804,176,524 Mbps, mengalami peningkatan sebesar 14.963 Mbps.

Tabel 4.24 Perbandingan Nilai PDCP Troughput sebelum dan setelah optimalisasi

PDCP Troughput				
Color	Value Mbps	Value Category	Value % Before	Value % After
	$\geq 30000000$	Excellent	19.21%	52.53%
	$> 22000000 \leq 30000000$	Very Good	15.30%	18.02%
	$> 10000000 \leq 22000000$	Good	33.20%	19.61%
	$> 5000000 \leq 10000000$	Fair	16.66%	5.76%
	$> 2000000 \leq 5000000$	Average	10.36%	1.49%
	$> 1000000 \leq 2000000$	Poor	3.19%	0.47%
	$< 1000000$	Worst	2.08%	2.10%

Tabel 4.25 Perbandingan Nilai PDCP Troughput sebelum dan setelah optimalisasi

PDCP Troughput Aggregates	Before	After
Average	18861248766	33,804,176,524
Maksimum	91546368	259264481
Minimum	0	0
Std. Deviation	14328387789	19980033.57
Variance	205302696621228,56	339201741571006,75
Threshold $> 5000000$	84	95.887
Time (ms)	6724116.015	14,851,946,031

#### 4.4.5 MOS

Nilai MOS sebelum dan sesudah dilakukan optimalisasi, Mean Opiniun Score (MOS) satuan kualitas suara yang biasa digunakan mealui hasil survey dari percakapan.

#### 4.4.6 Overshooting

Nilai berkurangnya overshooting sebelum dan sesudah dilakukan optimalisasi. Adanya perbaikan nilai presentase dapat dilihat melalui gambar 4.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian kualitatif dengan jenis penelitian korelasional yang dilaksanakan di kota Tegal tentang ada atau tidaknya pengaruh proses optimalisasi terhadap kualitas sinyal LTE 800 MHz FDD dapat diambil beberapa kesimpulan. Kesimpulan tersebut dapat dipaparkan sebagai berikut:

1. Untuk mengatasi *blankspot* dan *bad spot area* dan mengoptimalkan pancaran antenna sector, telah dilakukan beberapa langkah yaitu analisa cakupan dengan melakukan *drive test* dan mengidentifikasi area, dengan berdasarkan data yang didapatkan bahwa proses optimalisasi dengan metode pengaturan *down tilt* baik pengaturan secara *Mechanical Tilt* maupun *Electrical Tilt* dapat memperbaiki terhadap kualitas sinyal LTE 800 MHz FDD di kota Tegal.
2. Hasil evaluasi perbedaan sebelum dan sesudah optimalisasi menunjukkan keberhasilan kualitas sinyal yang *significant* dari sebelumnya (*improved*) bagi *end user*. Indikator keberhasilan yang meningkat dapat terlihat pengaruhnya dari nilai parameter RSRP=8,773 dBm, SNR=6,286 dB, RSRQ=0,875 dB, PDCP *Throughput*=14,963, MOS dan berkurangnya *overshooting* dan hilangnya *badspot*. Dari data tersebut dapat terlihat bahwa proses optimalisasi dengan pengaturan *downtilt antenna* dapat memperbaiki kualitas sinyal LTE 800 MHz FDD di kota Tegal.
3. Kualitas pancaran sebuah E Node B akan selalu berubah disebabkan beberapa faktor, antara lain perubahan lingkungan (pertumbuhan bangunan dan vegetasi), interferensi antar cell dan lonjakan pengguna (*congestion*) diarea tertentu, untuk mempertahankan kualitas pancaran sinyal tersebut dibutuhkan pengecekan secara berkala, selain melalui *drive test*, *monitoring* parameter (RSRP, SINR, RSRP & *Throughput*), agar tetap memenuhi standarisasi KPI. Selain itu strategi mitigasi dengan penggabungan beberapa *carrier (carrier aggregation)* dan perbaikan

berkelanjutan dengan penyesuaian parameter secara dinamis berdasarkan pola trafik pengguna (*user behavior*) sebagai solusi *congestion cell*.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengkajian hasil penelitian di lapangan, maka penulis bermaksud memberikan saran sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan proses optimalisasi menggunakan metode merubah arah *sector antenna* (*reazimuth*) dan jika memungkinkan dengan meninggikan antenna (*rehigh*) untuk mengetahui perbandingan hasil dari kedua metode.
2. Untuk mempertahankan dan memperbaiki serta menjaga kualitas signal *coverage* E Node B selain dilakukan optimalisasi pasca instalasi selesai, juga dibutuhkan pengecekan dan peninjauan secara berkala melalui *drive test*.
3. Optimalisasi berkala sesuai kebutuhan, guna menghadapi faktor perubahan peningkatan jumlah penduduk serta keadaan lingkungan yang dinamis khususnya didaerah urban seperti di kota Tegal, yang sangat berpengaruh terhadap peningkatan jumlah user.
4. Jika diperlukan salah satu solusi *congestion* yaitu penambahan E NodeB baru, ini dibutuhkan guna selain menambahkan kapasitas, juga perluasan dan perbaikan performa *coverage* tetap maksimal dan dapat menyesuaikan dengan kebutuhan user.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Admin, "Prosentase Investasi Asing sektor Jasa Telekomunikasi Terlalu Besar," <https://kominfo.go.id/>, 2013. .
- [2] H. HARMAN, *Get The Essence!: Menciptakan Bintang Kehidupan*. Jakarta Timur: PT. Rayyana Komunikasindo, 2020.
- [3] Admin, "Luas Daerah Menurut Kecamatan di Kota Tegal," <https://tegalkota.bps.go.id/>, 2020. .
- [4] A. C. U. Putri, "Analisis Optimasi Coverage Jaringan Long Term Evolution (Lte) Tdd Pada Frekuensi 2300 Mhz," *Semin. Nas. Inov. dan Apl. Teknol. di Ind.*, no. September 2016, pp. 4–10, 2017.
- [5] E. C. Alfindo, "Metode Physical Tuning Di Lingkungan Kampus," Universitas Islam Indonesia, 2018.
- [6] S. Pramono, L. Alvionita, M. D. Ariyanto, and M. E. Sulisty, "Optimization of 4G LTE (long term evolution) network coverage area in sub urban," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2217, no. April, 2020, doi: 10.1063/5.0000732.
- [7] A. N. Fajar and E. Devia, "Analisa dan optimalisasi jaringan 4g lte dengan metode electrical tilt menggunakan drivetest," *Jakarta Timur, J. Jiifor*, vol. 1, no. 1, pp. 78–87, 2017.
- [8] M. I. Afwan, N. Nasron, and S. Suroso, "Optimalisasi Handover Jaringan 4G Telkomsel di Kota Palembang," *Jurasik (Jurnal Ris. Sist. Inf. dan Tek. Inform.*, vol. 4, no. 1, p. 117, 2019, doi: 10.30645/jurasik.v4i1.124.
- [9] K. Ayu, T. Indah, I. Bagus, and P. Manuaba, "A RSITEKTUR JARINGAN LTE ( LONG TERM EVOLUTION ) UNTUK MENGATASI BACKHAUL CONNECTION WIFI PADA RURAL AREA DENGAN TEKNOLOGI FOURTH GENERATION ( 4G )," *Komang Ayu Triana Indah*, pp. 24–29, 2017.
- [10] H. Ratih, M. Hani'ah, and W. Ari, "Perhitungan link Budget Pada Komunikasi GSM di Daerah Urban Cluster Central Business Distric (CBD), Residences, dan Perkantoran," *EEPIS Final Proj.*, pp. 1–7, 2011, [Online]. Available: <http://repo.eepis-its.edu/995/>.

- [11] D. Fahreza, J. T. Elektro, F. T. Industri, and U. I. Indonesia, "EVALUASI MODEL PROPAGASI WALFISCH IKEGAMI DAN," 2018.
- [12] M. Ulfah and A. S. Irtawaty, "Optimasi Jaringan 4G Lte (Long Term Evolution) Pada Kota Balikpapan," *J. ECOTIPE*, vol. 5, no. 2, pp. 1–10, 2018, doi: 10.33019/ecotipe.v5i2.645.
- [13] R. A. Istantowi *et al.*, "ANALISIS PENGARUH TILTING ANTENNA TERHADAP COVERAGE AREA JARINGAN 4G LTE ( STUDI KASUS KECAMATAN TRENGGALEK )," *J. JARTEL*, vol. 9, pp. 482–487, 2019.
- [14] NOERHAMZAH, "Arsitektur Jaringan LTE," 2016.
- [15] R. Syah, "Teknologi pendukung MIMO 4G LTE," 2015.
- [16] Y. Samuel C, *OFDMA System Anlysis and Design*. 2010.
- [17] A. Fahmi, *Pengalokasian Sumber Daya Radio pada Sistem Komunikasi Pita Lebar*. intelegensiamedia, 2020.
- [18] I. A. Tasadduq and R. K. Rao, "OFDM-CPM signals for wireless communications," *Can. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 28, no. 1, pp. 19–25, 2003, doi: 10.1109/CJECE.2003.1426070.
- [19] Unknown, "Pengertian dan Penjelasan QAM (Quadrature Amplitudo Modulasi)," <http://labelektronikaterapan104.blogspot.com/2017/07/pengertian-dan-penjelasan-qam.html>.
- [20] D. S. Pravira, A. Mustofa, and S. Kusmaryanto, "Analisis Pengaruh Teknik Modulasi Adaptif Terhadap Performansi Video Conference pada Jaringan Long Term Evolution (LTE)," pp. 1–6, 2014.
- [21] Sitompul and Y. Rizky, "Pengaruh Tilting Antena Terhadap Kualitas Sinyal 4G yang Diterima User pada Sistem Seluler," *Repos. Institusi USU, Univsersitas Sumatera Utara*, 2018.