

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Teknologi *Narrow band internet of things* (NB-IoT) yang berkembang menjadi daya tarik bagi para peneliti. Namun penelitian yang mengenai performansi dari teknologi LTE NB-IoT di Indonesia belum begitu banyak dilakukan.

Penelitian dari Shelasih Winalisa pada tahun 2020 dengan judul **“*Designing NB-IoT (Internet of Things) Network for Public IoT in Batam Island*”**. Pada penelitian ini membahas mengenai *design* skenario untuk jaringan NB-IoT, menganalisis parameter *coverage* dan *capacity* area. Pada penelitian ditemukan bahwa untuk melayani jaringan IoT publik di Pulau Batam, diperlukan 11 *gateway* NB-IoT. Hasil simulasi memprediksi *coverage* rata-rata level sinyal terbaik yang diterima adalah -54,4 dBm, dan nilai *Radio Signal Strength Indicator* (RSSI) di penerima adalah -65,67 dBm. Sedangkan simulasi *Signal to Noise Ratio* (SNR) menghasilkan tingkat SNR rata-rata sebesar 11,19 dB. Ini menunjukkan bahwa desain jaringan memenuhi persyaratan perancangan *Public Internet of Things* (IoT) berbasis Jaringan NB-IoT di Pulau Batam.[7]

Pada penelitian dari Melinda Br Ginting pada tahun 2019 dengan judul **“*Perancangan Jaringan NB-IoT Menggunakan Skema Standalone Frekuensi 900 MHz di DKI Jakarta*”** dilakukan perancangan jaringan untuk NB-IoT pada frekuensi 900 MHz di Kota DKI Jakarta dengan menggunakan *site existing*. Menganalisa performansi *coverage* yang diperoleh, nilai *throughput* dan *user connected* yang diperoleh. Pada penelitian ini untuk hasil dari simulasi performansi kapasitas pada skema *Standalone* terhadap *user connected* dengan input *subscriber* sebesar 31.758 menghasilkan jumlah *device user* yang terhubung sebesar 109.933 *device user*. Sedangkan, hasil simulasi performansi terhadap *throughput* memperoleh nilai sebesar 85 Mbps. Dan berdasarkan simulasi performansi parameter nilai *power* yang

dimiliki skema *standalone* tidak mempengaruhi nilai SINR dan RSRP pada skema *Standalone*. [13]

Penelitian M. Topati Sultan, Nachwan Mufti Adriansyah, dan Muhammad Imam Nashiruddin yang berjudul “***Techno-Economic Analysis of the Narrowband Internet of Things (NB-IoT) Network Planning for Smart Metering Services in Urban Area (Study Case: Padang City)***”. Pada penelitian kali ini adalah merancang NB-IoT pada AMI, dengan menganalisa aspek teknis implementasi suatu teknologi dengan nilai ekonomi. Penelitian melakukan perencanaan kapasitas, menghitung atau memprediksi biaya kebutuhan operasional, *Payback Period* (PP), hingga peluang investasi untuk menunjukkan layanan AMI di Padang Kota layak secara ekonomi. Hasil simulasi NB-IoT di Kota mendapatkan *signal level* terendah -105 dBm, *throughput* 295,45 Kbps, dan *signal to noise ratio* terendah -1 dB, artinya dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa perencanaan jaringan NB-IoT untuk Kota Padang sudah memenuhi standar. [11]

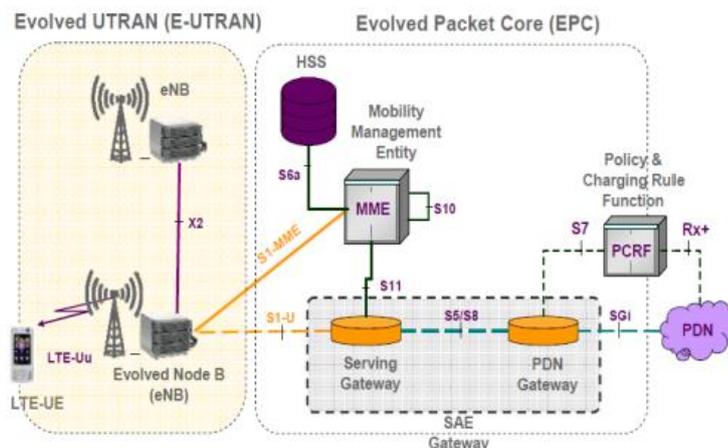
Penelitian dari Amriane Hidayati dengan judul “**Perencanaan Jaringan NB-IoT untuk Layanan *Smart Metering* di Jakarta, Depok, Tangerang, dan Bekasi**” dilakukan dalam studi kasus *Mobile Network Operator* (MNO) Indonesia. Penelitian ini akan menganalisis dua mode yaitu mode *standalone* dan mode *in-band* dengan menggunakan *bandwidth* LTE 5 MHz. Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian jumlah *site* NB-IoT yang dibutuhkan untuk *deployment* di area JaDeTaBek adalah 90 *site* dengan persyaratan RSRP minimal -110 dBm. Dari segi *coverage*, *deployment* mode dinilai lebih cocok diterapkan oleh MNO Indonesia secara *standalone* yang menunjukkan pengukuran *coverage* lebih baik dibandingkan *in-band* mengingat spesifikasi *hardware* yang tersedia. [11]

Dengan adanya penelitian diharapkan menjadi kemajuan untuk teknologi dan teknologi LTE NB-IoT dapat ikut berkembang dengan sangat cepat. Hal tersebut sangat membantu dalam industri atau kehidupan sehari-harinya.

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 *Long Term Evolution* (LTE)

Long Term Evolution (LTE) merupakan sebuah nama yang diberikan pada teknologi jaringan akses radio dari *3rd Generation Partnership Project* (3GPP). LTE memiliki kecepatan pengiriman data 100 Mbps hingga 1 Gbps untuk *downlink* dan untuk *uplink* sebesar 50 Mbps. *Bandwidth* yang dimiliki mulai dari 1,4 MHz hingga 20 MHz. LTE bertujuan untuk menyediakan jaringan dengan kecepatan tinggi, *latency* yang rendah, dan mengoptimalkan radio akses berbasis packet.[1]



Gambar 2.1 *Long Term Evolution* (LTE) [1]

LTE atau *Long Term Evolution* merupakan generasi teknologi seluler keempat yang dikembangkan oleh 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) yang merupakan teknologi lanjutan dari UMTS (*Universal Mobile Telephone Standard*). Organisasi 3GPP memutuskan kriteria teknologi LTE sebagai berikut:

1. Kecepatan data puncak *downlink* mencapai 100 Mbps saat pengguna bergerak cepat dan 1 Gbps saat bergerak pelan atau diam. Sementara untuk *uplink* kecepatan data puncak mencapai 50 Mbps.
2. Delay sistem berkurang hingga 10 ms.
3. Efisiensi spektrum meningkat hingga empat kali lipat dari teknologi 3.5 G *High Speed Packet Access* (HSPA).
4. Migrasi sistem yang hemat biaya dari HSPA ke LTE.
5. Meningkatkan layanan broadcast.

6. *Bandwidth* yang fleksibel mulai dari 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz, hingga 20 MHz.
7. Dapat bekerja di berbagai spektrum frekuensi.
8. Dapat bekerjasama dengan sistem 3GPP maupun sistem non 3GPP.[1]

2.2.2 *Internet of Things (IoT)*

Istilah *Internet of Things* pertama kali dicetuskan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 pada saat melakukan presentasi untuk perusahaan Procter & Gamble (P&G), mengikuti peluncuran teknologi RFID (*Radio Frequency Identification*). Kevin Ashton menjelaskan dimana mengenai teknologi yang menghubungkan berbagai perangkat/benda-benda di sekitar, dapat berkomunikasi antara satu sama lain melalui sebuah jaringan seperti internet. [17]

2.2.3 *Narrow Band Internet of Things (NB-IoT)*

Narrow band internet of things (NB-IoT) adalah teknologi akses radio seluler baru yang telah terstandarisasi oleh 3GPP *release* 13 pada tahun 2016. Sejak dirilis pertama kali pada tahun 2016, NB-IoT hingga 2018 telah melalui dua rilis tambahan, yaitu, 3GPP *release* 14 dan *release* 15. *Release* ini kemudian dilanjutkan untuk meningkatkan efisiensi energi perangkat. Selain itu, fitur untuk meningkatkan kinerja sistem dan untuk mendukung yang baru penggunaan dan opsi penyebaran tambahan juga diperkenalkan. Peningkatan ini lebih meningkatkan posisi NB-IoT sebagai LPWAN superior teknologi. [13]

Pada fitur *release* 14 dan 15 menerapkan NB-IoT dengan peningkatan perangkat lunak dari jaringan LTE atau NB-IoT. Dalam Rilis 15, 3GPP mengevaluasi NB-IoT terhadap serangkaian persyaratan kinerja Generasi Kelima (5G) yang disepakati yang ditentukan untuk penggunaan komunikasi tipe mesin besar (mMTC). [13]

Banyak skenario penyebaran NB-IoT akan menggunakan sensor. Sensor menjadi titik akhir untuk jaringan NB-IoT,

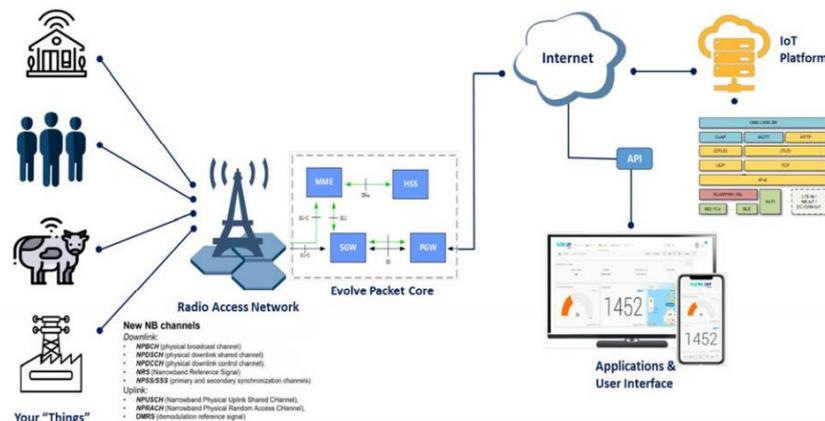
mengumpulkan peningkatan jumlah data dan informasi sadar konteks (misalnya, lokasi, gambar, kondisi cuaca) dan menyuntikkan sejumlah besar terstruktur dan data yang tidak terstruktur ke dalam jaringan dan aplikasi.[1]

Perangkat NB-IoT yang digunakan sebagai sensor dapat digunakan untuk aplikasi berikut:

- Mengukur konsumsi gas, air, dan listrik
- Mengukur kondisi cuaca seperti suhu, kelembaban, tekanan, arah angin, dan indeks Ultra-Violet (UV).
- Mengukur tingkat polusi seperti emisi karbon, merkuri, dan emisi radioaktif.
- Mengukur aktivitas lingkungan seperti kebisingan, serbuk sari dan tingkat debu, dan aktivitas matahari.[1]

2.2.4 Arsitektur NB-IoT

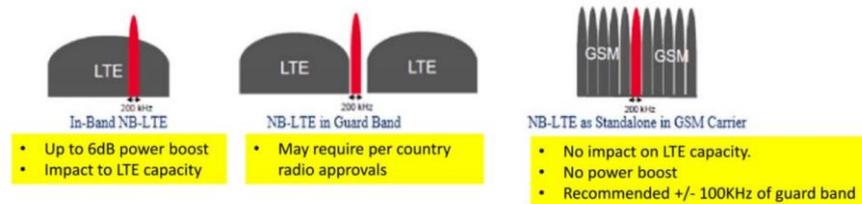
Pada arsitektur jaringan NB-IoT terdiri dari lima bagian, yaitu perangkat/object NB-IoT, NB-IoT *Radio Access Network*, *Evolve Packet Core* (EPC) *Network*, *platform* NB-IoT, dan *Application & User Interface*. Jaringan NB-IoT didukung langsung pada jaringan seluler sehingga dapat berkembang di mana pun jaringan mereka tersedia. Ini telah membuat NB-IoT menjadi teknologi yang tepat untuk pengembangan *Internet of Things* seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.[13]



Gambar 2.2 Arsitektur NB-IoT[13]

2.2.5 Skenario Penerapan Jaringan NB-IoT

NB-IoT dapat digunakan sebagai operator yang berdiri sendiri. Hal ini juga dapat diimplementasikan dalam spektrum LTE (*in-band*), baik di dalam operator LTE atau di pita kecil. Berikut adalah ketiga skenario penyebaran jaringan NB-IoT yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.3 Skenario Penerapan Jaringan NB-IoT[13]

Antarmuka radio NB-IoT dapat mendukung tiga mode operasi seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.12. Berikut ini adalah mode yang didukung oleh perangkat NB-IoT:

In-band memanfaatkan band frekuensi LTE. Ini menggunakan blok sumber daya dalam *bandwidth* operator LTE di mana satu blok sumber daya fisik LTE menempati *bandwidth* 180 KHz.

Guard band memanfaatkan band frekuensi LTE yang mengambil satu atau lebih *Physical Resources Block* (PRB) dengan *bandwidth* 180Khz. Ini menggunakan blok sumber daya (penjaga) yang tidak digunakan dalam operator LTE *guard band*.

Pada *Standalone* memanfaatkan operator khusus selain LTE (misalnya, GSM). Ini menempati satu saluran GSM (200 KHz). Untuk mode *in-band*, sinyal NB-IoT menempati 180 KHz atau satu *Physical Resource Block* (PRB) dalam *bandwidth* LTE. Ketika PRB tidak digunakan untuk NB-IoT, eNodeB dapat menjadwalkannya untuk lalu lintas LTE lainnya.[6]

2.2.6 Data Retransmission NB-IoT

NB-IoT mengadopsi mekanisme transmisi ulang data untuk mendapatkan perolehan keragaman waktu dan modulasi orde rendah untuk meningkatkan kinerja demodulasi dan kinerja cakupan.

Semua saluran mendukung pengiriman ulang data. Selain itu, 3GPP juga menentukan jumlah transmisi ulang dan mode modulasi yang sesuai untuk setiap saluran, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Data Retransmission NB-IoT [11]

| Physical signal/physical channel | | Repetitions | Modulation |
|----------------------------------|--------|--|---------------------------------|
| Downlink | NPBCH | Fixed 64 times | QPSK |
| | NPDCCH | [1,2,4,8,32,64,128,256,512,1024,2048] | QPSK |
| | NPDSCH | [1,2,4,8,32,64,128,192,256,384,512,768,1024,1536,2048] | QPSK |
| Uplink | NPRACH | [1,2,4,8,32,64,128] | - |
| | NPUSCH | [1,2,4,8,32,64,128] | ST:/4-QPSK and /2-BPSK MT: QPSK |

2.2.7 Frekuensi NB-IoT

Pada frekuensi NB-IoT digunakan nomor frekuensi yang sama seperti pada jaringan LTE release 13 sesuai dengan standart 3GPP dan sub-set yang ditentukan untuk NB-IoT. [14]

Tabel 2.2 Frekuensi NB-IoT Release 13 [14]

| Band | Uplink Frequency Range / MHz | Downlink Frequency Range / MHz |
|------|------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 1920 – 1980 | 2110 – 2170 |
| 2 | 1850 – 1910 | 1930 – 1990 |
| 3 | 1710 – 1785 | 1805 – 1880 |
| 5 | 824 – 849 | 869 - 894 |
| 8 | 880 – 915 | 925 – 960 |
| 12 | 699 – 716 | 729 – 746 |
| 13 | 777 – 787 | 746 – 756 |
| 17 | 704 – 716 | 734 – 746 |
| 18 | 815 -830 | 860 – 875 |
| 19 | 830 – 845 | 875 – 890 |
| 20 | 832 – 863 | 791 – 821 |

| | | |
|----|-------------|-------------|
| 26 | 814 – 849 | 859 – 894 |
| 28 | 703 – 748 | 758 – 803 |
| 66 | 1710 - 1780 | 2110 - 2200 |

Pada 3GPP *release* 14 menambahkan frekuensi NB-IoT dengan Band: 11, 25, 31 dan 70. Kemudian 3GPP *release* 15 menambahkan frekuensi NB-IoT dengan Band: 4, 14, 71, 72, 73, 74 dan 85.

Tabel 2.3 Frekuensi NB-IoT Release 14 [14]

| Band | Uplink Frequency Range / MHz | Downlink Frequency Range / MHz |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 11 | 1427,9 – 1447,9 | 1475,9 – 1495,9 |
| 25 | 1850 – 1915 | 1930 – 1995 |
| 31 | 452,5 – 457,5 | 462,5 – 467,5 |
| 70 | 1695 - 1710 | 1995 – 2020 |

Tabel 2.4 Frekuensi NB-IoT Release 15

| Band | Uplink Frequency Range / MHz | Downlink Frequency Range / MHz |
|-------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 1710 – 1755 | 2110 – 2155 |
| 2 | 788 – 798 | 758 – 768 |
| 3 | 663 – 689 | 617 – 783 |
| 5 | 451 – 456 | 461 – 466 |
| 8 | 450 – 455 | 461 – 465 |
| 12 | 1427 – 1470 | 1475 – 1518 |
| 13 | 698 - 716 | 728 - 746 |

Sebagian besar frekuensi NB-IoT berada di kisaran yang lebih rendah dari pita LTE yang ada. Ini mencerminkan bahwa untuk komunikasi jenis mesin ada banyak perangkat yang diharapkan dalam kondisi radio yang sulit. Untuk penggunaan frekuensi di Indonesia yaitu pada Band 3, Band 8 dan Band 20.

2.2.8 Model Propagasi Okumura Hatta

Model Okumura Hatta memiliki karakteristik berkerja optimal di frekuensi 150 MHz sampai 1500 MHz, digunakan untuk tinggi UE antara 1 hingga 10 m, antena *base station* antara 3 hingga 200 m dan *link distance* hingga 1-20 km. Model ini dapat digunakan tanpa menggunakan faktor koreksi untuk area urban, namun pada kasus tipe wilayah dengan karakteristik tertentu faktor koreksi akan dibutuhkan dalam persamaan ini. Persamaan model Okumura Hatta adalah sebagai berikut:[1]

$$a(h_r) = (1,1 \log (f) - 0,7) h_r - (1,56 \log (f) - 0,8) \quad (2.1)$$

$$L_{\text{urban}} = 69,55 + 26,16 \log f - 13,83 \log h_b - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log h_b) \log d + L \quad (2.2)$$

Sedangkan, untuk daerah perkotaan yang memiliki daerah yang cukup luas, perhitungan faktor koreksi akan dilakukan menggunakan persamaan (2.3) dan (2.4) sebagai berikut [1]:

$$a(h_{re}) = 8,29 [(\log(1,54 h_{re}))^2 - 1,1] ; \text{ untuk } f \leq 300 \text{ Mhz} \quad (2.3)$$

$$a(h_{re}) = 3,2 [(\log(11,75 h_{re}))^2 - 4,9] ; \text{ untuk } f \geq 300 \text{ Mhz} \quad (2.4)$$

Dimana:

h_b : Tinggi antena Base Station

h_r : Tinggi efektif UE

F : Frekuensi kerja 150 MHz sampai 1500 MHz

$a(h_r)$: Faktor koreksi untuk tinggi UE

d : Jarak antara tinggi UE dengan *Base Station*

L : -20 dBm

Setelah mendapatkan perhitungan *link budget*, kemudian dapat menghitung jumlah sel yang mencakup pada daerah perencanaan berdasarkan radius jangkauan dengan menggunakan luas daerah. Berikut persamaan untuk mencari luas *cell*/daerah dan jumlah sel:

$$L_{\text{cell}} = 2,6 * d^2 \quad (2.5)$$

Dimana:

L_{cell} : Luas cakupan *cell/coverage area*

d: Radius sel

$$\text{Jumlah Cell: } \frac{L_{\text{area}}}{L_{\text{cell}}} \quad (2.6)$$

$$\text{Jumlah Site: } \frac{\text{Jumlah Cell}}{3} \quad (2.7)$$

Dimana:

L area : Luas daerah perencanaan

L cell : Luas cakupan *cell coverage area*

2.2.9 Capacity Planning/ User Forecasting

Untuk mengetahui performansi suatu jaringan yang dibutuhkan dalam suatu area dapat dilakukan dengan berdasarkan kapasitas. Hal ini dilakukan guna memperkirakan seberapa besar *user* ataupun *device* yang dapat dilayani dan terhubung. Adapun parameter yang dianalisa dalam performansi kapasitas ialah *throughput* maksimal yang diperoleh, jumlah *device user connected*, serta dibutuhkan jumlah *subscriber/density*. Adapun beberapa perhitungan untuk menentukan performansi kapasitas adalah sebagai berikut: [13]

1. Persentase (%) Penduduk

$$\text{Persentase (\%): } \frac{\text{Jumlah Penduduk Kota Semarang}}{\text{Jumlah Penduduk Indonesia}} \quad (2.8)$$

2. Estimasi IoT Device

$$\text{IoT Device} = \text{IoT Device Indonesia} \times \text{Persentase Penduduk (\%)} \quad (2.9)$$

3. Jumlah User/Density (km²)

$$\text{Jumlah User: } \frac{\text{Jumlah Penduduk Kota Semarang}}{\text{Luas Kota Semarang}} \quad (2.10)$$

4. Jumlah IoT Device Per Users

$$\text{Jumlah IoT Device/Users: } \frac{\text{Jumlah IoT Device Semarang}}{\text{Jumlah Penduduk Semarang}} \quad (2.11)$$

5. Subscriber Device

$$\text{Subscriber Device} = \text{Jumlah User} \times \text{Jumlah device per user} \quad (2.12)$$

Berikut merupakan persamaan untuk menghitung nilai *downlink throughput* untuk mengetahui nilai *throughput* maksimal yang diperoleh pada suatu *site*. [13]

$$\text{Throughput Cell} = 12 \text{ subscriber} \times 14 \text{ OFDM symbols} \times \text{code bit} \times \text{code rate} \times \text{RB} \times 2 \text{ Slot} \quad (2.13)$$

Dimana:

Code Rate = channel coding rate

RB = resource block

Code rate = Channel coding rate

Code bit = efisiensi modulasi (nilai bit modulasi)

$$\text{Throughput Total site} = \text{jumlah cell} \times \text{Throughput cell} \quad (2.14)$$

Dimana:

Jumlah cell = jumlah cell existing

Throughput cell = nilai *throughput* per cell

2.2.10 Parameter Performansi Coverage

Terdapat beberapa parameter-parameter yang digunakan untuk mengukur KPI (*Key Performance Indicator*) sebagai acuan baik atau buruknya kualitas dari cakupan jaringan NB-IoT.

a. Reference Signal Receive Power (RSRP)

Reference Signal Receive Power (RSRP) merupakan parameter kuat sinyal jaringan yang diterima oleh *User Equipment* (UE). Besar kecilnya nilai RSRP tergantung pada jarak antara *site* dengan *user*, semakin jauh maka semakin lemah sinyal yang diterima. [13]

Tabel 2.5 Range Nilai RSRP [13]

| Nilai RSRP (dBm) | Keterangan |
|------------------|-------------|
| -65 s/d -80 | Sangat Baik |
| -80 s/d -95 | Baik |

| | |
|---------------|--------|
| -95 s/d -110 | Normal |
| -110 s/d -140 | Buruk |

b. *Received Signal Strength Indicator (RSSI)*

Received Signal Strength Indicator (RSSI) merupakan parameter untuk mengukur indikator seberapa besar kuat sinyal yang di terima oleh *user* di titik tertentu. Berikut merupakan *range* nilai RSSI sesuai dengan standar, terdapat 5 *range* nilai di antaranya *range* >-60 dBm untuk keterangan bagus sekali, *range* -60 s/d -80 dBm untuk keterangan baik, *range* -80 s/d -95 dBm untuk keterangan cukup, *range* -95 s/d -110 dBm untuk keterangan buruk dan terakhir yaitu *range* nilai RSSI <-110 dBm untuk keterangan sangat buruk. [7]

Tabel 2.6 *Range* Nilai RSSI

| Nilai RSSI (dBm) | Warna |
|------------------|------------|
| -105 s/d -100 | Biru Tua |
| -100 s/d -95 | Biru |
| -95 s/d -90 | Biru Muda |
| -90 s/d -85 | Hijau |
| -85 s/d -80 | Hijau Muda |
| -80 s/d -75 | Kuning |
| -75 s/d -70 | Kuning Tua |
| -70 s/d -65 | Merah |

c. *Signal to Interference Noise Ratio (SINR)*

Signal to Interference Noise Ratio (SINR) merupakan parameter untuk menyatakan kualitas sinyal yang diterima berupa perbandingan kekuatan sinyal dengan *noise* dan interfeferensi. [7]

Tabel 2.7 *Range* Nilai SINR [7]

| Nilai SINR (dB) | Keterangan |
|-----------------|-------------|
| 1 s/d 2 | Sangat Baik |
| 0 s/d 1 | Normal |
| ≤ 0 | Buruk |

d. *Block Error Rate* (BLER)

Block Error Rate (BLER) digunakan untuk mengukur jumlah *block* data yang salah dan mengetahui tingkat keberhasilan informasi pada saat diterima atau ditransmisikan. Nilai ambang BLER adalah $\leq 10\%$, yang berarti *user* harus menerima setidaknya 90% transmisi yang berhasil. [13]

Tabel 2.8 *Range* Nilai BLER

| Nilai RSRP (dBm) | Keterangan |
|------------------|--------------|
| 0 s/d 0,05 | Sangat Baik |
| 0,05 s/d 0,1 | Baik |
| 0,1 s/d 0,15 | Normal |
| 0,15 s/d 0,2 | Buruk |
| 0,2 s/d 0,25 | Sangat Buruk |