

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Standar Teknologi NB-IoT sudah mulai di *release* pada 2016 oleh 3GPP dan sudah mulai dikomersialkan pada tahun 2017, dan salah satu bentuk komersialnya dari salah satu operator di Indonesia yang dilakukan pada tahun 2018 yaitu ujicoba dengan bentuk implementasi “*Bike Sharing*” di Universitas Indonesia dalam bentuk aplikasi.[1]

Sedangkan, Penelitian yang terkait mengenai performansi dari teknologi LTE NB-IoT di Indonesia belum begitu banyak dilakukan. Akan tetapi, untuk penilitan yang membahas mengenai konsep dari skema NB-IoT sudah pernah dilakukan di beberapa negara, salah satu diantaranya ialah penelitian dari Mangalvedhe Nitin pada tahun 2016 yang berjudul “*NB-IoT Deployment Study For Low Power Area Celluler IoT*”. Pada penelitian ini Membahas mengenai penumpangan teknologi NB-IoT pada LTE serta menjelaskan mengenai skema model dari NB-IoT. Parameter hasil dari penelitian tersebut ialah pengaruh dari MCL terhadap nilai SINR.[2]

Penelitian dari Adhikary Ansuman pada tahun 2016 dengan judul “*Performance Evaluation of NB-IoT*”. Pada penelitian ini membahas mengenai opsi penempatan skema model NB-IoT berdasarkan *coverage* serta jumlah *device* yang dapat terhubung pada *cell*.[3]

Penelitian Chen Min, yang dilakukan pada tahun 2017 “*NarrowBand Internet of Things*”. Pada penelitian ini membahas lengkap mengenai skema model, *feature* dari NB-IoT, performansi NB-IoT secara *coverage* dan *capacity* serta transmisi rate *service* dari IoT *device*.[4]

Penelitian Zayas Diaz Almudena yang berjudul “*The 3GPP NB-IoT System Architechtur For The Internet of Things*”. Di dalam penelitian ini membahas mengenai teknologi dari LTE yang mendukung penumpangan dari NB-IoT terhadap LTE serta *service* parameter yang diberikan oleh NB-IoT.[5]

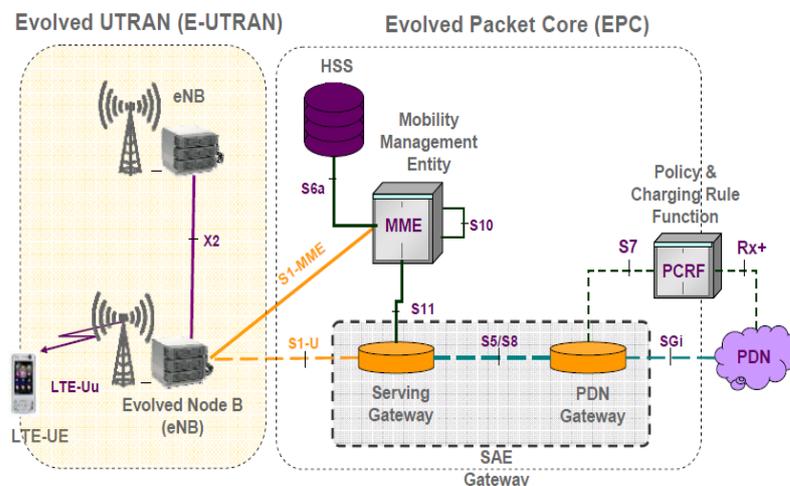
Penelitian Diah Kusumawati penelitian dari kementerian riset dan teknologi komunikasi Indonesia yang berjudul “*Spectrum Requirement For IoT Service A*

Case of Jakarta Smart City'. Pada penelitian ini membahas mengenai teknologi yang mendukung *service IoT device* serta parameter layanan dari *IoT device*. Pada penelitian ini juga membahas mengenai jumlah *IoT device* yang dapat dilayani oleh setiap *cell*. [6]

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*. [12]



Gambar 2.1 Long Term Evolution (LTE) [18]

LTE atau yang dikenal dengan istilah *System Architecture Evolution* (SAE) menggambarkan evolusi yang membandingkan dengan generasi sebelumnya. Didalam LTE SAE terdapat tiga komponen utama yaitu *User Equipment* (UE), *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* (E-UTRAN), dan *Evolved Packet Core* (EPC). [18]

Berikut merupakan penjelasan dari bagian – bagian dari LTE NB-IoT antara lain :

1. *User Equipment (UE)*

User equipment merupakan perangkat dalam teknologi LTE yang berdekatan dengan *user*. UE terbagi menjadi dua bagian yaitu *Universal Integrated Circuit Card (UICC)* dan *Mobile Equipment (ME)*. [12]

2. *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN)*

Pada bagian E-UTRAN terdiri dari 2 bagian utama yaitu *User Equipment (UE)* dan *evolved Node B (eNodeB)*. *User equipment* adalah suatu perangkat yang terdapat pada *user* atau pelanggan yang digunakan untuk mengirim dan menerima informasi (berkomunikasi). UE dapat berupa laptop, telepon genggam, *smart phone* ataupun perangkat yang dapat terhubung dengan internet. ENodeB merupakan antarmuka jaringan LTE dengan UE, dapat diartikan juga sebagai jembatan antara UE dan EPC, yang digunakan untuk mengkonversi aliran data. [12]

3. *Evolved Packet Core (EPC)*

Evolved Packet Core (EPC) terdiri dari beberapa komponen, antara lain adalah :

a. *Mobility Management Entity (MME)*

Mobility Management Entity atau yang disebut MME, merupakan pengontrol setiap *node* pada jaringan akses LTE. Pada saat UE bersifat idle maka MME akan bertanggung jawab dalam melakukan prosedur *tracking* dan *paging* yang di dalamnya mencakup *retransmission*. [12]

b. *Home Subscriber Server (HSS)*

Home Subscriber Server (HSS) merupakan sebuah sistem database yang berfungsi untuk membantu MME dalam melakukan manajemen dan pengamanan bagi pelanggan. HSS merupakan penggabungan atau kombinasi dari *Authentication Center (AuC)* dan *Home Location Register (HLR)* yang digunakan untuk autentikasi. [13]

c. *Serving Gateway (S-GW)*

Berfungsi untuk mengatur jalur dan meneruskan data dalam bentuk paket dari masing-masing pengguna (UE). [5] *Serving Gateway* juga berfungsi sebagai penghubung antara teknologi LTE dengan teknologi 3GPP lainnya seperti 2G (GSM/EDGE) dan 3G (UMTS). [13]

d. Packet Data Network Gateway (PDN-GW / P-GW)

P-GW berfungsi sebagai penyedia hubungan atau konektivitas antara *user* (UE) dengan jaringan paket, serta berfungsi sebagai penghubung antara teknologi LTE dengan teknologi non 3GPP (WiMAX) dan 3GPP2 (CDMA2000 1x dan EVDO).[12]

e. Policy And Charging Rules Function (PCRF)

Policy And Charging Rules Function atau yang disingkat dengan PCRF, memiliki fungsi untuk menangani QoS serta mengontrol *rating*, *charging* dan *billing*. [14]

2.2.2 3GPP STANDARISASI

Pada tahun 2015, perkembangan teknologi telekomunikasi dengan mengalami peningkatan. Sigfox telah melakukan pengembangan mereka dengan *ultra modulation network* mereka di Prancis, Spanyol, Belanda dan Inggris. Sedangkan Lo-Ra memutuskan untuk memfokuskan pengembangan mereka pada IoT *device* untuk cakupan yang luas, dan telah terstandarisasi LoRaWAN R1.0 pada bulan Juni 2015. [8]

Perkembangan tersebut menimbulkan minat industri yang signifikan. Sampai saat itu, Sistem Global untuk Komunikasi Seluler / Layanan Radio Paket Umum (GSM/GPRS) telah menjadi teknologi seluler pilihan utama untuk melayani case penggunaan IoT dengan area luas. Sehingga menjadi teknologi yang baik dengan biaya modem rendah (setidaknya bila dibandingkan dengan 3G dan 4G). Sehingga, teknologi LPWAN pun merasa ini sebuah tantangan yang muncul untuk menghadirkan teknologi alternatif pilihan IoT yang dilayani oleh GSM / GPRS.[8]

Untuk mengantisipasi persaingan teknologi yang baru 3GPP memulai studi kelayakan pada Seluler untuk dukungan sistem untuk kompleksitas sangat rendah dan Internet *throughput* rendah [2], yang disebut sebagai study IoT Seluler dengan tujuan study IoT seluler ialah pada cakupan, kapasitas, dan penggunaan baterai telah diatur, bersama dengan yang lainnya yaitu latensi sistem maksimum. Semua tujuan kinerja ini menawarkan peningkatan besar lebih dari GSM dan GPRS, sebagaimana ditentukan pada saat itu, ke arah yang lebih baik melayani IoT *device*. Satu tujuan tambahan adalah memungkinkan untuk memperkenalkan fitur IoT ke

yang sudah ada Jaringan GSM melalui peningkatan perangkat lunak. Membangun jaringan yang baru membutuhkan waktu bertahun-tahun dan membutuhkan investasi yang besar. Dengan peningkatan meingkatkan perangkat lunak, implementasi teknologi untuk IoT lebih efisien untuk dilakukan.[8]

Secara historis, grup yang melakukan penelitian pada teknologi seluler IoT adalah, 3GPP TSG GERAN (*Technical Specifications Group GSM/EDGE Radio Access Network*), yang telah memfokuskan pada evolusi teknologi GSM / GPRS dengan mengembangkan fitur untuk memenuhi kebutuhan operator GSM. Namun, beberapa operator GSM memiliki *point* tertentu untuk mempertimbangkan memperbarui spektrum GSM mereka ke *Long-Term Evolution* (LTE) dan juga ke LPWAN didedikasikan untuk layanan IoT. Pertimbangan ini memicu studi pada *non-GSM backward compatible* teknologi yang tidak efektif.[8]

Sehingga, memberikan landasan yang kuat untuk mengembangkan teknologi baru bersarkan perkembangan terhadap *device* IoT. Dimana, NB-IoT muncul setelah beberapa penelitian tersebut. Oleh karena itu, 3GPP mengeluarkan standarisasi untuk NB-IoT yaitu pada *Release 13*. NB-IoT adalah teknologi radio akses network yang merupakan bagian dari LTE dengan memanfaatkan dari perangkat teknologi telekomunikasi yang sudah ada. Sistem NB-IoT yang menggunakan *bandwidth* 180 kHz, untuk *downlink* dan *uplink*. Hal ini, memungkinkan penggunaan dalam pemanfaatan kanal pada teknologi GSM dan LTE.[8]

2.3 Narrow Band Internet of Things (NB-IoT)

Narrow Band Internet of Things (NB-IoT) merupakan salah satu teknologi dengan cakupan yang sangat luas yang diusulkan oleh *Low Power Wide Area* (LPWA) 3GPP. Yang ditujukan pada perangkat – perangkat yang menggunakan *data rate* yang kecil. NB-IoT mendukung konektifitas yang sangat luas lebih dari 50000 *device* di setiap *cell*, dengan penggunaan daya yang kecil, cakupan yang luas serta didukung oleh perangkat komunikasi *cellular* .[3]

NB-IoT sendiri adalah teknologi telekomunikasi radio akses yang berbasis pada *Long Term Evolution* (LTE) dan GSM teknologi dengan beberapa penyederhanaan dan optimasi yang digunakan untuk *device* IoT. [7].

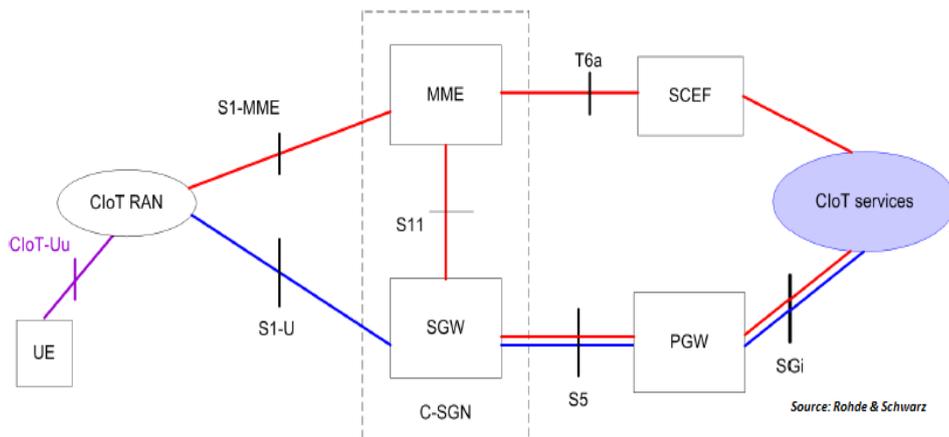
Narrowband internet of things (NB-IoT) juga merupakan teknologi *celluler* yang ditujukan pada IoT *device* yang telah terstandarisasi oleh 3GPP *release* 13 pada bulan juni tahun 2016. Berdasarkan standarnya, NB-IoT didukung *bandwidth* sebesar 180 kHz untuk *downlink* dan *uplink*. Hal ini memungkinkan untuk menerapkan NB-IoT pada spektrum operator GSM dan operator LTE.[8].

Tabel 2.1 Standarisasi NB-IoT [8]

Parameter	Value
Frekuensi LTE (MHz)	900
Propagasi Area	Urban
<i>Device</i> NF (dB)	5
<i>Base Station</i> NF (dB)	3
<i>Duplex Mode</i>	<i>Half Duplex</i>
Modulasi	QPSK
Skema Model	<i>Standalone, In-Band dan Guard-Band</i>
<i>Base station antenna configuration</i>	<i>Standalone</i> : 1 Tx antenna dan 2 Rx antenna, <i>In-Band dan Guard-Band</i> : 2 Tx antenna dan 2 Rx antenna
<i>Base Station Power</i> (dBm)	43 (<i>Standalone</i>), 35 (<i>In-Band dan Guard-Band</i>)
<i>Latency</i> (s)	10
<i>Throughput</i> (kbps)	150
<i>Data Rate</i> (kbps)	50

Dalam performansinya NB-IoT memiliki kriteria *design* objek *device* yang dapat dilayani oleh teknologi NB-IoT. Di antara lain adalah sebagai berikut [7] :

1. perangkat memiliki kompleksitas daya yang rendah untuk mendukung aplikasi IoT *device*.
2. mendukung *device* dengan penggunaan *throughput* yang rendah setidaknya dapat melayani lebih dari 50000 *device* setiap *cell*.
3. memiliki latensi sebesar 10 s untuk setiap *device*.
4. menghemat penggunaan baterai pada perangkat BTS hingga 10 tahun.



Gambar 2.3 NB-IoT CIoT EPS[16]

Berikut merupakan beberapa *upgrade* yang dilakukan pada LTE untuk NB-IoT pada bagian *evolved packet system* (EPS) yang menyesuaikan dengan perangkatan IoT. Diantaranya ialah sebagai berikut :

1. Control Plane CIoT EPS

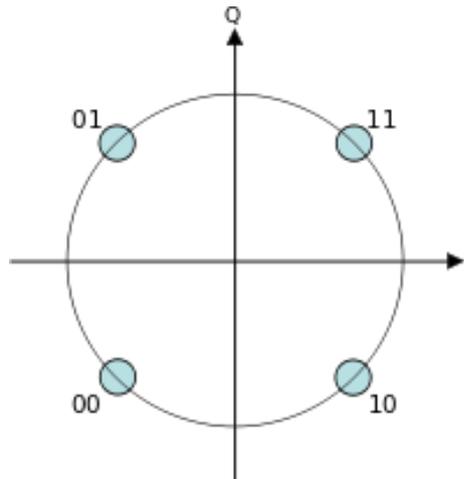
Control Plane data UL dapat ditransfer dari eNodeB ke MME. Dari sana, data tersebut dapat ditransfer melalui *Gateway Serving* (SGW) ke *Gateway Jaringan Data Paket* (PGW), atau *Service Capability Exposure Function* (SCEF) yang hanya diperuntukan untuk data non-IP yang kemudian akan diteruskan ke *platform* IoT.[16]

2. User Plane CIoT EPS

Data yang ditransmisikan sama dengan transmisi *data traffic* LTE yang diatur dari data *radio bearer* dari SGW/PGW lalu ke IoT *Platform*, yang mana digunakan untuk data IP dan no-IP. *User plane* ini diperuntukan untuk data pesan yang akan ditransmisikan ke server terlebih dahulu lalu ke *device*.[16]

2.3.2 Skema Modulasi

QPSK merupakan modulasi kategori orde rendah karena hanya terdiri dari 4 simbol dan pada setiap simbol terdiri dari 2 bit. QPSK digunakan pada kanal antara pengirim dan penerima dalam kondisi buruk atau nilai SINR nya rendah. Kelebihan dari QPSK adalah tahan terhadap interferensi, akan tetapi laju bit pada modulasi QPSK rendah. Gambar 2.7 menunjukkan diagram konstelasi modulasi QPSK.[19]



Gambar 2.4 Diagram Konstelasi QPSK[19]

2.3.3 Skema Transmisi *Downlink*

Skema transmisi *downlink* pada NB-IoT menggunakan skema OFDM dengan nilai subcarrier sebesar 15 kHz sama dengan yang ada pada LTE. transmisi lot, *subframe*, dan durasi *frame* sebesar 0,5 ms dan 10 ms. Pada intinya skema transmisi *downlink* pada NB-IoT sama dengan LTE dengan total sebesar 180 kHz.[10]

Dalam domain frekuensi 1 PRB terdiri dari 12 *subcarrier* yang memiliki nilai masing – masing 15 kHz dengan modulasi yang digunakan pada subcarriernya ialah QPSK untuk NB-IoT dan QPSK, 16 QAM, 64 QAM untuk LTE. Tidak seperti LTE, NB-IoT *physical downlink channel* dan *signal* di *multiplex* secara bersamaan dalam satu waktu. *Subframe* pada NB-IoT dialokasikan untuk *physical channel* dan sinyal yang berbeda di *downlink*. NB-IoT memiliki dua *physical signal* dan tiga *physical channel* sebagai berikut [20]:

1. *Narrowband Reference Signal (NRS)*

NRS digunakan untuk memberikan referensi *downlink channel* saat demodulasi. NRS ditransmisikan disemua *subframe* yang dapat di broadcast atau transmisi *downlink channel* dengan menggunakan 8 RE disetiap port antenna yang digunakan.[20]

2. *Narrowband Primary And Secondary Synchronization Signals (NPSS and NSSS).*

NPSS dan NSSS digunakan pada pencarian *cell* menggunakan sinkronisasi waktu dan sinyal dan deteksi identitas *cell*. NPSS ditransmisikan di

subframe 5 setiap 10 ms *frame*, yang mana NSSS memiliki waktu transmisi sebesar 20 ms dan dialokasikan pada *subframe 9*. [20]

3. *Narrowband Physical Broadcast Channel (NPBCH)*

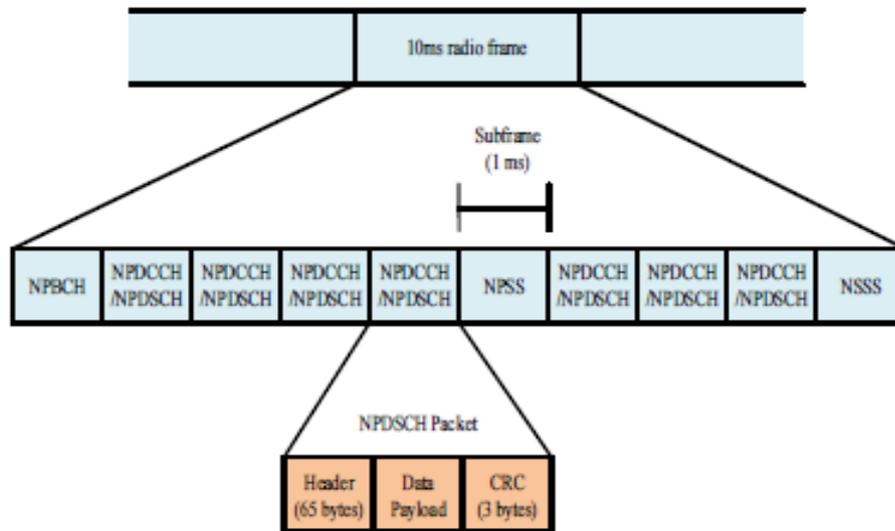
NPBCH membawa *master information block (MIB)* dan ditransmisikan pada *subframe 0* di setiap *frame*nya. Sebuah MIB tidak akan mengalami perubahan selama waktu interval yang dimiliki yaitu 680 ms.[20]

4. *Narrowband Physical Downlink Control Channel (NPDCCH)*

NPDCCH dianggap sebagai bagian inti dari *downlink channel* yang mengontrol data informasi pada bagian DL/UL, *random access channel (RACH)* respon, tipe modulasi yang digunakan pada saat data ditransmisikan, *power* yang digunakan dan sebagainya. Mengontrol transmisi antara *base station (BS)* dan *user equipment (UE)*, dengan kapasitas ukuran bit sebesar 23 bit dan memiliki *repetition* maksimal sebesar 2048.[20]

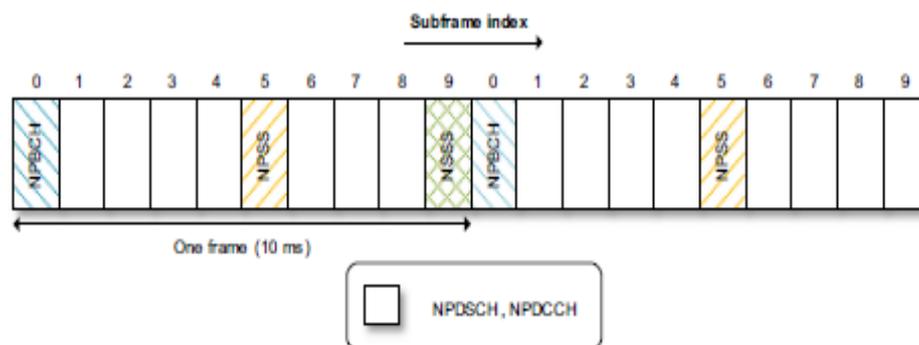
5. *Narrowband Physical Downlink Shared Channel (NPDSCH)*

NPDSCH adalah *carrier channel* data utama yang terdiri dari data pengguna unicast, beberapa informasi *control* dan *system information block (SIB)*. MIB dalam NPBCH membawa semua informasi untuk memperoleh NB-SIB1, sedangkan NB-SIB1 membawa semua informasi untuk memperoleh yang lain SIB. NB-SIB1 ditransmisikan pada jadwal tetap dengan aperiodisitas 2560 ms. Jika SIB ada dalam *frame*, selalu menempati *subframe 4* dalam 16 *frame* berkesinambungan. Pengulangan kode hingga 2048 dapat digunakan untuk cakupan peningkatan.[20]



Gambar 2.5 Downlink Structure Physical Channel [16]

Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya NB-IoT memiliki beberapa *signal* dan *channel* dari sisi *downlink*. pada *layer* yang paling tinggi yaitu pada *channel physical* dan sinyal *multiplex* kecuali untuk *narrowband reference signal* (NRS). Berikut merupakan gambar penomoran atau pemberian alokasi *downlink channel* pada setiap *subframe* di NB-IoT.[16]



Gambar 2.6 Physical Channel NB-IoT [8]

2.4 SKEMA MODEL LTE NB-IoT

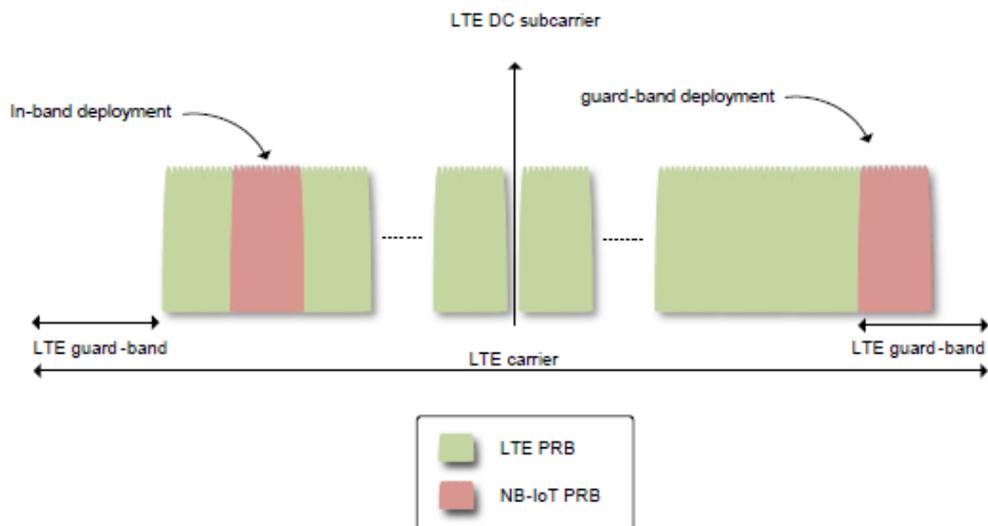
2.4.1 Skema *In-Band*

Pada skema sistem NB-IoT *In-Band* dimana satu atau lebih PRB merupakan PRB cadangan untuk NB-IoT. Dimana 1 PRB merupakan cadangan diantara PRB yang lain. Sinyal NB-IoT yang disediakan untuk LTE tidak di transmisikan dalam bentuk waktu frekuensi. Daya dari total eNodeB yang ada

dibagi antara LTE dan NB-IoT dengan menggunakan *power spectral density* (PSD) akan meningkatkan PRB pada NB-IoT. PRB yang dibagi antara NB-IoT dan LTE memungkinkan penggunaan lebih efisien dan terstruktur dalam meningkatkan kapasitas *device* di NB-IoT saat mengakses suatu jaringan.[9]

Tabel 2.2 LTE PRB NB-IoT [9]

LTE Bandwidth (MHz)	LTE PRB
3	2,12
5	2,7,17,22
10	4,9,14,19,30,35,40,45
15	2,7,1,17,22,27,32,42,47,52,57,62,67,72
20	4, 9, 14, 19, 24, 29, 34, 39, 44, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95



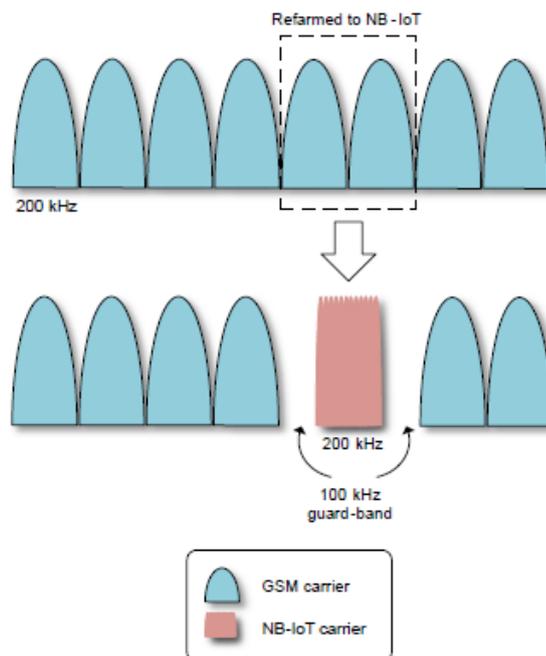
Gambar 2.7 Skema In-Band [8]

2.4.2 Skema Standalone

Pada skema *Standalone* untuk NB-IoT memiliki konsep dapat digunakan sebagai operator yang berdiri sendiri, menggunakan *spectrum* yang tersedia dengan *bandwidth* yang lebih besar dari 180 kHz. Inilah yang disebut dengan *Standalone*. Salah satu *study* kasus mengenai *Standalone* ialah penerapan NB-IoT pada teknologi GSM dimana NB-IoT melakukan *refarming band* pada *spectrum* GSM. Meskipun begitu, tetap dibutuhkan *guard-band* frekuensi antara GSM dengan NB-

IoT. 200 kHz untuk *guard-band* dengan tujuan agar ada batas antara GSM dengan NB-IoT *carrier* diantara penggunaan dua operator.

Guard-band yang direkomendasikan 100 kHz, oleh karena itu dibutuhkan untuk melakukan *refarming* sebanyak 2 *carrier* GSM untuk menempatkan NB-IoT. Pada skema ini, *bandwidth* yang ditampilkan adalah 200 kHz. Ini karena NB-IoT harus memenuhi spektral GSM ketika menggunakan teknologi GSM sesuai dengan kanal yang ada.[8]



Gambar 2.8 Skema Standalone [8]

2.5 ALOKASI BAND FREKUENSI

Pada *Narrowband Internet of Things* (NB-IoT) sendiri yang menggunakan *band* frekuensi LTE release 13 sesuai dengan *standart* 3GPP. Untuk penggunaan frekuensi di Indonesia yaitu pada *Band* 3, *Band* 8 dan *Band* 20.[16]

Tabel 2.3 Band Frekuensi [16]

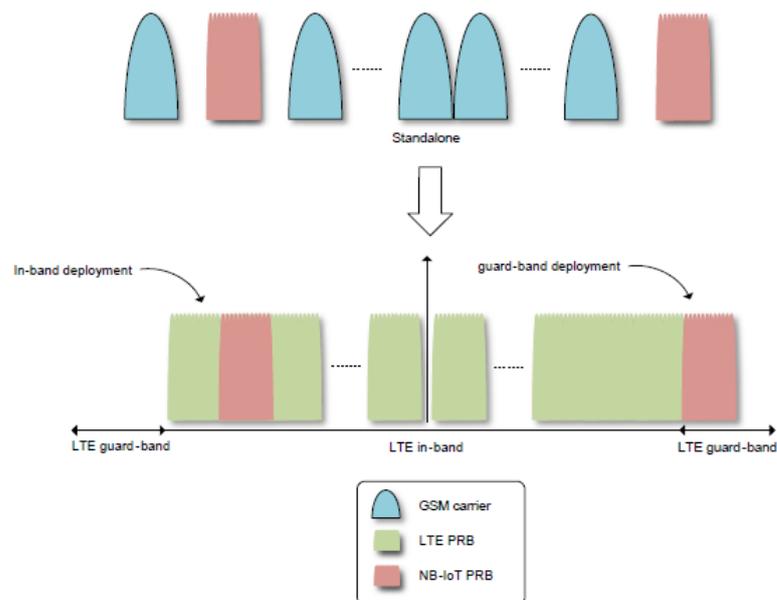
<i>Band</i>	<i>Uplink frequency range /</i>	<i>Downlink frequency range / MHz</i>
1	1920 – 1980	2110 - 2170
2	1850 – 1910	1930 - 1990
3	1710 – 1785	1805 - 1880
5	824 – 849	869 - 894
8	880 – 915	925 - 960

Tabel 2.3 Band Frekuensi [16]

<i>Band</i>	<i>Uplink frequency range / MHz</i>	<i>Downlink frequency range / MHz</i>
12	699 – 716	729 - 746
13	777 – 787	746 - 756
18	815 – 830	860 - 875
19	830 – 845	875 - 890
20	832 – 862	791 - 821
26	814 – 849	859 - 894
28	703 – 748	758 - 803
66	1710 – 1780	2110 - 2200
17	704 – 716	734 - 746

2.5.1 *Spectrum Refarming*

NB-IoT kemungkinan dapat melakukan *refarming* atau melakukan migrasi *spectrum* pada GSM dan operator lainnya secara fleksible. Operator yang dapat melakukan migrasi *spectrum* sebagian kecil dari GSM. Migrasi dilakukan dari GSM ke LTE mendukung untuk skema pada NB-IoT. Migrasi *spectrum* yang dilakukan ialah pada skema *Standalone* dapat menjadi *In-Band* atau *guard-band*, ketika spektrum GSM migrasi ke LTE akan tetapi tetap menggunakan spesifikasi skema *standalone*. [8]



Gambar 2.9 Refarming Band [8]

2.6 PERANCANGAN JARINGAN *COVERAGE*

Perancangan jaringan pada teknologi NB-IoT meliputi perancangan jaringan yang dilakukan dengan menggunakan parameter perancangan yang dimiliki oleh NB-IoT. Perhitungan propagasi yang digunakan dengan tujuan untuk memperoleh jumlah *site* yang dibutuhkan untuk daerah dijadikan *study* kasus.

2.6.1 Model Propagasi

Model propagasi yang dibutuhkan dalam perancangan jaringan NB-IoT ini adalah model propagasi Okumura Hatta yang merupakan model propagasi *outdoor* yang biasanya digunakan pada *range* frekuensi 150 MHz sampai 1500 MHz. Adapun persamaan dari model propagasi ini dapat dilihat sebagai berikut [18]:

$$L_{urban} = 69,55 + 26,16 \log fc - 13,82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44,9 - 6,55 \log h_{te}) \log d \quad (2.1)$$

Dimana :

fc : frekuensi dari 150 MHz sampai 1500 MHz

h_{te} : tinggi efektif dari *eNodeB* dengan kisaran 30 m sampai 200 m

h_{re} : tinggi efektif *antenna* UE dari 1 m hingga 10 m

d : jarak antara *eNodeB* dengan UE (km)

$a(h_{re})$: merupakan faktor koreksi untuk tinggi efektif antena UE.

Faktor koreksi yang diperoleh untuk daerah perkotaan dengan luas daerah kecil hingga menengah menggunakan persamaan (2-2) sebagai berikut :

$$a_{(hre)} = (1,1 \log fc - 0,7)h_{re} - (1,56 \log fc) - 0,8 \quad (2.2)$$

Sedangkan, untuk daerah perkotaan yang memiliki daerah yang cukup luas, perhitungan faktor koreksi akan dilakukan menggunakan persamaan (2.3) dan (2.4) sebagai berikut [18]:

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

$$a_{(hre)} = 3,2 [(\log(11,75 h_{re}))]^2 - 4,79 ; \text{ untuk } f \geq 300 \text{ MHz} \quad (2.4)$$

Beberapa hal lainnya yang perlu di perhatikan dalam parameter perhitungan propagasi di NB-IoT ialah sebagai berikut.

1. *Effective noise power*

Effective noise power merupakan efektifitas daya atau kekuatan daya yang dimiliki suatu *antenna* yang dipancarkan berdasarkan nilai koreksi *noise* yang diperoleh.[19]

2. *Receiver sensitivity*

Receiver sensitivity merupakan definisi nilai minimum dari sensitifitas daya terima dari sisi penerima pada saluran transmisi. [19]

3. *Maximum Coupling Loss*

Maximum Coupling Loss merupakan nilai dari cakupan terjauh antara sebuah *transmitter* dan *receiver* pada *downlink* dan *uplink* dengan satuan dB.[19]

2.6.2 Estimasi Jumlah Site

Perhitungan jumlah *site* dapat dilakukan dengan mengetahui luas cakupan *cell* terlebih dahulu. Berikut merupakan persamaan untuk mencari luas *cell*. [21]

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

Dimana :

L_{cell} : luas cakupan *cell*

d : radius *cell*

$$Jumlah\ Cell = \frac{L_{Area}}{L_{cell}} \quad (2.6)$$

Dimana :

L_{Area} : luas area perencanaan

L_{cell} : luas cakupan *cell*

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

2.7 PERFORMANSI KAPASITAS

Kapasitas merupakan salah satu tolak ukur dalam performansi suatu jaringan. Hal ini dilakukan guna memperkirakan seberapa besar *user* ataupun *device* yang dapat dilayani dan terbung . Adapun parameter yang dianalisa dalam performansi kapasitas ialah *Throughput* maksimal yang diperoleh serta jumlah *device user connected*. [14].

2.7.1 Perhitungan Kapasitas

Dalam analisis performansi LTE NB-IoT secara kapasitas dibutuhkan estimasi jumlah *subscriber/density*. Untuk mengetahui nilai dari jumlah *subscriber*. Maka, dibutuhkan beberapa nilai parameter yang diperoleh dari perhitungan. Adapun beberapa perhitungan untuk menentukan jumlah *subscriber* adalah sebagai berikut : [6]

1. Persentase (%) Penduduk

Persentase (%) jumlah penduduk yang dimaksud adalah, persentase jumlah penduduk di DKI Jakarta terhadap jumlah penduduk yang ada di Indonesia. Adapun perhitungan untuk mencari nilai persentase penduduk (%) dapat dilihat pada persamaan (2.8) [6].

$$\text{Persentase (\%)} = \frac{\text{Jumlah Penduduk Jakarta}}{\text{Jumlah Penduduk Indonesia}} \times 100 \quad (2.8)$$

2. Estimasi IoT Device

Perhitungan estimasi IoT *device* dilakukan untuk mengetahui jumlah IoT *device* yang ada di suatu area. Adapun perhitungan estimasi IoT *device* dapat dilihat pada persamaan (2.9) [6].

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

3. Jumlah User/Density (km²)

Jumlah *user/density* yang dimaksud adalah jumlah *user/km²* yang ada pada area tersebut. Adapun perhitungan untuk mencari nilai jumlah *user/density* dapat dilihat pada persamaan (2.10) [6].

$$\text{Jumlah user} = \frac{\text{jumlah penduduk jakarta}}{\text{Luas jakarta}} \quad (2.10)$$

4. Jumlah IoT Device Per Users

Jumlah *device* per *user* yang dimaksud adalah estimasi jumlah *device* IoT yang digunakan atau yang dimiliki setiap *user*. Adapun perhitungan untuk mencari nilai jumlah *device* per *user* dapat dilihat pada persamaan (2.11)[6].

$$\text{Jumlah IoT Device Per User} = \frac{\text{Jumlah IoT device Jakarta}}{\text{Jumlah Penduduk Jakarta}} \quad (2.11)$$

5. Subscriber Device

Subscriber device adalah jumlah *device* berdasarkan luas cakupan area yang akan disimulasikan. Adapun perhitungan untuk memperoleh jumlah *subscriber device* dapat dilihat pada persamaan (2.12)[6].

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

2.7.2 Downlink Throughput

Perhitungan *downlink throughput* ialah untuk mengetahui nilai *throughput* maksimal yang diperoleh pada suatu *site*. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung nilai *downlink throughput*. [24]

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

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* = 396 (*cell existing*)

Throughput cell = nilai *throughput per cell*

2.8 PERFORMANSI COVERAGE

Performansi *coverage* yang dilakukan pada perancangan jaringan NB-IoT ialah dengan melihat parameter yang digunakan untuk mengukur kualitas dari cakupan NB-IoT dengan melihat parameter performansi diantaranya ialah RSRP, SINR dan BLER.

2.8.1 Reference Signal Receive Power (RSRP)

RSRP merupakan kuat sinyal yang diterima oleh *User Equipment* (UE). Nilai RSRP merupakan *power* sinyal *reference* yang digunakan untuk menunjukkan bagus tidaknya *coverage* jaringan pada suatu daerah.[21]

Tabel 2.4 Nilai RSRP [22]

Keterangan	Nilai
<i>Very Good</i>	$\leq - 80$ dBm
<i>Good</i>	≤ -95 dBm
<i>Bad</i>	$\leq - 110$ dBm

2.8.2 Signal to Interference Noise Ratio (SINR)

SINR adalah perbandingan kuat sinyal dengan *noise* interferensi dari *resource* yang lain. Parameter ini menunjukkan level daya minimum dimana *user* masih bisa melakukan suatu panggilan.[21]

Tabel 2.5 Nilai SINR[23]

Keterangan	Nilai
<i>Good</i>	$SINR \geq - 1$ dB
<i>Bad</i>	$SINR \leq -1$ dB

2.8.3 Block Error Rate (BLER)

BLER adalah *rasio error block* data yang salah, terhadap jumlah total error pada *block* data yang ditransmisikan. BLER digunakan untuk mengukur jumlah data informasi yang error pada *frame* di NB-IoT. BLER dikatakan bagus apabila nilainya semakin kecil atau kurang dari 10%.[8]