

## BAB II

### DASAR TEORI

#### 2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian[3] memfokuskan pada pendekatan metode *empirical models* dimana penggunaan frekuensi mmWave disimulasikan pada model *indoor office environment indoor* untuk kebutuhan alokasi pemilihan frekuensi mmWave. Selain itu, penelitian ini juga membandingkan penggunaan frekuensi mmWave di 60GHz, 38GHz, 28GHz, dan 5GHz dan penggunaan *unlicensed 2,4GHz* yang sudah digunakan secara bebas untuk penerapan frekuensi untuk keperluan ISM (*Industrial Scientific Medical*). Simulasi dilakukan dengan menggunakan *Software Radio Propagation Simulator*. Dari hasil simulasi dengan penempatan *Indoor Hotspot (InH)* pada setiap ruangan dengan ukuran dinding beton 5x5 meter, didapatkan bahwa akan lebih efektif jika menggunakan frekuensi di domain 60 GHz, dibandingkan dengan frekuensi 38 GHz, 28 GHz, dan 5 GHz maupun frekuensi unlicensed 2,4 GHz.

Penelitian [4] menggunakan skenario dimensi jaringan 5G untuk mencapai data rate yang ditargetkan dan sesuai standar di suatu lokasi dengan kepadatan pengguna jaringan telekomunikasi yang cukup tinggi. Terdapat tiga skenario antena (*Multi-Input Multi-Output*) MIMO yang berbeda pada penelitian ini. Penelitian ini difokuskan pada jaringan *femtocell* yang merupakan *small base station* (akses poin) yang didesain untuk penggunaan indoor dengan konsumsi daya yang rendah. Dari hasil simulasi diperoleh bahwa dengan konfigurasi MIMO 16X16, sistem jaringan telah mampu menyediakan *data rate* sebesar 1Gbps untuk semua pengguna, dan menunjukkan hasil yang paling baik dibandingkan konfigurasi MIMO 4X4 dan MIMO 8X8..

Penelitian [5] membahas mengenai perancangan jaringan berdasarkan cakupan wilayah pada frekuensi mmWave 28 GHz dengan menggunakan model propagasi *Urban Micro (UMi)* dan skenario yang digunakan sebanyak 8 buah untuk kondisi *uplink* dan *downlink*; *outdoor-to-outdoor* (O2O) dan *outdoor-to-indoor* (O2I); serta *line of sight* (LOS) dan *non-line*

*of sight* (NLOS). Pada hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk mengakomodasi trafik yang terdapat di kawasan industri Pulogadung, skenario 8 (*downlink-O2I-NLOS*) memiliki nilai rata-rata SS-RSRP yang tertinggi, yaitu sebesar -74,45 dBm dan nilai rata-rata SS-RSRP yang terendah dihasilkan oleh skenario 1 (*uplink-O2O-LOS*), yaitu sebesar -99,54 dBm. Hal ini dikarenakan pada skenario 8 memiliki jumlah *site* terbanyak untuk mencakup area perencanaan.

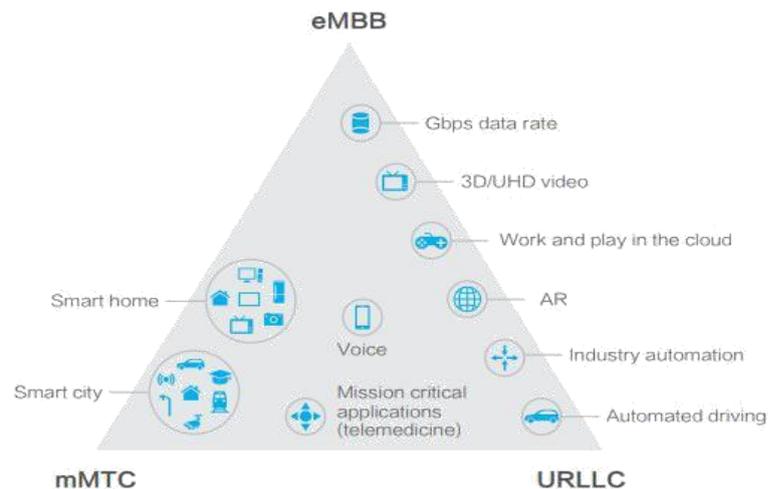
Penelitian [6] membahas mengenai perancangan jaringan berdasarkan cakupan wilayah pada frekuensi *mmWave* 3,5 GHz dengan menggunakan model propagasi *Urban Micro* (UMa) dan skenario yang digunakan sebanyak 8 buah untuk kondisi *uplink* dan *downlink*; *outdoor-to-outdoor* (O2O) dan *outdoor-to-indoor* (O2I); serta *line of sight* (LOS) dan *non-line of sight* (NLOS). Pada hasil simulasi menunjukkan bahwa untuk mengakomodasi trafik yang terdapat di kawasan industri Pulogadung, , Skenario 7 (*downlink-O2I-NLOS*) memiliki rata-rata SS-RSRP yang tertinggi, yaitu sebesar -74,65 dBm dan nilai rata-rata SS-RSRP yang terendah dihasilkan oleh Skenario 2 (*uplink-O2O-LOS*), yaitu sebesar -95,014 dBm. Nilai rata-rata SS-RSRP dipengaruhi oleh jumlah *site* yang mencakup area perencanaan sehingga pada skenario 7 memiliki nilai parameter SS-RSRP paling tinggi.

## 2.2 Dasar Teori

### 2.2.1 Teknologi 5G

5G merupakan singkatan dari 5<sup>th</sup> *Generation* yang digunakan untuk menunjuk kepada generasi kelima dari teknologi telekomunikasi seluler . 5G dapat menjawab tantangan kebutuhan konsumen akan kecepatan data yang tinggi demi kenyamanan bertelekomunikasi. *International Telecommunication Union* (ITU) telah mengklasifikasikan layanan jaringan seluler 5G ke dalam tiga kategori: *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Ultra-reliable and Low-latency Communications* (uRLLC), dan *Massive Machine Type Communications* (mMTC). eMBB bertujuan untuk memenuhi

permintaan masyarakat akan hal yang semakin meningkat gaya hidup digital, dan berfokus pada layanan yang memiliki persyaratan bandwidth tinggi, seperti sebagai video definisi tinggi (HD), *virtual reality* (VR), dan *augmented reality* (AR). URLLC bertujuan untuk memenuhi harapan industri digital yang penuh tuntutan dan berfokus pada latensi-sensitif layanan, seperti mengemudi yang dibantu dan otomatis, dan manajemen jarak jauh. mMTC bertujuan untuk memenuhi tuntutan untuk masyarakat digital yang dikembangkan lebih lanjut dan berfokus pada layanan yang mencakup persyaratan tinggi untuk kepadatan koneksi, seperti *smart city* dan *smart agriculture*[7].



Gambar 2.1. Tiga jenis layanan utama 5G[8]

### 2.2.2 Visi Teknologi 5G

Sampai dengan saat ini teknologi 5G dalam bidang telekomunikasi masih belum ditetapkan standar yang berlaku di dunia, meskipun begitu para pelaku telekomunikasi di berbagai belahan dunia telah berlomba-lomba untuk mencari teknologi yang dapat memenuhi persyaratan minimal dimana teknologi tersebut dapat dikatakan sebagai teknologi 5G[9]. Target teknologi 5G secara umum sebagai berikut [10]:

1. *Data rates* yang tinggi (1-10 Gbps).

2. Memiliki latensi dibawah 1 ms.
3. Biaya dan energi yang efisien (cost & energy efficiency).
4. 1000x kapasitas saat ini.
5. Cakupan yang luas dengan menggunakan jaringan heterogen.
6. Konektivitas yang stabil.

Jaringan seluler akan semakin menjadi sarana utama jaringan akses untuk konektivitas *person-to-person* dan *person-to-machine*. Jaringan ini harus mencocokkan kemajuan dalam jaringan tetap dalam hal memberikan kualitas layanan, keandalan, dan keamanan. Untuk melakukannya, teknologi 5G harus mampu menghasilkan kecepatan 10 Gb/s untuk memungkinkan membuatnya *ultra-high definition* komunikasi visual dan imersif interaksi multimedia. Teknologi ini akan bergantung pada *ultra-wide bandwidth* dengan latensi *sub-milisecond*. Tiga persyaratan mendasar untuk membangun jaringan nirkabel 5G adalah sebagai berikut[7]:

- 1) Kemampuan untuk mendukung kapasitas besar dan konektivitas besar.
- 2) Dukungan untuk serangkaian layanan, aplikasi, dan pengguna yang semakin beragam dengan persyaratan yang sangat berbeda untuk pekerjaan dan kehidupan
- 3) Penggunaan yang fleksibel dan efisien untuk semua spektrum non-berdekatan yang tersedia untuk skenario penyebaran jaringan yang sangat berbeda

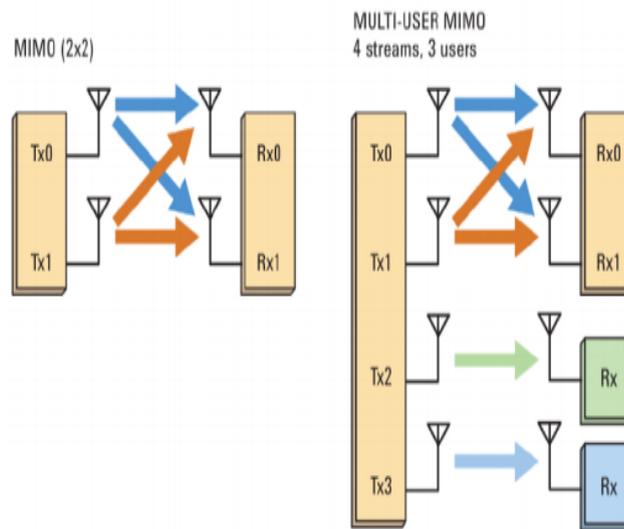
### **2.2.3 Perkembangan Teknologi 5G**

Dalam teknologi telekomunikasi seluler, teknologi 5G bukan merupakan standar yang merevolusi teknologi generasi sebelumnya. Standar-standar terkait teknologi 5G yang akan muncul nantinya akan mengubah beberapa regulasi telekomunikasi karena regulasi tersebut akan menjadi usang. Beberapa teknik akses dalam jaringan yang sudah ada membutuhkan perbaikan mendadak. Namun arus teknologi seperti OFDMA akan terus dapat bekerja setidaknya untuk 50 tahun

ke depan. diasumsikan bahwa jaringan seluler 5G harus menangani enam tantangan yang tidak ditangani secara efektif oleh 4G yaitu kapasitas yang lebih tinggi, laju data yang lebih tinggi, latensi end to end yang lebih rendah, konektivitas perangkat besar, pengurangan biaya, dan kualitas pengalaman yang konsisten. Beberapa teknologi yang searah dengan teknologi 5G[11]:

1. *Massive MIMO*

Salah satu teknologi yang digunakan dalam usulan 5G adalah *Massive MIMO*. MIMO sendiri sudah dipakai dalam teknologi 4G, dimana dalam tiap stasiun pemancar/penerima menggunakan antena lebih dari satu. Misal konfigurasi MIMO 2x2 berarti di sisi pemancar dan penerima masing-masing memiliki 2 antena. Pada LTE-A, konfigurasi MIMO paling banyak yakni 8 antena[12].



Gambar 2.2 Sistem MIMO[12].

2. *Millimeter wave (mmWave)*

Pita frekuensi *MmWave*, yang juga dikenal sebagai *Extremely High Frequency (EHF)* atau *Very High Frequency (VHF)* oleh *International Telecommunications Union (ITU)*, adalah pita spektrum dari kisaran 30 hingga 300 GHz. *mmWave* terletak di antara *Super High Frequency band* dan *Far-infrared band*, bagian bawahnya juga disebut sebagai celah

*terahertz*. Gelombang radio dalam pita frekuensi *mmWave* memiliki panjang gelombang mulai dari 10 hingga 1 mm, sehingga disebut *millimeter band*. Tingginya frekuensi gelombang milimeter serta karakteristik propagasi yang khusus membuat mereka berguna untuk berbagai aplikasi termasuk transmisi data dalam jumlah besar pada jaringan komputer, komunikasi seluler, dan radar.

3. *Advanced Radio Access Networks (RANs) : Heterogeneous Networks (HetNets)*

HetNet mengacu pada penyediaan jaringan seluler melalui kombinasi dari berbagai jenis sel (misalnya makro, piko atau sel femto) dan teknologi akses yang berbeda yaitu 2G, 3G, 4G, Wi-fi [13]. Dalam HetNet, koordinasi *antara Macro cell (MC)* dan *Small Cell (SC)* memiliki dampak positif pada kinerja jaringan yang terkandung di dalamnya. “Dengan mengintegrasikan sejumlah teknologi yang beragam tergantung pada topologi area cakupan, operator dapat berpotensi memberikan pengalaman pelanggan yang lebih konsisten dibandingkan dengan apa yang dapat dicapai dengan jaringan homogen

#### **2.2.4 Klasifikasi Spektrum 5G**

Dalam paparannya, GSMA bersama dengan ITU-R mengklasifikasikan spektrum frekuensi yang dialokasikan pada jaringan 5G dalam tiga klasifikasi utama, yaitu [14]:

- a. Spektrum dibawah 1 GHz, (Sub 1 GHz). Pada klasifikasi ini, teknologi 5G dapat memanfaatkan *legacy network 2G/3G/4G*, karakteristik pada spektrum ini adalah penyediaan jaringan di urban, suburban dan rural secara lebih luas dan dapat mendukung layanan IoT. Karakteristik frekuensi pada *range*

dibawah 1 GHz adalah dapat mencapai cakupan yang sangat luas sehingga cocok bagi implementasi IoT.

- b. Spektrum 1 – 6 GHz, karakteristik pada rentang spektrum ini merupakan pilihan yang ideal antara *capacity* dan *cakupan*. Seperti kita ketahui bersama antara *cakupan* dan kapasitas merupakan dua barometer yang saling bertolak belakang, pada spektrum ini kedua hal tersebut dapat dikompromikan. *Range* spektrum ini pula yang diperkirakan menjadi pilihan awal bagi para operator untuk menggelar aringan 5G-nya, yaitu pada *range* 3.3 – 3.8 GHz.
- c. Spektrum diatas 6 GHz, pada range inilah implementasi *ultra-high broadband speed* dapat diwujudkan dan dapat bekerja secara ideal, saat ini frekuensi 26 GHz dan 28 GHz merupakan spektrum yang paling banyak dialokasikan oleh dunia internasional. ITU dalam konferensi *World Radio Communication* tahun 2019 akan memfokuskan untuk menyusun perjanjian internasional penggunaan frekuensi diatas 24 GHz.

#### **2.2.5 Perencanaan Cakupan Area**

Perencanaan cakupan area merupakan suatu perencanaan dalam membangun jaringan di suatu wilayah tertentu dengan objeknya berupa luas wilayah. Pada perancangan tugas akhir ini, perencanaan cakupan area bertujuan untuk memperhitungkan luas jangkauan sebuah *site* berdasarkan luas wilayah perancangan sehingga dapat menentukan jumlah *site* yang ideal dengan cara melakukan perhitungan berdasarkan luas wilayah tersebut yang akan digunakan dalam simulasi.

#### **2.2.6 Link Budget**

Perhitungan *power link budget* merupakan perhitungan yang menghitung semua penguatan dan rugi-rugi pemancar, melalui suatu

medium (*free space*, kabel, *wave guide*, serat optik, dan lain-lain) ke penerima dalam sistem telekomunikasi. *Link budget* mempertimbangkan berbagai *attenuation* disebabkan propagasi, begitu pula dengan antena *gain*, *fading*, dan rugi-rugi lainnya.

Tabel 2.1 Parameter Link budget frekuensi 3,5 GHz[6]

| <i>Comment Parameter</i>              | <i>Notasi</i> | <i>Uplink Calculation</i> |            | <i>Downlink Calculation</i> |            |
|---------------------------------------|---------------|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|
|                                       |               | <b>O2O</b>                | <b>O2I</b> | <b>O2O</b>                  | <b>O2I</b> |
| <i>gNodeB transmitter power (dBm)</i> | A             | 49                        |            | 49                          |            |
| <i>Resource block</i>                 | B             | 273                       |            | 273                         |            |
| <i>Subcarrier quantity</i>            | C             | 3276                      |            | 3276                        |            |
| <i>gNodeB antenna gain (dBi)</i>      | D             | 2                         |            | 2                           |            |
| <i>gNodeB cable loss(dBi)</i>         | E             | 0                         |            | 0                           |            |
| <i>Penetration loss (dB)</i>          | F             | 26,85                     |            | 26,85                       |            |
| <i>Foliage loss (dB)</i>              | G             | 19,59                     |            | 19,59                       |            |
| <i>Body block loss (dB)</i>           | H             | 3                         |            | 3                           |            |
| <i>Interference margin (dB)</i>       | I             | 2                         |            | 6                           |            |
| <i>Rain/ice margin (dB)</i>           | J             | 0                         |            | 0                           |            |
| <i>Slow fading margin (dB)</i>        | K             | 7                         | 8          | 7                           | 8          |
| <i>UT antenna gain (dB)</i>           | L             | 0                         |            | 0                           |            |
| <i>Bandwidth (MHz)</i>                | M             | 100                       |            | 100                         |            |
| <i>Konstanta boltzman (mWs/K)</i>     | N             | $1,38 \times 10^{-20}$    |            | $1,38 \times 10^{-20}$      |            |
| <i>Suhu (Kelvin)</i>                  | O             | 293°                      |            | 293°                        |            |
| <i>Thermal noise power (dBm)</i>      | P             | -153,93                   |            | -156,16                     |            |
| <i>UT noise figure (dB)</i>           | Q             | 7                         |            | 7                           |            |
| <i>SINR (dB)</i>                      | R             | -1,1                      |            | -1,1                        |            |

Tabel 2.2 Parameter Link budget frekuensi 28 GHz[5]

| <i>Comment Parameter</i>             | <i>Notasi</i> | <i>Uplink Calculation</i> |            | <i>Downlink Calculation</i> |            |
|--------------------------------------|---------------|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|
|                                      |               | <b>O2O</b>                | <b>O2I</b> | <b>O2O</b>                  | <b>O2I</b> |
| <i>gNodeB transmiter power (dBm)</i> | A             | 35                        |            | 35                          |            |
| <i>Resource block</i>                | B             | 132                       |            | 132                         |            |
| <i>Subcarrier quantity</i>           | C             | 1584                      |            | 1584                        |            |
| <i>gNodeB antenna gain (dBi)</i>     | D             | 2                         |            | 2                           |            |
| <i>gNodeB cable loss(dBi)</i>        | E             | 0                         |            | 0                           |            |
| <i>Penetration loss (dB)</i>         | F             | 12,23                     |            | 12,23                       |            |
| <i>Foliage loss (dB)</i>             | G             | 5                         |            | 5                           |            |
| <i>Body block loss (dB)</i>          | H             | 15                        |            | 15                          |            |
| <i>Interference margin (dB)</i>      | I             | 0,5                       |            | 1                           |            |
| <i>Rain/ice margin (dB)</i>          | J             | 3                         |            | 3                           |            |
| <i>Slow fading margin (dB)</i>       | K             | 7                         | 8          | 7                           | 8          |
| <i>UT antenna gain (dB)</i>          | L             | 0                         |            | 0                           |            |
| <i>Bandwidth (MHz)</i>               | M             | 100                       |            | 100                         |            |
| Konstanta <i>boltzman</i> (mWs/K)    | N             | $1,38 \times 10^{-20}$    |            | $1,38 \times 10^{-20}$      |            |
| Suhu (Kelvin)                        | O             | 293°                      |            | 293°                        |            |
| <i>Thermal noise power (dBm)</i>     | P             | -155,93                   |            | -154,93                     |            |
| <i>UT noise figure (dB)</i>          | Q             | 7                         |            | 7                           |            |
| <i>SINR (dB)</i>                     | R             | -1,1                      |            | -1,1                        |            |

Keterangan :

*gNodeB transmit power* = Kemampuan daya pemancar pada perangkat gNodeB.

|                            |  |
|----------------------------|--|
| <i>subcarrier quantity</i> | = Membawa daya rata-rata <i>subcarrier signal</i>  |
| <i>gNodeB antenna gain</i> | = Penguatan daya antenna pada sisi perangkat <i>gNodeB</i> .   |
| <i>gNodeB cable loss</i>   | = Sisipan <i>loss</i> total pada sistem transmisi kabel <i>GnodeB</i> .  |
| <i>Path loss</i>           | = Level sinyal yang melemah akibat propagasi <i>free space loss</i> .  |
| <i>penetration loss</i>    | = Menunjukkan sinyal radio yang melemah dari <i>indoor terminal</i> ke <i>base station</i> karena terhalang bangunan.                                      |
| <i>foliage loss</i>        | = Dalam <i>mmWave</i> , <i>foliage loss</i> disebabkan oleh peningkatan redaman yang signifikan dalam perancangan <i>link</i> radio                        |
| <i>body block loss</i>     | = <i>loss</i> yang disebabkan karena lokasi UE yang rendah dan volume luas trafik  |
| <i>interference margin</i> | = sensitifitas penerima untuk mengatasi peningkatan <i>noise floor</i> yang disebabkan oleh interferensi dari sel tetangga                                 |
| <i>rain/ice margin</i>     | = Batas <i>margin</i> yang disediakan untuk mengatasi kemungkinan pelemahan sinyal yang disebabkan oleh hujan, salju, dan es.                              |
| <i>slow fading margin</i>  | = Parameter ini mengacu pada batas <i>margin</i> yang diperbolehkan untuk memastikan probabilitas tingkat cakupan tertentu untuk pengukuran jangka panjang |
| <i>UE antenna gain</i>     | = Penguatan antena pada perangkat UE   |
| <i>Thermal noise power</i> | = Daya derau termal yang bergantung pada <i>bandwidth</i> dan suhu lingkungan  |
| <i>UE noise figure</i>     | = Daya derau termal yang bergantung  |

pada *bandwidth* dan suhu lingkungan  
*demodulation threshold* = Ambang batas demodulasi *Signal*  
*SINR* *interference to noise ratio*

### 2.2.7 Model propagasi Urban Macro (Uma)

Uma dengan *Outdoot to Outdoor* (O2O) dan ini mirip dengan skenario 3D-UMa dimana *Base station* dipasang diatas tingkat *rooftop* bangunan sekitarnya dengan tinggi Tx biasanya sekitar 25m, tinggi Rx sekitar 1.5-2.5 m dan ISD sebesar 500 m. Persamaan *pathloss* pada model propagasi *Urban Macro* (UMa) untuk kasus *Line of Sight* (LOS) dan *Non-Line of Sight* (NLOS) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1) hingga (2.5)[15] :

$$P_{L-UMA-LOS} = \begin{cases} L_{P1}(10m \leq d_{2D} \leq d_{BP}) \\ L_{P2}(d_{BP} \leq d_{2D} \leq 5km) \end{cases} \quad (2.1)$$

LOS (*line of sight*)[15] :

$$P_{L1-UMA-LOS} = 28.0 + 22 \log(d_{3D}) + 20 \log(f_c) \quad (2.2)$$

$$P_{L2-UMA-LOS} = 28.0 + 40 \log(d_{3D}) + 20 \log(f_c) - 9 \log((d'_{BP})^2 + (h'_{BS} - h'_{UT})^2) \quad (2.3)$$

NLOS (*Non-Line of Sight*) [15]:

$$P_{L-UMA-NLOS} = \max(L_{P1-UMA-LOS}, L_{P2-UMA-LOS}) \quad (2.4)$$

Untuk,  $10 \text{ m} \leq d_{2D} \leq 5 \text{ km}$

$$P_{L-UMA-NLOS} = 13.5 + 39.08 \log(d_{3D}) + 20 \log(f_c) - 0,6(h_{UT} - 1,5) \quad (2.5)$$

Keterangan

$P_{L1-2}$  = *Pathloss* (dBm)

$d_{3D}$  = Resultan dari nilai  $(h'_{BS}-h'_{UT})$  (m)

$d_{2D}$  = Jarak antara pemancar dan penerima/jari-jari cell

$d'_{BP}$  = Jarak *breakpoint* (m)

$f_c$  = Frekuensi (GHz)

$h_{BS}$  = Tinggi dari *Base station* gNodeB (m)

$h'_{BS}$  = Tinggi antenna *Base station* gNodeB (m)

$h_{UT}$  = Tinggi *user transmision* (m)

$h'_{UT}$  = Tinggi antenna *user transmision* (m)

Untuk mendapatkan nilai  $d_{3d}$  dari rumus *Pathloss* diatas diperlukan nilai  $d'_{BP}$ , nilai  $h_{BS}$  dan nilai  $h_{UT}$  terlebih dahulu, dengan rumus di bawah ini [13] :

$$h'_{BS} = h_{BS} - h_E \quad (2.6)$$

$$h'_{UT} = h_{UT} - h_E \quad (2.7)$$

$$d'_{BP} = \frac{4 \times h'_{BS} \times h'_{UT} \times f_c}{c} \quad (2.8)$$

### 2.2.8 Skenario perencanaan cakupan 5G

- 1) Skenario *Uplink*, dimana sinyal transmisi dipancarkan dari arah *user* menuju *base station*.
- 2) Skenario *Downlink*, dimana sinyal transmisi dipancarkan dari arah *base station* menuju *user*.
- 3) Skenario *Outdoor-to-Outdoor* (O2O), kondisi dimana *base station* dan *user* berada di luar ruangan (*outdoor*).
- 4) Skenario *Outdoor-to-Indoor* (O2I), kondisi dimana *base station* berada di luar ruangan (*outdoor*) dan *user* berada di dalam ruangan (*indoor*).
- 5) Skenario *Line of Sight* (LOS), kondisi dimana jalur transmisi sinyal di antara pengirim (Tx) dengan penerima (Rx) tanpa ada penghalang / *obstacle*.
- 6) Skenario *Non - Line of Sight* (NLOS), kondisi dimana jalur transmisi sinyal di antara pengirim (Tx) dengan penerima (Rx) terdapat penghalang / *obstacle*.