

BAB II

TEKNOLOGI MOBILE WIMAX SERTA POSISI PT. TELKOMSEL DALAM PROGRAM USO

2.1 Pengenalan Teknologi Mobile WiMAX

Jaringan yang akan dibahas pada tesis ini adalah jaringan *Mobile WiMAX* yang dikategorikan ke dalam jaringan *Broadband Wireless Access* (BWA). *Mobile WiMAX* berdasarkan standar IEEE 802.16e-2005 yang dapat beroperasi pada band spektrum 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz, dan 3,4 – 3,8 GHz [5]. Semua perangkat *mobile WiMAX* akan mendukung *handoff* dan mekanisme *power saving*. Fungsionalitas lebih lanjut yang lain akan ditambahkan secara bertahap hingga akhir 2007 dalam mendukung *handoff* kecepatan tinggi, *roaming*, teknologi *multiple antenna* seperti MIMO dan *beamforming*.

Penggunaan teknik diversitas antena MIMO, *advanced coding* dan modulasi, memungkinkan *Mobile WiMAX* untuk mendukung laju data maksimum hingga 63 Mbps pada *downlink* per sektor dan laju data hingga 28 Mbps pada *uplink* per sektor dengan *bandwidth* sebesar 10 MHz [6].

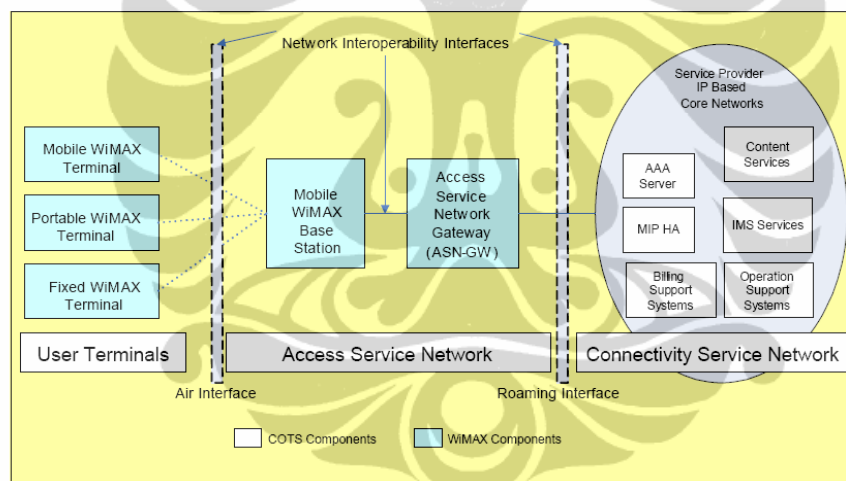
2.1.1 Arsitektur Mobile WiMAX

WiMAX dapat mendukung beberapa sistem arsitektur, termasuk *Point-to-Point* dan *Point-to-MultiPoint*. *Media Access Control* (MAC) WiMAX akan memberikan suatu *time slot* kepada masing-masing *Subscriber Station* (SS) dan koneksinya akan menjadi *Point-to-Point* jika hanya terdapat satu SS di dalam jaringan. Terdapat beberapa prinsip yang menjadi panduan dalam pengembangan arsitektur WiMAX :

1. Arsitekturnya berdasarkan *packet switched*.
2. Dapat digunakannya *decoupling* (struktur bergandeng) terhadap arsitektur akses dan topologi.
3. Arsitektur yang bersifat modular dan fleksibel dalam mengakomodasi pengembangan yang lebih luas seperti :

- Dari skala kecil hingga skala besar (*radio coverage* dan kapasitas sistem yang jarang hingga padat) jaringan WiMAX.
- Lingkungan propagasi *radio* untuk area *Urban*, *Suburban*, dan *Rural*.
- Band frekuensi *Licensed* dan *Unlicensed*.
- Topologi hirarki, *flat*, atau *mesh*, dan juga varian-variannya.
- Koeksistensi dari model penggunaan layanan *fixed*, *nomadic*, *portable*, dan *mobile*.

Connectivity Service Network (CSN) didefinisikan sebagai suatu set fungsi jaringan yang menyediakan layanan konektivitas berbasis IP kepada pelanggan WiMAX. CSN terdiri dari beberapa elemen jaringan seperti *router*, *AAA proxy/server*, *user database* dan *gateway interworking*. *Interoperability* dapat memungkinkan adanya penggunaan beberapa perangkat dari berbagai vendor dalam suatu operator WiMAX.



Gambar 2.1. Arsitektur Jaringan Mobile WiMAX [6]

2.1.2 Physical Layer

2.1.2.1 Dasar-Dasar OFDMA

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) merupakan teknik *multiplexing* yang membagi *bandwidth* ke dalam beberapa *subcarrier*. Pada sistem OFDM, data inputan dibagi ke dalam beberapa *sub-stream* paralel yang akan mengurangi laju data (sehingga akan meningkatkan durasi simbol) dan masing-masing *sub-stream* dimodulasi dan ditransmisikan oleh *sub-carrier*

orthogonal yang terpisah. Penambahan durasi simbol akan meningkatkan tingkat *robust* OFDM terhadap *delay spread*.

2.2.2.2 Struktur Simbol OFDMA dan Sub-Channelization

Struktur simbol OFDMA terdiri dari 3 tipe *sub-carrier* :

- *Data Sub-Carrier* untuk transmisi data
- *Pilot Sub-Carrier* untuk tujuan estimasi dan sinkronisasi
- *Null Sub-Carrier* untuk tanpa transmisi, yang digunakan untuk *guard band* dan *DC carrier*.

2.1.2.3 Scalable OFDMA

IEEE 802.16e-2005 disusun berdasarkan konsep *Scalable OFDMA* (S-OFDMA) yang telah mendukung *bandwidth* lebar yang secara fleksibel dapat digunakan pada beberapa alokasi spektrum. Skalabilitas tersebut dapat digunakan dengan menambahkan ukuran FFT pada spasi frekuensi *sub-carrier* 10,94 KHz.

Tabel 2.1 Parameter Skalabilitas OFDMA [6]

| Parameters | Values | | | |
|------------------------------------|-------------------|-----|------|------|
| System Channel Bandwidth (MHz) | 1.25 | 5 | 10 | 20 |
| Sampling Frequency (F_p in MHz) | 1.4 | 5.6 | 11.2 | 22.4 |
| FFT Size (N_{FFT}) | 128 | 512 | 1024 | 2048 |
| Number of Sub-Channels | 2 | 8 | 16 | 32 |
| Sub-Carrier Frequency Spacing | 10.94 kHz | | | |
| Useful Symbol Time ($T_b = 1/f$) | 91.4 microseconds | | | |

| Parameters | Values |
|---|--------------------|
| Guard Time ($T_g = T_b/8$) | 11.4 microseconds |
| OFDMA Symbol Duration ($T_s = T_b + T_g$) | 102.9 microseconds |
| Number of OFDMA Symbols (5 ms Frame) | 48 |

2.1.2.4 Struktur Frame TDD

Physical Layer 802.16e mendukung mode TDD dan *Full* serta *Half-Duplex FDD*, akan tetapi pada tahap awal sertifikasi Mobile WiMAX hanya akan memasukkan TDD. Mode FDD akan diperhitungkan oleh WiMAX Forum dengan melihat kebijakan regulator spektrum frekuensi pada masing-masing wilayah.

Untuk mengatasi isu interferensi, TDD memerlukan sinkronisasi. Akan tetapi, TDD lebih dipilih sebagai mode *duplexing* dengan alasan [6] :

- TDD memungkinkan penambahan rasio DL/UL untuk secara efisien mendukung trafik asimetris DL/UL; dimana pada mode FDD, DL/UL selalu tetap dan umumnya memiliki *bandwith* yang sama.
- TDD menjamin *channel reciprocity* untuk dukungan yang lebih bagi *link adaptation* dan MIMO.
- Tidak seperti FDD yang memerlukan kanal yang sepasang, TDD hanya memerlukan 1 kanal untuk DL dan UL dimana hal ini akan memberikan fleksibilitas yang lebih bagus dalam mengadaptasi alokasi spektrum global.
- Desain *transceiver* TDD relatif sedikit lebih sederhana dibandingkan FDD sehingga akan lebih murah.

2.1.2.5 Channel Coding dan Modulasi

Untuk meningkatkan luas cakupan dan kapasitas *Mobile WiMAX*, maka juga digunakan *Adaptive Modulation and Coding* (AMC), *Hybrid Automatic Repeat Request* (HARQ) dan *Fast Channel Feedback* (CQICH). Juga digunakan modulasi QPSK, 16QAM, dan 64QAM pada DL, sedangkan 64QAM merupakan modulasi opsional pada UL.

Tabel 2.2 Coding dan Modulasi yang Digunakan [6]

| | | DL | UL |
|------------|------------|--------------------|--------------------|
| Modulation | | QPSK, 16QAM, 64QAM | QPSK, 16QAM, 64QAM |
| Code Rate | CC | 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 | 1/2, 2/3, 5/6 |
| | CTC | 1/2, 2/3, 3/4, 5/6 | 1/2, 2/3, 5/6 |
| | Repetition | x2, x4, x6 | x2, x4, x6 |

Digunakan pengkodean kanal *Convolutional Code* (CC) dan *Convolutional Turbo Code* (CTC) dan pengkodean kanal opsionalnya adalah *Block Turbo Code* dan *Low Density Parity Check Code* (LDPC).

Tabel 2.3 Mobile WiMAX PHY Data Rates with PUSC Sub-Channel [6]

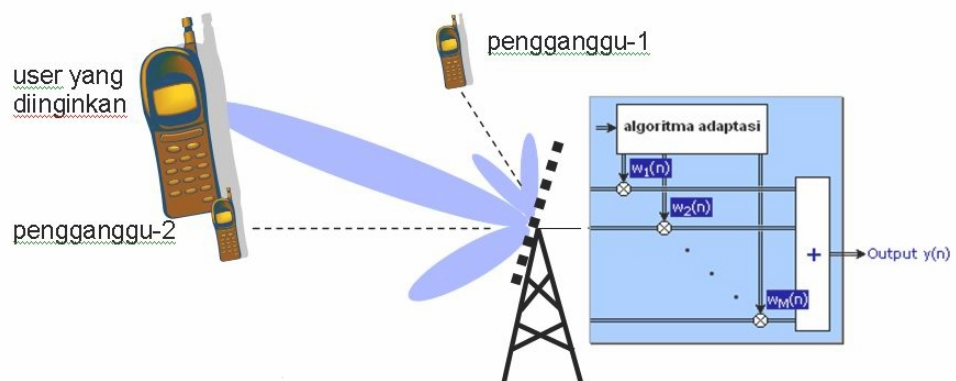
| Parameter | Downlink | Uplink | Downlink | Uplink | |
|----------------------|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------------------|
| System Bandwidth | 5 MHz | | 10 MHz | | |
| FFT Size | 512 | | 1024 | | |
| Null Sub-Carriers | 92 | 104 | 184 | 184 | |
| Pilot Sub-Carriers | 60 | 136 | 120 | 280 | |
| Data Sub-Carriers | 360 | 272 | 720 | 560 | |
| Sub-Channels | 15 | 17 | 30 | 35 | |
| Symbol Period, T_s | 102.9 microseconds | | | | |
| Frame Duration | 5 milliseconds | | | | |
| OFDM Symbols/Frame | 48 | | | | |
| Data OFDM Symbols | 44 | | | | |
| Mod. | Code Rate | 5 MHz Channel | | 10 MHz Channel | |
| | | Downlink Rate, Mbps | Uplink Rate, Mbps | Downlink Rate, Mbps | Uplink Rate, Mbps |
| QPSK | 1/2 CTC, 6x | 0.53 | 0.38 | 1.06 | 0.78 |
| | 1/2 CTC, 4x | 0.79 | 0.57 | 1.58 | 1.18 |
| | 1/2 CTC, 2x | 1.58 | 1.14 | 3.17 | 2.35 |
| | 1/2 CTC, 1x | 3.17 | 2.28 | 6.34 | 4.70 |
| | 3/4 CTC | 4.75 | 3.43 | 9.50 | 7.06 |
| 16QAM | 1/2 CTC | 6.34 | 4.57 | 12.67 | 9.41 |
| | 3/4 CTC | 9.50 | 6.85 | 19.01 | 14.11 |
| 64QAM | 1/2 CTC | 9.50 | 6.85 | 19.01 | 14.11 |
| | 2/3 CTC | 12.67 | 9.14 | 25.34 | 18.82 |
| | 3/4 CTC | 14.26 | 10.28 | 28.51 | 21.17 |
| | 5/6 CTC | 15.84 | 11.42 | 31.68 | 23.52 |

2.1.2.6 Teknologi Smart Antenna

Mobile WiMAX telah mendukung teknologi *smart antenna* untuk meningkatkan performansi sistem. Teknik tersebut antara lain :

- *Beamforming*

Beamforming adalah proses pembentukan *beam* menuju ke arah *user* yang diinginkan serta menekan sinyal pengganggu dari arah lain. Dengan demikian, *beamforming* bisa dikatakan sebagai *spatial filtering* sinyal. Pembentukan *beam* ke arah sinyal yang diinginkan bisa dilakukan dengan memberikan pembobotan dengan algoritma adaptif pada elemen antena.



Gambar 2.2 *Beamforming* [7]

- **Space-Time Code (STC)**

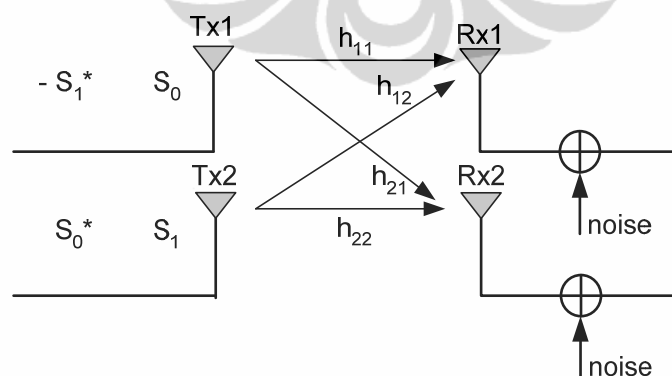
Space Diversity menggunakan dua atau lebih antenna pada *site* yang sama (*collocated*) untuk menerima sinyal yang tidak berkorelasi yang didesain untuk mengatasi *fade depth* yang terjadi. MIMO (*Multiple Input Multiple Output*) merupakan suatu teknik yang menggunakan 2 antenna atau lebih pada sisi pemancar dan penerima. Pada sisi penerima dapat digunakan beberapa skema *combining* misalnya *Selective Combining*, *Maximal Ratio Combining*, ataupun *Equal Gain Combining*.

Tabel 2.4 Skema Transmisi STBC Alamouti [8]

| | Tx-1 Antenna | Tx-2 Antenna |
|------------|--------------|--------------|
| time t | s_0 | s_1 |
| time $t+T$ | $-s_1^*$ | s_0^* |

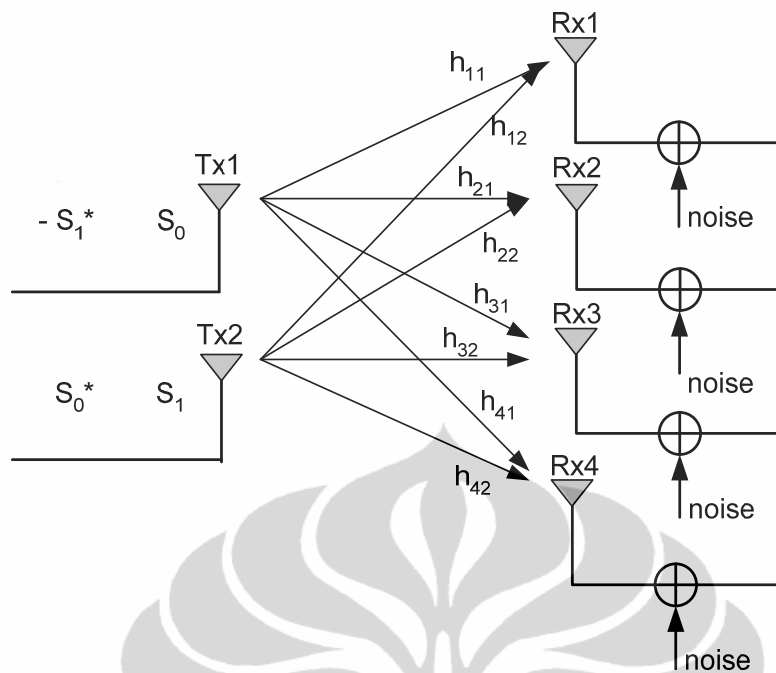
Pada teknik ini, satu simbol hasil keluaran *modulator* akan ditransmisikan dua kali dalam waktu yang berbeda. Dengan demikian, teknik *Space Time Block Codes* ini akan memiliki performansi (E_b/N_0 vs BER) yang tinggi, namun kekurangannya adalah teknik ini tidak dapat memberikan laju data yang tinggi.

Skema dari MIMO 2Tx-2Rx ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut ini :



Gambar 2.3 *Multiple Input Multiple Output (MIMO) 2Tx-2Rx* [8]

Skema dari MIMO 2Tx-4Rx ditunjukkan pada Gambar 2.4 berikut ini :



Gambar 2.4 Multiple Input Multiple Output (MIMO) 2Tx-4Rx [8]

- **Spatial Multiplexing (SM)**

Pada teknik ini, satu simbol hasil keluaran *modulator* akan ditransmisikan satu kali. Dengan demikian, teknik *Spatial Multiplexing* ini akan memiliki performansi (E_b/N_0 vs BER) yang lebih rendah daripada teknik *Space Time Block Codes*, namun kelebihanannya adalah teknik ini dapat memberikan laju data yang tinggi.

Tabel 2.5 Skema Transmisi Spatial Multiplexing [9]

| | Tx-1 Antenna | Tx-2 Antenna |
|------------|--------------|--------------|
| time t | s_0 | s_1 |
| time $t+T$ | s_2 | s_3 |

Mobile WiMAX mendukung *Adaptive MIMO Switching (AMS)* yang dapat melakukan pergantian mode MIMO yang disesuaikan dengan kondisi kanal untuk memaksimalkan efisiensi spektral. Tabel 2.6 berikut menunjukkan maksimum laju data teoritis untuk beberapa skenario.

Tabel 2.6 *Data Rates for SIMO/MIMO Configurations*
 (For 10 MHz channel, 5 ms frame, PUSC sub-channel,
 44 data OFDM symbols) [6]

| DL/UL Ratio | | | 1:0 | 3:1 | 2:1 | 3:2 | 1:1 | 0:1 |
|-------------------------|------------|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| User Peak Rate (Mbps) | SIMO (1x2) | DL | 31.68 | 23.04 | 20.16 | 18.72 | 15.84 | 0 |
| | | UL | 0 | 4.03 | 5.04 | 6.05 | 7.06 | 14.11 |
| | MIMO (2x2) | DL | 63.36 | 46.08 | 40.32 | 37.44 | 31.68 | 0 |
| | | UL | 0 | 4.03 | 5.04 | 6.05 | 7.06 | 14.11 |
| Sector Peak Rate (Mbps) | SIMO (1x2) | DL | 31.68 | 23.04 | 20.16 | 18.72 | 15.84 | 0 |
| | | UL | 0 | 4.03 | 5.04 | 6.05 | 7.06 | 14.11 |
| | MIMO (2x2) | DL | 63.36 | 46.08 | 40.32 | 37.44 | 31.68 | 0 |
| | | UL | 0 | 8.06 | 10.08 | 12.10 | 14.12 | 28.22 |

2.1.2.7 Fractional Frequency Reuse

Mode TDD memungkinkan digunakannya sebuah frekuensi pada UL dan DL dimana semua sel/sector akan menggunakan frekuensi yang sama. Akan tetapi, pelanggan yang posisinya berada di ujung sel akan menerima kualitas sinyal yang kurang bagus karena timbulnya efek *Co-Channel Interference* (CCI). Dengan *Mobile WiMAX*, hal ini dapat diatasi karena sinyal kepada pelanggan beroperasi pada sub kanal.

2.1.3 MAC Layer

MAC layer mendukung *trafik data bursty* dengan secara simultan mendukung *video streaming* dan *trafik voice* pada kanal yang sama. *Resource* yang dialokasikan kepada suatu terminal oleh *MAC scheduler* dapat bervariasi dalam setiap *time slot*, sehingga hal ini akan memberikan range *throughput* yang dinamis terhadap sebuah terminal. Lebih jauh lagi, ketika informasi alokasi *resource* disampaikan ke dalam pesan *Medium Access Protocol* (MAP) di awal setiap frame, *scheduler* dapat secara efektif mengubah alokasi *resource* berdasarkan frame per frame untuk mengadaptasi kondisi trafik yang sedang terjadi.

2.1.3.1 Quality of Service (QoS) Support

Dengan digunakannya *fast air link*, kapabilitas asimetris UL/DL dan mekanisme alokasi *resource* yang fleksibel, maka *Mobile WiMAX* dapat

memenuhi kebutuhan QoS. QoS pada *Mobile WiMAX* ditunjukkan pada Tabel 2.7 di bawah ini :

Tabel 2.7 Aplikasi *Mobile WiMAX* dan *Quality of Service* [6]

| QoS Category | Applications | QoS Specifications |
|--|--------------------------------------|--|
| UGS Unsolicited Grant Service | VoIP | <ul style="list-style-type: none"> • Maximum Sustained Rate • Maximum Latency Tolerance • Jitter Tolerance |
| rtPS Real-Time Polling Service | Streaming Audio or Video | <ul style="list-style-type: none"> • Minimum Reserved Rate • Maximum Sustained Rate • Maximum Latency Tolerance • Traffic Priority |
| ErtPS Extended Real-Time Polling Service | Voice with Activity Detection (VoIP) | <ul style="list-style-type: none"> • Minimum Reserved Rate • Maximum Sustained Rate • Maximum Latency Tolerance • Jitter Tolerance • Traffic Priority |
| nrtPS Non-Real-Time Polling Service | File Transfer Protocol (FTP) | <ul style="list-style-type: none"> • Minimum Reserved Rate • Maximum Sustained Rate • Traffic Priority |
| BE Best-Effort Service | Data Transfer, Web Browsing, etc. | <ul style="list-style-type: none"> • Maximum Sustained Rate • Traffic Priority |

2.1.3.2 MAC Scheduling Service

MAC Scheduling Service didesain untuk mengirim layanan data pita lebar termasuk suara, data, dan video secara efisien. Layanan *MAC scheduling* memiliki fitur :

- *Fast Data Scheduler*
- *Scheduling for both DL and UL*
- *Dynamic Resource Allocation*
- *QoS Oriented*
- *Frequency Selective Scheduling*

2.1.3.3 Mobility Management

Isu penting dalam aplikasi komunikasi bergerak adalah daya tahan baterai dan *handoff* dimana *Mobile WiMAX* telah mendukung *Sleep Mode* dan *Idle Mode* untuk memungkinkan efisiensi penggunaan UE. Digunakan pula *Seamless HO*

yang memungkinkan MS berpindah dari satu BTS ke BTS yang lain dengan kecepatan tertentu tanpa mengganggu koneksi.

2.1.3.4 Security

Mobile WiMAX mendukung autentikasi perangkat secara mutual, *flexible key management protocol*, *traffic encryption*, *control and management plane message protection* dan optimasi keamanan protokol untuk *fast HO*. Dalam hal keamanan, jaringan *WiMAX* telah memiliki dukungan terhadap :

- a. Autentikasi perangkat secara mutual yang handal, berdasarkan *framework* keamanan IEEE 802.16. Fitur tersebut antara lain : *EAP-based authentication*, *AES-CCM-based authenticated encryption*, dan *CMAC* serta *HMAC based control message protection schemes*.
- b. Semua mekanisme umum akan autentikasi yang telah digelar dan autentikasi pada jaringan sendiri (*in home*) dan jaringan operator lain yang dikunjungi.
- c. Integritas data, proteksi *replay*, dan keamanan data rahasia.
- d. Penggunaan mekanisme keamanan *MS initiated/terminated* seperti pada *Virtual Private Network (VPN)*.

Mekanisme manajemen keamanan *IP address* standar diantara MS/SS dan jaringan sendiri (*in home*) atau jaringan operator lain yang dikunjungi.

2.1.4 Arsitektur End to End WiMAX

2.1.4.1 Aplikasi Mobile WiMAX

WiMAX Forum telah mengidentifikasi beberapa aplikasi untuk 802.16e, dimana aplikasi-aplikasi tersebut dapat dikelompokkan ke dalam 5 kategori utama.

Tabel 2.8 Kelas Aplikasi Mobile WiMAX [6]

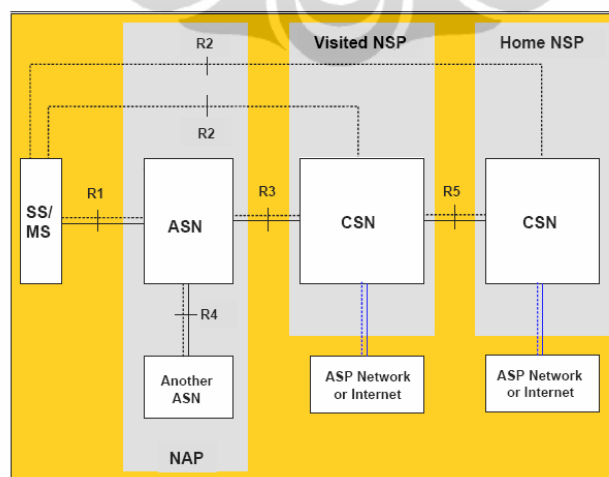
| Class | Application | Bandwidth Guideline | | Latency Guideline | | Jitter Guideline | |
|-------|--------------------------------|---------------------|------------------|-------------------|------------|------------------|-----------|
| | | | | | | | |
| 1 | Multiplayer Interactive Gaming | Low | 50 kbps | Low | < 25 msec | N/A | |
| 2 | VoIP & Video Conference | Low | 32 to 64 kbps | Low | < 160 msec | Low | <50 msec |
| 3 | Streaming Media | Low to High | 5 kbps to 2 Mbps | N/A | | Low | <100 msec |

| Class | Application | Bandwidth Guideline | | Latency Guideline | Jitter Guideline |
|-------|----------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 4 | Web Browsing & Instant Messaging | Moderate | 10 kbps to 2 Mbps | N/A | N/A |
| 5 | Media Content Downloads | High | > 2 Mbps | N/A | N/A |

2.1.4.2 Interworking dan Roaming

Kemampuan *Interworking* dan *Roaming* merupakan salah satu kunci sukses dari arsitektur jaringan *end to end*. *Interworking* dapat dilakukan WiMAX terhadap jaringan *wireless* eksisting seperti 3GPP, 3GPP2, ataupun jaringan kabel seperti DSL dan MSO yaitu dengan menggunakan *interface*. Selain itu, dapat pula dilakukan *global roaming* antar jaringan WiMAX termasuk untuk *accounting* dan *billing*. Di samping itu juga terdapat dukungan atas format autentikasi seperti penggunaan *username/password*, *digital certificates*, *Subscriber Identify Module* (SIM), *Universal SIM* (USIM), dan *Removable User Identify Module* (RUIM).

Interworking dan *Roaming* dapat dilakukan berkat adanya WiMAX *Network Reference Model* (NRM) yang merupakan representasi logik dari sebuah arsitektur jaringan yang menunjukkan pada titik mana suatu *node* akan dihubungkan.



Gambar 2.5 WiMAX Network Reference Model [6]

2.1.4.3 Multi Vendor Interoperability

Aspek kunci yang lain dari arsitektur jaringan WiMAX adalah dukungan akan *interoperability* antar perangkat dari pabrikan yang berbeda baik di dalam ASN yang sama maupun antar ASN. *Interoperability* yang dimaksud adalah antara :

- a. BS dan perangkat backhaul di dalam ASN.
- b. Berbagai elemen ASN (dari vendor yang berbeda) dan CSN tanpa penurunan fungsionalitas dan kapabilitas ASN.

Standar IEEE 802.16 memungkinkan adanya konvergensi sub layer CS seperti Ethernet CS, Ipv4 CS dan Ipv6 CS.

2.1.4.4 Skalabilitas, Ekstensibilitas, Coverage, dan Operator Selection

Secara khusus, fitur tersebut akan :

- a. Memungkinkan pelanggan untuk memilih NAP dan NSP secara manual atau otomatis.
- b. Memungkinkan desain sistem ASN dan CSN secara mudah atas luas cakupan, radius, ataupun kapasitas.
- c. Memungkinkan sejumlah topologi ASN, termasuk *hub and spoke*, hirarki, dan multihop interkoneksi.
- d. Mengakomodasi sejumlah jalur backhaul, baik dengan kabel (*wireline*) dan tanpa kabel (*wireless*) dengan latensi dan karakteristik *throughput* yang berbeda.
- e. Mendukung penambahan infrastruktur.
- f. Mendukung integrasi *base station* dengan cakupan dan kapasitas yang berbeda seperti *base station pico*, mikro, dan makro.
- g. Mendukung fleksibilitas dekomposisi dan integrasi fungsi ASN untuk menjalankan skema *load balancing* dalam efisiensi penggunaan spektrum radio dan sumber daya jaringan.
- h. Mendukung pengawasan sejumlah klien pada kondisi *online* dan *offline*.
- i. Mengakomodasi layanan *Over The Air* untuk pengawasan terminal MS dan *upgrade software*.

- j. Mengakomodasi penggunaan kompresi kepada *header* dan *payload* untuk meningkatkan efisiensi jaringan WiMAX.

2.1.4.5 Mobilitas dan *Handover*

Dengan adanya fungsi mobilitas dan *handover*, maka dimungkinkan :

- a. Dimungkinkan *handover* antar teknologi, misalnya kepada Wi-Fi, 3GPP, GPP2, DSL, ataupun MSO-yaitu dengan digunakannya *multi mode MS*.
- b. Mendukung manajemen mobilitas IPv4 dan IPv6 yang akan mengakomodasi MS dengan *multiple IP address* dan koneksi IPv4 dan IPv6 secara simultan.
- c. Mendukung *roaming* antar NSP.
- d. Adanya mekanisme untuk mendukung *seamless handover*.

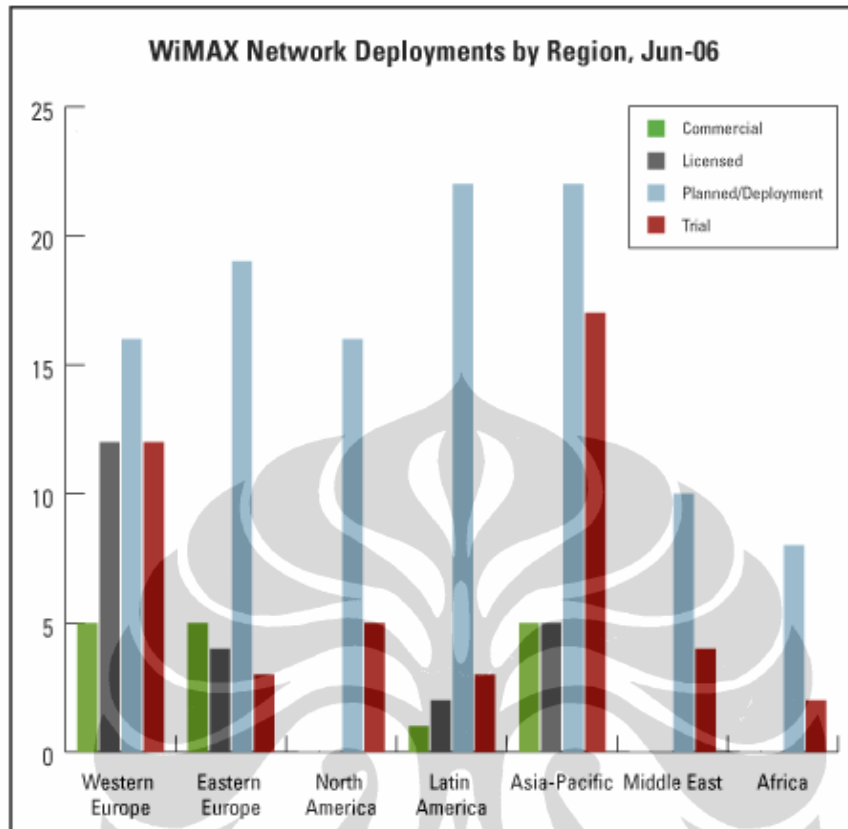
2.2 Alokasi Spektrum *Mobile WiMAX*

WiMAX Forum telah menyepakati bahwa standar 802.16e-2005 diharapkan disetujui pada spektrum 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz dan 3,5 GHz. Pita 2,3 GHz telah dialokasikan untuk layanan WiBro di Korea Selatan yang berdasarkan teknologi *Mobile WiMAX*. Dengan lebar spektrum sebesar 27 MHz yang diberikan kepada masing-masing operator, maka akan mendukung mode TDD dengan 3 kanal tiap base station dengan bandwidth kanal sebesar 8,75 MHz.

Band 2,5 GHz hingga 2,7 GHz telah tersedia untuk layanan bergerak dan *fixed wireless* di Amerika Serikat. Band ini juga digunakan pada beberapa negara di amerika selatan dan eropa serta beberapa negara di Asia Pasifik. Band 3,3 GHz hingga 3,5 GHz telah dialokasikan untuk layanan *fixed wireless* serta cukup memadai untuk solusi *Fixed* dan *Mobile WiMAX*.

2.3 Pasar WiMAX Secara Global

Pada awal 2006, WiMAX Forum mengeluarkan sertifikasi pertamanya atas produk WiMAX yang memenuhi standar 802.16-2004. Investasi yang telah dikeluarkan telah mencapai sekitar 600 juta dolar hingga tahun 2006 dimana umumnya menggunakan *fixed WiMAX*. Statistik menunjukkan bahwa terdapat 200 operator di dunia yang sedang merencanakan strategi WiMAX-nya [10].



Gambar 2.6 Kondisi WiMAX Secara Global [10]

Dari Gambar 2.6 dapat diketahui bahwa pengembangan dan perencanaan jaringan WiMAX terkonsentrasi di negara maju. Terlihat juga bahwa Asia-Pasifik merupakan pasar besar yang potensial yang ditandai dengan besarnya prosentase pada pengembangan dan jumlah ujicoba yang dilakukan.

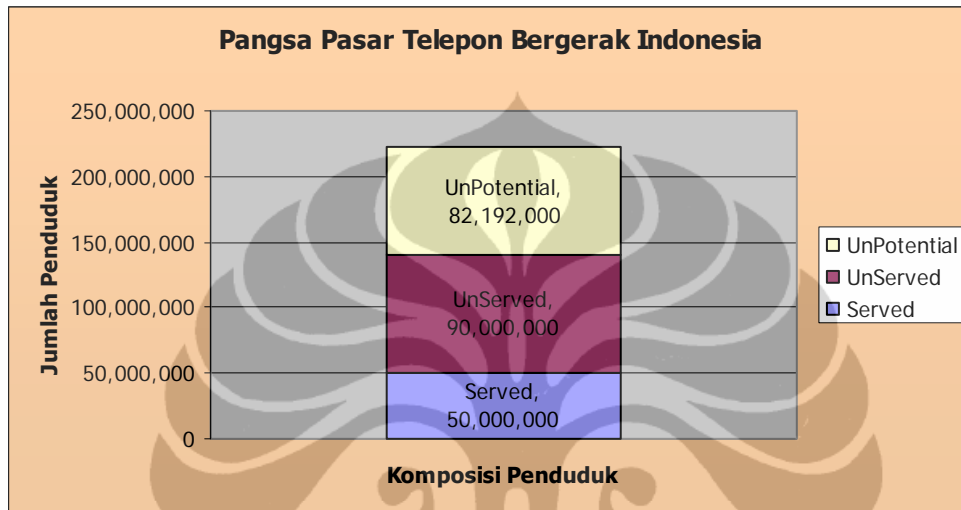
2.4 Peluang Implementasi *Mobile WiMAX* di Indonesia

2.4.1 Kondisi Pasar Telekomunikasi Indonesia

Di Indonesia terdapat 66.778 desa, namun sekitar 43.000 desa (66%) masih memerlukan layanan telekomunikasi dasar/telepon [3]. Hingga pertengahan 2006, laju penetrasi pengguna layanan seluler di Indonesia mencapai 50 juta pengguna (22%). Pemerintah memprediksikan bahwa pengguna layanan seluler dan *fixed wireless access* di Indonesia pada akhir 2007 akan mencapai 85 juta pelanggan atau penetrasinya mencapai 38 %. Namun angka ini perlu dicermati

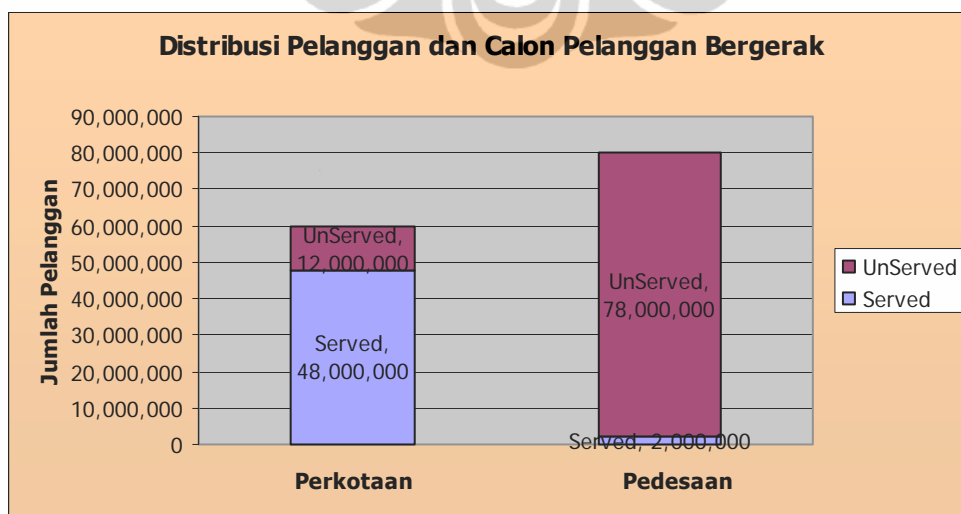
mengingat kebiasaan penduduk kota (dan sebagian kecil penduduk desa) yang umumnya memiliki lebih dari satu nomor telepon bergerak.

Kementrian Negara Komunikasi dan Teknologi Informasi pada tahun 2007 mengestimasi bahwa segmen pasar telepon bergerak sebesar 140 juta pelanggan dan baru sekitar 50 juta pelanggan atau sekitar 35,7% yang terlayani dan sisanya sebesar 90 juta calon pelanggan masih belum terlayani.



Gambar 2.7 Pangsa Pasar Telepon Bergerak Indonesia [3]

Dari 140 juta pelanggan layanan bergerak tersebut, sebanyak 60 juta pelanggan berada di daerah padat dan perkotaan, sedangkan sisanya sebesar 80 juta pelanggan tersebar di daerah pedesaan dan pedalaman.



Gambar 2.8 Distribusi Pelanggan dan Calon Pelanggan Bergerak [3]

Selain itu, Kementrian Negara Komunikasi dan Teknologi Informasi Indonesia dalam workshop ITU pada januari 2007 menyebutkan bahwa total pendapatan potensial per bulan untuk layanan bergerak di daerah padat dan perkotaan sebesar USD 1,400 miliar (Rp12,88 T) dan untuk daerah pedesaan dan pedalaman sekitar USD 1,440 miliar (Rp 13,248 T) [3].

Kehadiran suatu teknologi idealnya akan menghasilkan kompetisi dimana para operator diharapkan berlomba-lomba untuk meningkatkan kualitas pelayanan dan semakin menurunkan harga dari layanannya. Selain itu, hadirnya teknologi baru diharapkan akan menurunkan harga layanan teknologi sebelumnya. Namun hal ini hampir dirasa tidak berpengaruh terhadap tarif layanan 2G setelah datangnya teknologi 3G. Kecenderungan penurunan tarif GSM beberapa waktu terakhir ini lebih disebabkan kepada mulai menguatnya peta persaingan dari operator yang mengusung teknologi CDMA2000. Selain itu, layanan suara dan sms merupakan layanan yang paling banyak diminati pelanggan, yang sebenarnya sudah cukup dilayani dengan teknologi 2G saat ini.

Momentum ini sebenarnya dapat dimanfaatkan untuk menggelar teknologi alternatif lain yang diharapkan lebih handal namun murah. Tugas operator untuk menciptakan pasar dan menggelar layanan pita lebar dengan kualitas yang bagus serta beragam dengan harga yang murah. Dengan berbagai kelebihan serta kondisi telekomunikasi saat ini, *Mobile WiMAX* memiliki peluang yang sangat besar untuk dapat diimplementasikan di Indonesia. Namun operator perlu bersikap jeli mencermati kondisi yang ada agar penggelaran *Mobile WiMAX* ataupun teknologi lain bukan hanya sekedar dikendalikan oleh vendor.

2.4.2 Alokasi Frekuensi *Mobile WiMAX* dan Kondisi di Indonesia

Kondisi eksisting alokasi frekuensi untuk *Mobile WiMAX* masih tumpang tindih dengan alokasi teknologi lainnya seperti teknologi seluler, *microwave link*, dan sistem komunikasi satelit. Secara global, standar 802.16e-2005 akan berada pada spektrum 2,3 GHz, 2,5 GHz, 3,3 GHz dan 3,5 GHz.

❖ Pita Frekuensi 2,3 GHz

Pada pita frekuensi tersebut, terdapat sejumlah pengguna eksisting untuk sistem komunikasi radio *microwave link* di lokasi-lokasi tertentu.

Saat ini, pita tersebut masih digunakan sebagai *lower band* dari *microwave link* 2.3 – 2.5 GHz. Sesuai Peraturan Menteri No.2 tahun 2005 tentang Penggunaan Pita Frekuensi 2400 – 2483.5 MHz, kepada para pengguna *microwave link* eksisting tersebut, pada awal tahun 2005 telah diberitahukan untuk melakukan migrasi frekuensi paling lambat awal tahun 2007.

Dalam pencocokan data BHP frekuensi untuk ISR dengan salah satu pengguna *microwave link* terbesar di pita frekuensi 2.3 GHz tersebut, yaitu PT. Telkom, telah disepakati penghentian proses perpanjangan ISR pita frekuensi *microwave link* di pita 2.3 GHz. Penghentian perpanjangan izin *microwave link* tersebut juga akan diberlakukan kepada penyelenggara lainnya di pita frekuensi dimaksud.

❖ Pita Frekuensi 2,5 GHz

Pita 2.5 GHz sebelumnya telah dilokasikan untuk layanan BWA pada *range* frekuensi 2500–2520 MHz dan 2670–2690 MHz, dengan pembagian kanal adalah 6 MHz per kanal dan moda *duplex* TDD (*unpaired band*). Adapun pada pita frekuensi 2520 – 2670 MHz tidak dialokasikan untuk layanan BWA karena merupakan alokasi penyiaran satelit (BSS Indostar).

Penyelenggara eksisting yang telah mendapatkan alokasi frekuensi pita 2500–2520 MHz dan 2670–2690 MHz untuk layanan BWA adalah :

- 1) PT. Elang Mahkota sejak 10 September 2001 di wilayah Jabotabek dan Surabaya.
- 2) PT. Citra Sari Makmur sejak 31 Desember 2002 di wilayah Jakarta, Bandung, Semarang.

Penyelenggara eksisting yang telah mendapatkan alokasi frekuensi 2520 – 2670 MHz untuk layanan penyiaran satelit (BSS Indostar) adalah PT. Citra Sari Makmur (CSM). Pada pita frekuensi 2.5 GHz juga masih terdapat pengguna *microwave link* eksisting.

❖ Pita Frekuensi 3,3 GHz

Beberapa penyelenggara yang telah dialokasikan pita frekuensi BWA 3.3 GHz adalah :

- 1) PT. Starcom Solusindo sejak 9 Nopember 2000, mode FDD di wilayah Jakarta, Bandung, Semarang, Yogyakarta.
- 2) PT. Indosat sejak 13 Mei 2002, mode FDD di wilayah Jabotabek dan Surabaya, 27 Mei 2003 di wilayah Bandung, Cirebon, Semarang, Surakarta, 10 Juni 2003 di wilayah Malang, Gresik, Yogyakarta, Denpasar, Medan, Batam, Palembang, Makassar, Balikpapan.
- 3) PT. Rabik Bangun Pertiwi sejak 22 Mei 2002, moda FDD di wilayah Denpasar dan Batam.
- 4) PT. Telkom Divre VI (mode FDD di wilayah Banjarmasin, Samarinda, Tarakan, Balikpapan, Bontang, Sanggata, Pontianak, Palangkaraya).
- 5) PT. Telkom Divre I sejak 17 Maret 2005, mode FDD di wilayah Palembang, Medan, Padang, Lampung.
- 6) PT. Telkom Divre III sejak 26 Januari 2005, mode TDD di wilayah Bandung, Cirebon, Sukabumi, Tasikmalaya, Cianjur, Subang, Garut, Rangkas.

❖ Pita Frekuensi 3,5 GHz

Di Indonesia, pita ini digunakan terutama untuk dinas tetap satelit (*Fixed Satellite Services/FSS*). Beberapa penyelenggara yang telah mendapat persetujuan alokasi pita frekuensi BWA 3.5 GHz adalah :

- 1) PT. Aplikanusa Lintasarta di wilayah Jakarta, Bekasi, Bogor, Depok, Karawaci, Bandung, Cirebon, Karawang, Cikampek, Semarang, Solo, Purwokerto, Yogyakarta, Surabaya, Malang, Pandaan, Denpasar, Pekanbaru, Makassar, Bengkulu, Palembang, Medan, Padang, Lampung, Jambi, dan Banten.
- 2) PT. Corbec Communication sejak 7 Nopember 2001 di wilayah Jabotabek dan Jabar.
- 3) PT. Jasnikom Gemanusa sejak 10 September 2001 di wilayah Jabotabek.
- 4) PT. Reka Jasa Akses sejak 11 Oktober 2001 di wilayah Jabotabek, Jabar.

- 5) PT. Citra Sari Makmur sejak 31 Desember 2002 di wilayah Bandung dan Semarang, 10 Maret 2004 di wilayah Jabotabek, Surabaya dan Medan.
- 6) PT. Indosat sejak 8 Januari 2002 di wilayah Surabaya.

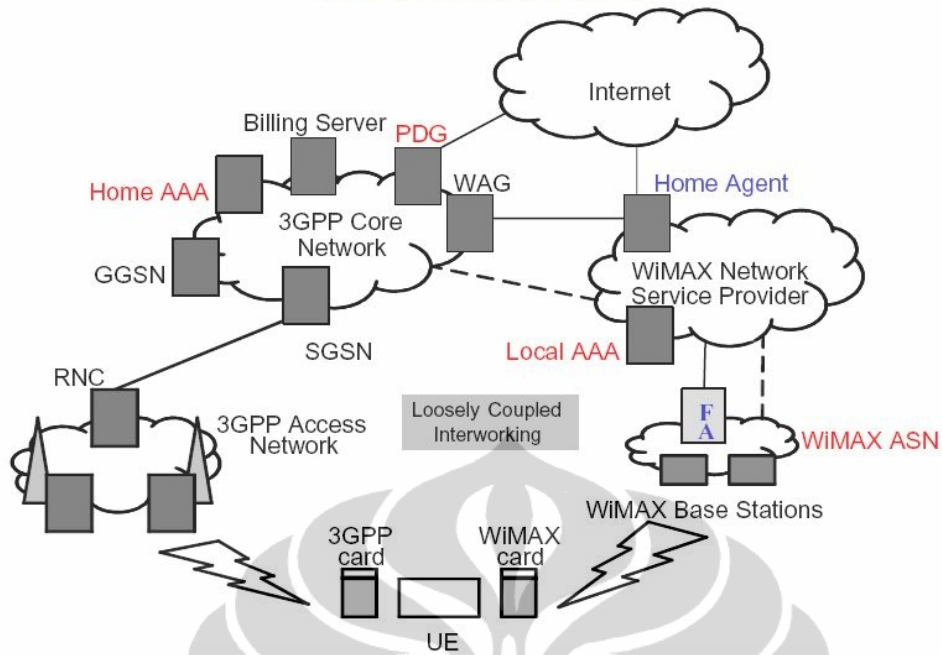
Adapun penyelenggara satelit eksisting adalah :

- 1) PT. Telkom : satelit Telkom-1 (108E)
- 2) PT. Pasifik Satelit Nusantara (PSN) : satelit Palapa C2 (113)

Layanan yang diberikan oleh penyelenggara satelit eksisting adalah layanan VSAT dan satelit siaran berbayar teknologi DTH (*Direct To Home*). PT. Telkom memanfaatkan 3 (tiga) transponder dari total 12 transponder untuk memberikan layanan DTH, sedangkan PT. PSN memanfaatkan seluruh transpondernya untuk layanan VSAT.

2.5 Mobile WiMAX - 3G - Existing Network Interworking

Solusi *interworking* antara WiMAX dan jaringan 3GPP didasarkan kepada *interworking* antara 3GPP dengan WLAN, yang berupa skenario *interworking Loose Coupling* dan *Tight Coupling*. Namun saat ini yang menjadi fokus dari WiMAX Forum adalah solusi *Loose Coupling* yang menjadikan WiMAX sebagai *access network* yang merupakan komplemen terhadap jaringan akses 2G/3G saat ini, dimana tidak diperlukannya protokol 3GPP untuk diterminasi pada BTS WiMAX. Pendekatan ini tidak memerlukan perubahan terhadap standar WiMAX dan meminimalkan perubahan terhadap spesifikasi jaringan 3GPP yang akhirnya akan mempercepat dalam memasarkan teknologi WiMAX.



Gambar 2.9 Skema 3G – WiMAX *Interworking* [11]

2.6 Gambaran Umum PT. Telkomsel

PT. Telkomsel yang didirikan pada tanggal 26 Mei 1995 merupakan salah satu perusahaan telekomunikasi seluler terkemuka di Indonesia yang memiliki 268 partner roaming internasional pada 155 negara (hingga akhir 2006). Operator yang memegang lisensi nasional untuk dualband GSM 900/1800 dan 3G ini memiliki 2 tipe kartu prabayar - simPATI dan kartu As - dan kartu pascabayar yaitu kartu HALO [4].

Pendapatan Telkomsel telah meningkat dari Rp. 3,59 Trilliun pada tahun 2000 menjadi 34,89 Trilliun pada 2006. Pada periode yang sama, jumlah pelanggannya juga mengalami peningkatan dari 1,7 juta pelanggan pada tahun 2000 menjadi 35,6 juta pelanggan pada akhir 2006. Pemegang saham Telkomsel adalah PT Telkom dengan 65% saham dan Singtel Mobile dengan 35% saham [4]. Tabel berikut ini menggambarkan posisi keuangan PT. Telkomsel :

Tabel 2.9 Income Statement PT Telkomsel
For the six month ended June, 2006 and 2007

(In Billions of Rupiah and Millions of U.S. Dollar) [4]

| | 2006 | 2007 | | Growth |
|--|---------------|---------------|---------------------|--------------|
| | Rp. | Rp. | US\$ ⁽¹⁾ | |
| OPERATING REVENUES | | | | |
| Post-paid | 2,397 | 2,595 | 286 | 8% |
| Prepaid | 11,393 | 15,521 | 1,714 | 36% |
| International roaming | 399 | 431 | 48 | 8% |
| Interconnection | 1,737 | 1,550 | 171 | -11% |
| Gross Operating Revenues | 15,926 | 20,097 | 2,219 | 26% |
| Less: | | | | |
| - Discounts | 1,027 | 1,566 | 173 | 52% |
| - Intercon. / intl. roam. / data provider charges | 1,587 | 410 | 45 | -74% |
| Net Operating Revenues | 13,312 | 18,121 | 2,001 | 36% |
| OPERATING EXPENSES | | | | |
| Personnel | 476 | 625 | 69 | 31% |
| Operation & maintenance | 1,898 | 2,977 | 329 | 57% |
| General & administrative | 357 | 387 | 43 | 8% |
| Marketing & selling | 297 | 394 | 44 | 33% |
| Interconnection | - | 1,016 | 112 | - |
| Other operating expenses | 667 | 835 | 92 | 25% |
| Depreciation | 1,971 | 2,755 | 304 | 40% |
| Total Operating Expenses | 5,666 | 8,989 | 993 | 59% |
| EBIT (EARNINGS BEFORE INTEREST & TAXES) | 7,646 | 9,132 | 1,008 | 19% |
| OTHER INCOME/(EXPENSES) | | | | |
| Interest income & financing charges | 24 | (112) | (12) | -567% |
| Foreign exchange gain | 101 | 38 | 4 | -62% |
| Others - net | (116) | 8 | 1 | 107% |
| Other income/(expenses) - net | 9 | (66) | (7) | -833% |
| INCOME BEFORE TAX | 7,655 | 9,066 | 1,001 | 18% |
| INCOME TAX EXPENSE | 2,324 | 2,712 | 299 | 17% |
| NET INCOME | 5,331 | 6,354 | 702 | 19% |
| EBITDA | 9,617 | 11,887 | 1,312 | 24% |
| EBITDA Margin - over gross oper. revenues | 60% | 59% | 59% | -1% |
| EBITDA Margin - over net oper. revenues | 72% | 66% | 66% | -6% |
| ROA | 38% | 32% | 32% | -6% |
| ROE | 64% | 66% | 66% | 2% |

Notes:

- (1) US\$ 1 = Rp.9,056 (average end of months Jan-Jun 2007 mid-rate, quoted from Bank Indonesia)

Tabel 2.10 Balance Sheet PT Telkomsel

As of June 30, 2006 and 2007

(In Billions of Rupiah and Millions of U.S. Dollar) [4]

| ASSETS | 2006 | 2007 | | Growth |
|--|---------------|---------------|---------------------|-------------|
| | Rp. | Rp. | US\$ ⁽¹⁾ | |
| CURRENT ASSETS | | | | |
| Cash and cash equivalents ⁽²⁾ | 3,385 | 5,724 | 632 | 69% |
| Acct. / Unbilled receivables | 789 | 779 | 86 | -1% |
| Prepayments | 858 | 1,056 | 117 | 23% |
| Others | 102 | 466 | 51 | 357% |
| Total Current Assets | 5,134 | 8,025 | 886 | 56% |
| NON-CURRENT ASSETS | | | | |
| Long-term investment | 9 | 15 | 2 | 67% |
| Property, plant & equipment - net | 24,895 | 36,145 | 3,992 | 46% |
| Advances for PPE | 317 | 145 | 16 | -54% |
| Equipment not used in operations - net | 439 | 120 | 13 | -73% |
| Intangible assets - net | 418 | 401 | 45 | -4% |
| Others | 30 | 30 | 3 | 0% |
| Total Non-current Assets | 25,908 | 36,856 | 4,071 | 42% |
| TOTAL ASSETS | 31,042 | 44,881 | 4,957 | 45% |
| CURRENT LIABILITIES | | | | |
| Short-term loans | - | 900 | 99 | - |
| Accounts payable & Accrued liabilities | 2,978 | 5,409 | 596 | 82% |
| Taxes payable | 1,021 | 1,062 | 117 | 4% |
| Unearned revenue | 1,811 | 1,713 | 189 | 6% |
| Dividend payable | 5,850 | 9,505 | 1,050 | 62% |
| Curr. maturities of med/long-term loans | 317 | 2,079 | 230 | 556% |
| Total Current Liabilities | 11,777 | 20,668 | 2,263 | 75% |
| NON-CURRENT LIABILITIES | | | | |
| Med/long-term loan - net of current maturities | 1,035 | 2,157 | 238 | 108% |
| Deferred tax liabilities | 945 | 2,010 | 222 | 113% |
| Others | 63 | 123 | 14 | 95% |
| Total Non-current Liabilities | 2,043 | 4,290 | 474 | 110% |
| EQUITY | | | | |
| Capital stock - Rp 1,000,000 par value | | | | |
| Authorized - 650,000 shares | | | | |
| Issued and fully paid - 182,570 shares | 183 | 183 | 20 | 0% |
| Additional paid-in capital | 1,505 | 1,505 | 166 | 0% |
| Retained earnings | 15,534 | 18,235 | 2,014 | 17% |
| Total Equity | 17,222 | 19,923 | 2,200 | 16% |
| TOTAL LIAB. & STOCKHOLDERS' EQUITY | 31,042 | 44,881 | 4,957 | 45% |

Notes:

- 2006 figures have been reclassified to conform with 2007 presentations
- (1) US\$ 1 = Rp.9,054 (middle rate on June 30, 2007, quoted from Bank Indonesia)
- (2) Consisting of US\$ 86.6 million, Euro 72.6 million and Rp.4.06 trillion for 2007

Tabel 2.11 *Operational Indicators* PT Telkomsel
As of June 30, 2006 and 2007 [4]

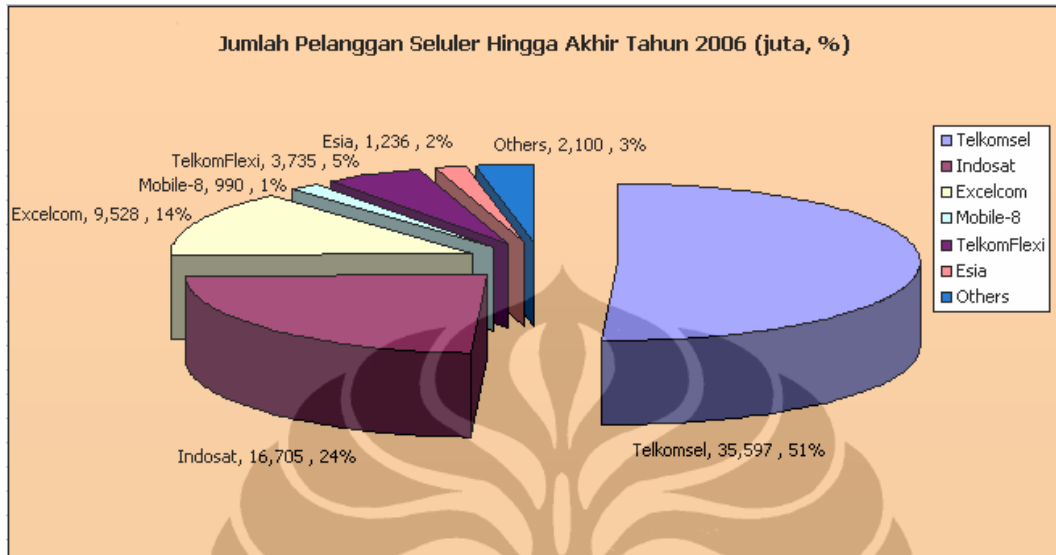
| | Unit | 2006 | 2007 | Growth |
|--|-------------------------|---------------|---------------|------------|
| CUSTOMER BASE | | | | |
| Net Additions | | | | |
| <i>kartuHALO</i> | Subscriber (000) | 101 | 147 | 46% |
| <i>simPATI</i> | Subscriber (000) | 2,887 | 1,282 | -56% |
| Kartu As | Subscriber (000) | 2,013 | 5,784 | 187% |
| Total | Subscriber (000) | 5,001 | 7,214 | 44% |
| Customer Base | | | | |
| <i>kartuHALO</i> | Subscriber (000) | 1,572 | 1,809 | 15% |
| <i>simPATI</i> | Subscriber (000) | 18,891 | 22,660 | 20% |
| Kartu As | Subscriber (000) | 8,807 | 18,342 | 108% |
| Total | Subscriber (000) | 29,270 | 42,811 | 46% |
| MOU (minute of use) | Billion Minutes | 7.9 | 11.3 | 43% |
| ARPU | | | | |
| Total (6 months average) | | | | |
| <i>kartuHALO</i> | Rp. '000 per mo. | 277 | 265 | -4% |
| <i>simPATI</i> | Rp. '000 per mo. | 83 | 79 | -5% |
| Kartu As | Rp. '000 per mo. | 50 | 56 | 11% |
| Blended | Rp. '000 per mo. | 85 | 78 | -8% |
| Non-voice/Data (6 months average) | | | | |
| <i>kartuHALO</i> | Rp. '000 per mo. | 48 | 47 | -3% |
| <i>simPATI</i> | Rp. '000 per mo. | 24 | 22 | -8% |
| Kartu As | Rp. '000 per mo. | 16 | 21 | 28% |
| Blended | Rp. '000 per mo. | 25 | 23 | -10% |
| NETWORK DATA | | | | |
| Network Capacity | | | | |
| Base stations installed (GSM/DCS/3G) | Unit | 12,156 | 18,677 | 54% |
| Overall capacity all network elements | Subs. mln. | 31.2 | 45.1 | 45% |
| Quality of Service | | | | |
| Call success rate | % | 95.37% | 95.70% | 0.33% |
| Call completion rate | % | 99.45% | 99.45% | 0.00% |
| EMPLOYEE DATA | | | | |
| Total employees | Person | 3,690 | 3,939 | 7% |
| Efficiency ratio | Subs/employee | 7,932 | 10,868 | 37% |

Sedangkan posisi jumlah pelanggan seluler berdasarkan sumber sekunder pada bulan Juni 2007 adalah :

Tabel 2.12 Jumlah Pelanggan Seluler [12]

| Jumlah Pelanggan (Juta) | 2003A | 2004A | 2005A | 2006A | 2007E | 2008E | 2009E | 2010E | 2011E | 2012E |
|-------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Total Pelanggan | 19,086 | 32,228 | 51,286 | 69,891 | 85,800 | 99,578 | 111,108 | 121,579 | 129,628 | 133,833 |
| Telkomsel | 9,589 | 16,291 | 24,269 | 35,597 | 44,098 | 51,204 | 56,774 | 63,218 | 68,642 | 70,827 |
| Indosat | 5,962 | 9,755 | 14,521 | 16,705 | 19,025 | 20,959 | 22,589 | 23,641 | 24,027 | 24,157 |
| Excelcom | 2,944 | 3,791 | 6,979 | 9,528 | 11,745 | 13,580 | 15,452 | 16,805 | 17,721 | 18,634 |
| Mobile-8 | 38 | 500 | 800 | 990 | 1,168 | 1,280 | 1,446 | 1,480 | 1,559 | 1,589 |
| TelkomFlexi | 265 | 1,429 | 3,981 | 3,735 | 5,090 | 6,608 | 7,696 | 8,465 | 9,078 | 9,179 |
| Esia | 150 | 250 | 372 | 1,236 | 2,057 | 2,838 | 3,449 | 3,897 | 4,250 | 4,674 |
| Others | 138 | 213 | 364 | 2,100 | 2,617 | 3,111 | 3,702 | 4,074 | 4,351 | 4,774 |

Hingga akhir 2006, terdapat 69,891 juta pelanggan seluler dan PT. Telkomsel memiliki 35,597 juta pelanggan atau sekitar 50,9 % dari total pelanggan seluler [12].



Gambar 2.10 Jumlah Pelanggan Seluler Hingga Akhir 2006 [operator, jumlah pelanggan (juta), %] [12]

2.7 Obyektif USO

Di dalam lampiran Keputusan Menteri Komunikasi dan Informatika No. 145/KEP/M.KOMINFO/04/2007 tanggal 13 April 2007, terdapat 11 blok wilayah pelayanan universal telekomunikasi (WPUT) yang masing-masing blok terdiri dari beberapa propinsi. Rinciannya adalah sebagai berikut :

Tabel 2.13 Wilayah Pelayanan Universal Telekomunikasi [11]

| BLOK WILAYAH | PROPINSI | JUMLAH DESA | JUMLAH DESA PER BLOK |
|--------------|-----------------------------|-------------|----------------------|
| I | 1. NANGGROE ACEH DARUSSALAM | 5,264 | 10520 |
| | 2. SUMATERA UTARA | 3,561 | |
| | 3. SUMATERA BARAT | 1,695 | |
| II | 1. JAMBI | 838 | 1967 |
| | 2. RIAU | 872 | |
| | 3. KEP. RIAU | 90 | |
| | 4. KEP. BANGKA BELITUNG | 167 | |
| III | 1. BENGKULU | 1,015 | 3711 |
| | 2. SUMATERA SELATAN | 1,891 | |

| | | | |
|-------|-------------------------------|-------|-------|
| | 3. LAMPUNG | 805 | |
| IV | 1. KALIMANTAN BARAT | 1,026 | 2157 |
| | 2. KALIMANTAN TENGAH | 1,131 | |
| V | 1. KALIMANTAN TIMUR | 879 | 2209 |
| | 2. KALIMANTAN SELATAN | 1,330 | |
| VI | 1. SULAWESI UTARA | 563 | 1504 |
| | 2. GORONTALO | 196 | |
| | 3. SULAWESI TENGAH | 745 | |
| VII | 1. SULAWESI BARAT | 237 | 2424 |
| | 2. SULAWESI SELATAN | 1,134 | |
| | 3. SULAWESI TENGGARA | 1,053 | |
| VIII | 1. PAPUA | 2,247 | 3015 |
| | 2. IRIAN JAYA BARAT | 768 | |
| IX | 1. MALUKU | 720 | 1309 |
| | 2. MALUKU UTARA | 589 | |
| X | 1. BALI | 201 | 2539 |
| | 2. NUSA TENGGARA BARAT | 247 | |
| | 3. NUSA TENGGARA TIMUR | 2,091 | |
| XI | 1. BANTEN | 666 | 7116 |
| | 2. JAWA BARAT | 1,196 | |
| | 3. JAWA TENGAH | 2,921 | |
| | 4. DAERAH ISTIMEWA YOGJAKARTA | 30 | |
| | 5. JAWA TIMUR | 2,303 | |
| TOTAL | | 38471 | 38471 |

BAB III

PENDEKATAN PERENCANAAN JARINGAN

3.1 Pendekatan

Dari permasalahan yang ada, akan diidentifikasi daerah USO yang potensial bagi Telkomsel. Dalam menentukan hal ini, diperlukan data-data mengenai daerah USO dan jumlah jaringan yang dimiliki Telkomsel pada suatu wilayah tertentu. Kemudian dari daerah-daerah tersebut, akan dilakukan analisis berdasarkan komputer untuk menghasilkan *plot coverage* dari jaringan eksisting. Dari hasil tersebut, dapat diketahui daerah mana saja yang masih memerlukan cakupan sinyal. Untuk penambahan kapasitas, diperlukan data trafik jaringan eksisting.

Penambahan node BTS ini juga akan memperhatikan kondisi real melalui citra foto dari *google earth*. Dari sini, dapat diketahui jumlah perangkat yang diperlukan, yang kemudian akan dilakukan analisis terhadap aspek teknis, aspek pasar, dan aspek perhitungan ekonomis. Dengan berbagai perhitungan yang dilakukan, akan dilakukan analisis lebih lanjut mengenai kelayakan dari implementasi jaringan ini.

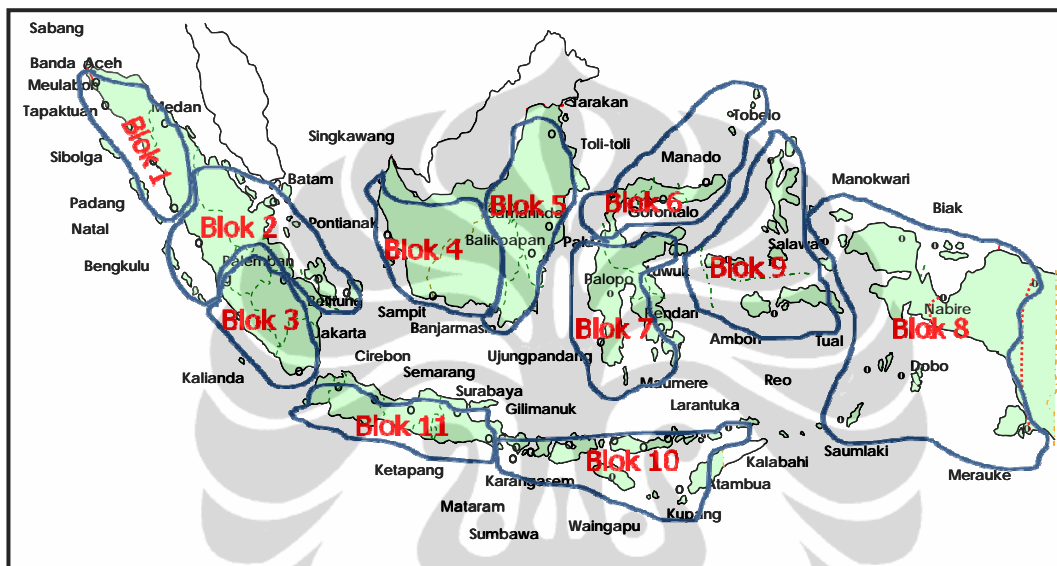
Pada penelitian ini akan diambil suatu contoh kasus daerah untuk dianalisis dan daerah tersebut adalah Propinsi Sumatera Utara dimana di sana terdapat sekitar 3.561 desa yang termasuk Wilayah Pelayanan Universal Telekomunikasi (WPUT). Mengenai pemilihan teknologi, akan digunakan Mobile WiMAX sebagai teknologi yang akan melayani wilayah tersebut. Saat ini operator *incumbent* cenderung lebih memilih *Mobile WiMAX* daripada *Fixed WiMAX* karena mereka menilai bahwa fitur mobilitas akan lebih mendatangkan pendapatan yang lebih besar daripada yang *fixed*.

3.2 Daerah Kajian

Seperti pada pemaparan sebelumnya, daerah yang akan dianalisis adalah Propinsi Sumatera Utara. Hingga akhir 2005, di wilayah tersebut telah terdapat jaringan GSM900 dan DCS1800. Sedangkan pada 2006-2007 telah digelar

teknologi 3G R99 dan HSDPA yang diaplikasikan pada sejumlah *site* pada beberapa titik kota di Sumatera Utara.

Dalam persyaratan USO disebutkan bahwa satu desa wajib dilayani oleh minimal 1 Satuan Sambungan Layanan (SSL). Dengan demikian, terdapat 3.561 desa yang berada di Sumatera Utara yang termasuk ke dalam program USO, yang akan dilayani oleh cakupan sinyal dengan kualitas dan jenis layanan seperti yang dipersyaratkan pemerintah.



Gambar 3.1 Daerah USO [3]

Kemudian akan dilakukan *plotting coverage area* untuk mengetahui wilayah-wilayah yang memerlukan jaringan telekomunikasi. Hal ini dilakukan sebagai dasar pijakan dalam penempatan lokasi BTS baru dan sangat dimungkinkan untuk penggunaan kembali tower BTS eksisting untuk ditempati antenna *Mobile WiMAX* (prinsip *re-use*) sehingga akan menghemat biaya capex.



Gambar 3.2 Propinsi Sumatera Utara

Namun, daerah-daerah yang memiliki kondisi trafik yang tinggi akan diberikan cakupan layanan dan kapasitas yang lebih besar dibandingkan dengan desa-desa lain. Oleh karena itu, data trafik dari kondisi eksisting jaringan Telkomsel akan sangat bermanfaat dalam pengembangan jaringan selanjutnya. Selain itu, data potensi *demand* yang mengkategorikan desa-desa USO ke dalam 4 kategori, akan sangat membantu dalam perencanaan jaringan.

Dalam penempatan lokasi BTS untuk Mobile WiMAX, akan digunakan beberapa *tools* seperti Map Info, Google Earth, dan dipadukan dengan peta data Sumatera Utara yang berisi sebaran penduduk seperti daerah *urban*, *sub urban*, dan *rural*.

Tabel 3.1 Profil Area Sumatera Utara [1]

| Indikator | Jumlah |
|---|------------------|
| Jumlah Kabupaten | 18 |
| Jumlah Kota | 7 |
| Jumlah Kecamatan | 357 |
| Jumlah Desa | 5612 |
| Luas Daerah [km ²] | 72.427.81 |
| Kepadatan Penduduk (2005) [km ²] | 169 |
| Populasi hingga 2006 (ribu) | 12.643 |
| Laju Pertumbuhan Penduduk (2005) | 1,35 |
| Proyeksi Laju Pertumbuhan Penduduk (2005-2010) | 1,2 |
| Prosentase Penduduk Daerah Perkotaan (2005) | 46,1 |
| Prosentase Tingkat Pengangguran Terbuka (Feb 2006) | 14,82 |
| Upah Minimum Propinsi per Bulan (2006) [Rp] | 737.794 |
| Rata-rata Pendapatan Pekerja Sebulan (Feb 2006) | 795.302 |
| Banyaknya Usaha (2004) | 741.879 |
| Jumlah Tenaga Kerja (2004) | 1.330.476 |
| Nilai Produksi (2004) [Rp] | 25.006.290 |
| Angka Melek Huruf Penduduk Berusia 15 tahun ke Atas (persen) (2005) | 97,9 (Laki-Laki) |
| | 95 (Perempuan) |
| Rata-Rata Lama Sekolah(tahun) (2005) | 8,9 (Laki-Laki) |
| | 8,1 (Perempuan) |
| Indeks Pembangunan Manusia (HDI) (2005) | 72 |
| Penduduk Miskin [ribu] (2004) | 633,4 (Urban) |
| | 1.166,7 (Rural) |
| Persentase Penduduk Miskin (2004) | 14,93 |
| Produk Domestik Regional Bruto Atas Dasar Harga Berlaku menurut Provinsi (juta rupiah) (2005) | 136.903.270 |
| Produk Domestik Regional Bruto per Kapita Atas Dasar Harga Berlaku menurut Provinsi (rupiah) (2005) | 10.995.442 |

Pemerintah telah mengkategorikan desa-desa USO menjadi 4 bagian berdasarkan karakteristik yang dimiliki, yaitu :

1. Kategori I :

Merupakan desa yang memiliki kondisi aksesibilitas, *socio culture*, *socio* ekonomi, dan parameter bisnis dasar paling rendah bila dibandingkan dengan kategori yang lain.

2. Kategori II :

Merupakan desa yang memiliki aksesibilitas, *socio culture*, *socio* ekonomi, dan parameter bisnis yang lebih baik bila dibandingkan dengan desa berkategori I.

3. Kategori III :

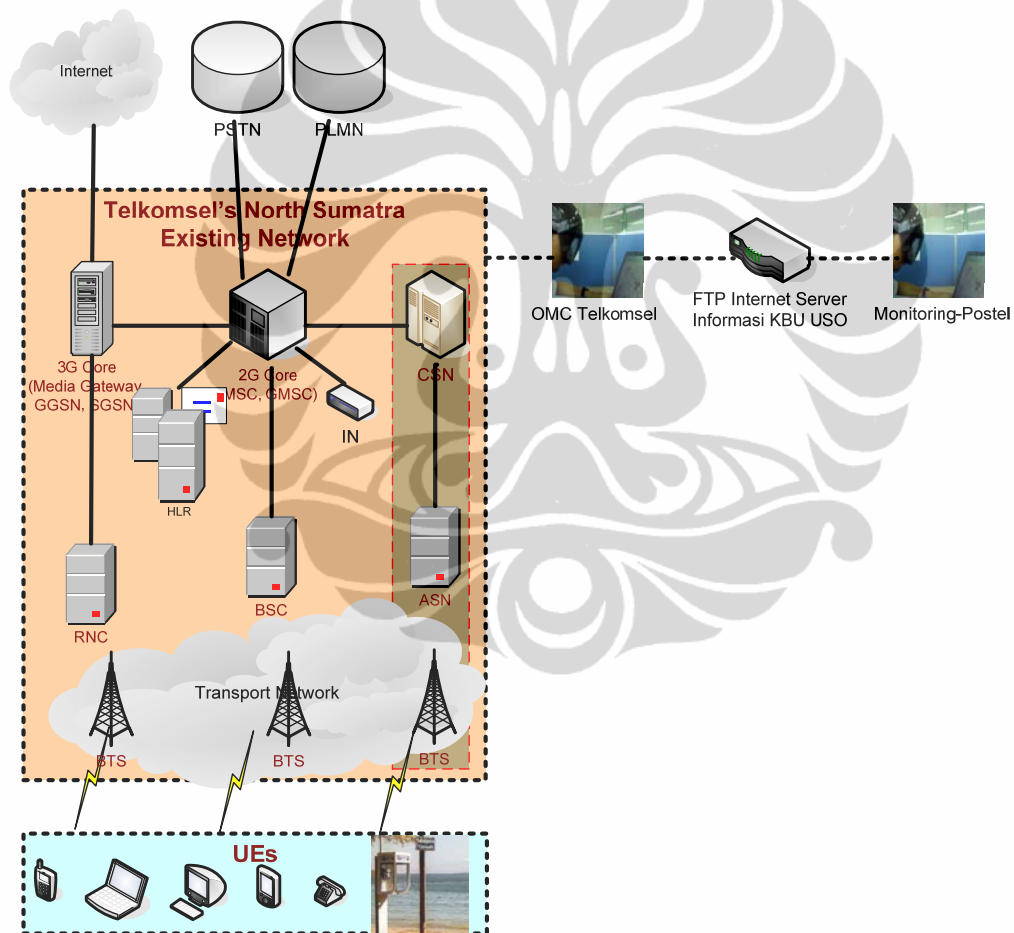
Merupakan desa yang memiliki aksesibilitas, *socio culture*, *socio* ekonomi, dan parameter bisnis yang lebih baik bila dibandingkan dengan desa berkategori II.

4. Kategori IV :

Merupakan desa yang memiliki aksesibilitas, *socio culture*, *socio ekonomi*, dan parameter bisnis yang paling baik bila dibandingkan dengan desa berkategori I, II, dan III.

3.3 Konfigurasi Jaringan Eksisting Pendukung USO

Konfigurasi jaringan eksisting dalam mendukung USO yang akan digunakan sebagai dasar perencanaan pada tesis ini digambarkan pada Gambar 3.1 berikut ini :



Gambar 3.3 Konfigurasi Jaringan Pendukung USO

BTS merupakan perangkat pemancar dan penerima sinyal dengan menggunakan teknologi 2G/3G/WiMAX yang menghubungkan jaringan Telkomsel dengan pelanggan melalui gelombang radio. RNC/BSC/ASN

merupakan perangkat yang mengontrol fungsional BTS yang secara hirarki berada di bawahnya dan merupakan antarmuka yang menghubungkan jaringan inti dan BTS. Sedangkan yang menghubungkan antara jaringan internet dengan jaringan internal Telkomsel diatur dan dikelola oleh SGSN dengan antarmuka berupa GGSN. Jaringan inti akan mengatur segala fungsional jaringan internal Telkomsel dan jaringan inti ini akan dihubungkan dengan jaringan lain seperti PLMN dan PSTN melalui antarmuka MSC/GMSC. OMC Telkomsel akan memonitor status seluruh jaringan pendukung USO dan akan berhubungan langsung dengan sistem monitoring Postel.

Pada sisi pelanggan terdapat perangkat remote Mobile WiMAX (*subscriber station*) yang lebih dikenal dengan *Customer Premises Equipment* (CPE). Secara umum, beberapa peruntukan yang dapat digunakan seperti perangkat pengguna bergerak, ruko (rumah toko) atau *Small Medium Enterprises* (SME), gedung-gedung bertingkat yang biasanya disewakan untuk perkantoran, dan kawasan perumahan (*residential*).

Pada tesis ini, peruntukan yang akan digunakan akan lebih dikhususkan kepada layanan untuk memenuhi persyaratan minimum USO yaitu dapat menyalurkan jasa teleponi dasar dengan layanan panggilan (lokal, SLJJ, SLI dan panggilan ke layanan jaringan lainnya) serta mampu menyediakan layanan jasa internet dan layanan telekomunikasi berbasis informasi lainnya dengan kemampuan menyalurkan data minimal 56.6 Kbps dengan jumlah minimum sebanyak 1 Satuan Sambungan Layanan (SSL) untuk tiap desa.

Base Station (BS) terdiri dari antena dan perangkat *Radio Frequency* (RF) yang merupakan *outdoor unit*, menara tempat pemasangan antena (tower), perangkat *indoor unit* yang terdiri dari perangkat *baseband modem* dan *Network Managemen System* (NMS).

Jaringan *backbone* berfungsi sebagai *backhaul* dari *base station* untuk menghubungkan dengan ke lokasi pusat layanan yang dituju oleh pelanggan, seperti internet, kantor-kantor pusat, atau server penyedia layanan (*content provider*). Disamping melalui jaringan *switching* (MPLS, ATM, Frame Relay) yang menyediakan layanan *bandwidth*, backhaul ini umumnya dapat juga berupa jaringan sewa *point to point* seperti FO, atau *Radio Link* berkapasitas besar (E3,

DS3, STM-1, Ethernet). Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa Telkomsel telah memiliki kapasitas transmisi yang cukup untuk melayani semua desa di Sumatera Utara.

3.4 Parameter Sistem

3.4.1 Map Data

Map data adalah peta yang berisi data kondisi suatu wilayah tertentu seperti ketinggian dan penggunaan tanah (*agriculture, forest, industrial, public building*, dan lain sebagainya). Untuk wilayah Sumatera Utara ini, resolusi peta yang digunakan adalah 50m.

3.4.2 Data Site

Data-data mengenai *site* seperti parameter RBS, antena pemancar, daya pancar, tinggi antena, *feeder* dan rugi-rugi disesuaikan dengan standar parameter sistem *Mobile WiMAX* yang dikeluarkan oleh WiMAX Forum dan beberapa diantaranya telah disesuaikan dengan kondisi Indonesia serta beberapa asumsi juga digunakan.

Tabel 3.2 Parameter Sistem

| Parameters | Value |
|----------------------------------|------------|
| Number of Sector per Cells | 3 |
| Operating Frequency | 2300 MHz |
| Duplex | TDD |
| Channel Bandwidth | 7 MHz |
| BS Height | 35 meters |
| Mobile Terminal Height | 1.5 meters |
| BS Antenna Gain | 15 dBi |
| BS Horizontal Beam | 63 deg |
| BS Vertical Beam | 4.3 deg |
| BS Maximum Power Amplifier Power | 43 dBm |
| Mobile Terminal Maximum PA Power | 23 dBm |
| BS Noise Figure | 4 dB |
| MS Noise Figure | 7 dB |

Tabel 3.3 Parameter BTS

| Parameters | Value |
|-------------------------------|----------|
| Tx Power per Antenna Element | 40 dBm |
| Number of Tx Antenna Elements | 2 |
| Cyclic Combining Gain | 3 dB |
| Tx Antenna Gain | 15 dBi |
| Pilot Power Boosting Gain | -0.7 dB |
| EIRP | 57.3 dBm |

Tabel 3.4 Margin

| Parameters | Value |
|------------------------|----------|
| Log Normal Fade Margin | 5.56 dB |
| Fast Fading Margin | 2.0 dB |
| Interference Margin | 2.0 dB |
| Penetration Loss | 10.0 dB |
| Total Margin | 19.56 dB |

Untuk memperoleh koordinat *site*, akan dilakukan beberapa proses seperti :

1. *Plotting coverage area* berdasarkan kondisi jaringan eksisting yang dimiliki Telkomsel seperti GSM900, DCS1800, dan 3G HSDPA.
2. Definisikan tempat-tempat yang memerlukan penambahan cakupan sinyal.
3. Kemungkinan digunakannya kembali tower eksisting Telkomsel.
4. Komparasi dengan *Google Earth* untuk mengetahui titik-titik yang potensial.

3.4.3 Data Terminal

Data terminal seperti daya pancar, *Noise Figure*, penguatan antena dan rugi-rugi juga diperoleh dari standar parameter sistem *Mobile WiMAX* yang dikeluarkan oleh WiMAX Forum.

Tabel 3.5 Parameter UE

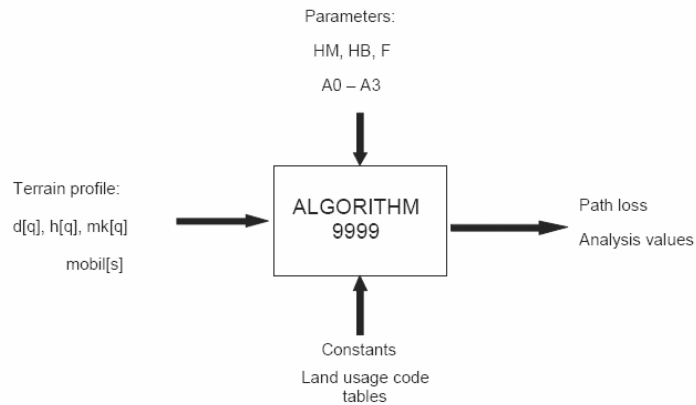
| Parameters | Value |
|--|-----------|
| Rx Antenna Gain | -1.0 dBi |
| Rx Antenna Diversity Gain (2 antennas) | 3.0 dB |
| Rx Noise Figure | 7.0 dB |
| Rx Sensitivity | -117.7dBm |

3.4.4 Frekuensi

Frekuensi yang akan dipakai adalah spektrum frekuensi 2,3 GHz dengan *bandwidth* kanal sebesar 7 MHz.

3.4.5 Model Propagasi

Model propagasi yang digunakan dalam analisis implementasi ini adalah *Ericsson Propagation Algorithm 9999* yang merupakan pengembangan lebih lanjut dari model propagasi Okumura-Hatta.



Gambar 3.4 Model Propagasi Ericsson dengan Algoritma 9999 [14]

Kondisi profil area antara pemancar dan penerima diperoleh dari *database* topografi dengan bobot yang dapat disesuaikan dengan kondisi riil di lapangan. Algoritma 9999 juga akan menghitung variasi ketinggian dan penggunaan tanah seperti hutan, lahan pertanian, dan sarana publik.

Tabel 3.6 *Pathloss Model*

| Name | Factor (dB) |
|-----------------|-------------|
| Blockbuildings | 10 |
| Buildings | 8 |
| Denseblockbuild | 11 |
| Denseurban | 10 |
| Denseurbanhigh | 12 |
| Forest | 14 |
| Industrial | 9 |
| Inlandwater | 3 |
| Meanurban | 6 |
| Mixedsuburban | 4 |
| Open | 2 |
| Openinurban | 4 |
| Parks | 2 |
| Residential | 4 |
| Rural | 8 |
| Sea | 4 |
| Swamp | 5 |
| Unclassified | 2 |
| Village | 4 |

3.4.6 Distribusi trafik pelanggan dan layanan

Asumsi yang digunakan adalah berdasarkan tabel di bawah yang merupakan fungsi kualitas sinyal dengan jenis layanan yang dapat disediakan sesuai dengan jenis modulasi yang digunakan.

Tabel 3.7 *Typical* Sensitifitas dalam *Fixed Mode* [15]

| Modulation | Code rate | Sensitivity dBm | Raw Bit Rate DL fixed (Mbps) | Net throughput DL fixed (Mbps) |
|------------|-----------|-----------------|------------------------------|--------------------------------|
| | | | 3.5 MHz BW | 3.5 MHz BW |
| BFSK | 1/2 | -100 | 1.41 | 1.128 |
| | 3/4 | -98 | 2.12 | 1.696 |
| QPSK | 1/2 | -97 | 2.82 | 2.256 |
| | 3/4 | -94 | 4.23 | 3.384 |
| 16QAM | 1/2 | -91 | 5.64 | 4.512 |
| | 3/4 | -88 | 8.87 | 7.096 |
| 64QAM | 2/3 | -83 | 11.29 | 9.032 |
| | 3/4 | -82 | 12.71 | 10.168 |

Sedangkan sensitifitas pada mode bergerak ditunjukkan pada Gambar 3.8 di bawah ini :

Tabel 3.8 *Typical* Sensitifitas dalam *Mobile Mode* [15]

| Modulation | Code rate | Sensitivity dBm | Bit rate DL Mobile (Mbps) |
|------------|-----------|-----------------|---------------------------|
| QPSK | 1/8 | -101 | Below the noise floor |
| QPSK | 1/2 | -94 | 2.88 |
| 16QAM | 1/2 | -88 | 5.68 |

Tabel 3.9 menunjukkan kelas layanan WiMAX :

Tabel 3.9 Aplikasi WiMAX [11]

| Table 2 WiMAX Service Classes | | | |
|--|------------|---------------------------|---------------------|
| Class Description | Real Time? | Application Type | Bandwidth |
| Interactive Gaming | Yes | Interactive Gaming | 50 - 85 kbps |
| VoIP, Video Conference | Yes | VoIP | 4 - 64 kbps |
| | | Video Phone | 32 - 384 kbps |
| Streaming Media | Yes | Music/Speech | 5 - 128 kbps |
| | | Video Clips | 20 - 384 kbps |
| | | Movies Streaming | > 2 Mbps |
| Information Technology | No | Instant Messaging | < 250 byte messages |
| | | Web Browsing | > 500 kbps |
| | | Email (with attachments) | > 500 kbps |
| Media Content Download (Store and Forward) | No | Bulk Data, Movie Download | > 1 Mbps |
| | | Peer-to-Peer | > 500 kbps |

Trafik aplikasi minimal yang harus disediakan untuk melayani desa-desa USO adalah seperti yang dipersyaratkan pemerintah yaitu satu desa wajib dilayani oleh minimal 1 Satuan Sambungan Layanan (SSL). Layanan yang dimaksud adalah antara lain jasa teleponi dasar dengan layanan panggilan (lokal, SLJJ, SLI dan panggilan ke layanan jaringan lainnya) serta mampu menyediakan layanan jasa internet dan layanan telekomunikasi berbasis informasi lainnya dengan kemampuan menyalurkan data minimal 56.6 Kbps dengan jumlah minimum

sebanyak 1 Satuan Sambungan Layanan (SSL) untuk tiap desa. Dengan demikian, terdapat sebanyak 3.561 desa yang berada di Sumatera Utara yang termasuk ke dalam program USO, yang akan dilayani oleh cakupan sinyal dengan kualitas dan jenis layanan seperti yang dipersyaratkan pemerintah.

3.5 Generate Coverage Plot

Analisis *desktop* akan dilakukan untuk mengetahui cakupan sinyal BTS Mobile WiMAX dan proses ini akan terus diulang sedemikian rupa sehingga diperoleh cakupan sinyal yang memadai dan memenuhi keperluan USO. Selain itu, akan diuji coba pula skenario efek pembebanan sel sebesar 60 % yang lebih ditekankan kepada daerah-daerah yang sangat potensial seperti *Medan Inner* untuk mengetahui kondisi jaringan pada saat mengalami pembebanan trafik yang tinggi. Karena program USO merupakan program jangka panjang dimana pangsa pasar diprediksikan akan terus meningkat, maka efek pembebanan sel ini menjadi faktor yang akan diperhitungkan.

3.6 Perhitungan Jumlah Perangkat dan Analisis Ekonomis

Dari hasil analisis *coverage plot* sebelumnya, akan diketahui jumlah perangkat yang dibutuhkan. Selanjutnya akan dianalisis mengenai faktor ekonomi berupa NPV, IRR, dan PBP untuk mengetahui tingkat kelayakan dari implementasi yang akan dilakukan. Periode perhitungan dilakukan dalam jangka waktu 5 tahun dan *discount rate* disesuaikan dengan tingkat suku bunga Bank Indonesia pada saat perhitungan dilakukan.

3.6.1 Perhitungan Pendapatan

Untuk mengetahui jumlah pendapatan yang akan diperoleh, maka akan dilakukan analisis dan estimasi terhadap harga layanan dengan melakukan komparasi terhadap layanan sejenis yang telah ada.

3.6.2 Perhitungan Capex dan Opex

Biaya yang dikeluarkan dalam suatu pengeluaran jaringan dapat dikelompokkan menjadi menjadi 2 bagian yaitu *Capital Expenditure* (Capex) dan

Operation Expenditure (Opex). Capex merupakan keseluruhan biaya investasi dalam pengadaan perangkat dan sarana penunjang lainnya seperti BTS dan Terminal (SS). Sedangkan Opex adalah biaya operasional yang dikeluarkan secara periodik (per bulan atau per tahun) dalam menjalankan aktifitas layanan dan termasuk pula biaya sewa dan perijinan.

Komponen Capex dan Opex ditunjukkan secara berurutan pada Tabel 3.9 dan Tabel 3.10 berikut :

Tabel 3.10 Komponen Capex

| Jenis Investasi | Komponen Utama | Keterangan |
|---------------------|--|--|
| Per BTS | BTS | 3 sektor |
| | Support Equipment | Antena Kabel Feeder Power Utilitas (AC & Protection) |
| | Pra Instalasi | Network Planning (Radio, Transmission, dan Core) Akuisisi site dan Perijinan Pengerjaan Civil, Mechanical, dan Engineering (CME) |
| | Tower | Material Pemasangan Sarana Pendukung Lainnya |
| Per Jumlah tertentu | Ijin Spektrum Network Operation Control (NOC) | Alokasi Frekuensi NMS Server |
| Per Pelanggan | Customer Premises Equipment (CPE) Sarana Penunjang Instalasi | Perangkat di Lokasi Pelanggan Pengkabelan dan Grounding Biaya Pasang |

Tabel 3.11 Komponen Opex

| Jenis Investasi | Komponen Utama | Keterangan |
|---------------------|--|--|
| Per BTS | Sewa Ruang | Indoor (per bulan) |
| | Sewa Space untuk Tower&Antena | Outdoor (per bulan) |
| | Biaya Perawatan | per tahun |
| | Biaya Utilitas Biaya Sewa Backbone | Listrik & keamanan Sewa Backhaul dan Port Internet |
| Per Jumlah tertentu | Biaya BHP Network Operation Control (NOC) | Per Kanal Frekuensi Biaya Operator Perawatan Server dan Database |
| Per Pelanggan | Customer Services Technical Support Billing & Collection | Perangkat di lokasi pelanggan pengkabelan dan grounding Biaya Pasang |

3.6.3 Perhitungan NPV, IRR, dan PBP

Parameter *Net Present Value* (NPV) dan *Internal Rate of Return* (IRR) biasa digunakan untuk menilai kelayakan suatu proyek atau investasi pada periode waktu tertentu.

❖ *Net Present Value* (NPV)

adalah selisih antara *present value* dari dengan nilai sekarang dari penerimaan-penerimaan kas bersih di masa yang akan datang. Untuk menghitung nilai sekarang harus ditentukan tingkat yang relevan yang berlaku sekarang sebagaimana persamaan berikut :

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+K)^t} - I_0 \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana : t = jumlah tahun

CF_t = aliran kas periode t

I_0 = Investasi tahun ke 0

K = tingkat suku bunga (*discount rate*)

Kriteria penilaian :

- Jika $NPV > 0$, maka investasi layak
- Jika $NPV < 0$, investasi tidak layak
- Jika $NPV = 0$, nilai perusahaan tetap apakah investasi dilaksanakan atau tidak

❖ *Internal Rate of Return* (IRR)

IRR digunakan untuk mencari tingkat bunga yang menyamakan nilai sekarang dari arus kas yang diharapkan di masa datang atau penerimaan kas dengan mengeluarkan investasi awal. Persamaannya seperti dibawah ini :

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} \dots\dots\dots (3.2)$$

2)

Dimana : t = tahun ke

n = jumlah tahun

I_0 = Nilai Investasi Awal

CF = arus kas bersih

IRR = tingkat bunga yang dicari nilainya

Jika IRR yang didapat ternyata lebih besar dari *rate of return* yang ditentukan, maka investasi disebut layak.

❖ ***Payback Period***

Merupakan suatu waktu yang diperlukan suatu proyek untuk menutup kembali pengeluaran investasi (*initial cap investment*). Dengan menggunakan aliran kas. Dengan kata lain *payback* adalah rasio antara *initial cap investment* dan *cash inflow* yang hasilnya merupakan satuan waktu, seperti persamaan berikut :

$$\text{Payback Period} = \frac{\text{Nilai investasi}}{\text{Kas masuk bersih}} \text{ tahun} \dots\dots\dots (3.3)$$

Jika *payback period* lebih pendek waktunya dari waktu maksimum yang diinginkan, maka investasi tersebut disebut layak. Metoda ini cukup sederhana tetapi mempunyai kelemahan utama bahwa metode ini tidak mempertahankan konsep nilai waktu dari uang. Jadi fungsinya hanya sebagai pendukung metoda lain.