

ANALISIS IMPLEMENTASI 2ND CARRIER HSDPA 15 CODE PADA JARINGAN WCDMA

¹ Efendi, ²Yufriana Imamulhak, ³Marina Artiyasa

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro

¹Politeknik Negeri Padang, ^{2,3}Universitas Nusa Putra

¹ Jl. Kampus Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang, Sumantera Barat

^{2,3} Jl. Raya Cibolang Kaler No. 21, Kab Sukabumi

e-mail: ¹ efendi.mukchtar25@gmail.com, ²yufriana.imamulhak@nusaputra.ac.id, ³marina@nusaputra.ac.id

Korespondensi : ¹efendi.mukchtar25@gmail.com

ABSTRAK

Wideband Technology Division Multiple Access (WCDMA) generasi ketiga saat ini merupakan satu-satunya teknologi mobile yang menawarkan berbagai layanan seperti voice, video dan *high speed service* (HSDPA). WCDMA menggunakan frekuensi tunggal 5 MHz dengan kecepatan akses 3,84 Mcps yang digunakan bersama oleh semua pengguna untuk semua layanan. Meningkatnya permintaan akan berbagai layanan terutama layanan data kecepatan tinggi (HSDPA) mempengaruhi kapasitas antar muka udara, daya dan perangkat keras yang sudah ada tidak mencukupi, sehingga memerlukan perluasan kapasitas. Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap kapasitas NodeB-NodeB yang telah dilakukan dengan implementasi 2nd carrier. Terdapat beberapa pilihan untuk mengupgrade kapasitas seperti sectoral split, cell split, dan penambahan frekuensi pembawa. Penambahan carrier merupakan cara yang paling efisien karena tidak ada perangkat keras tambahan, tetapi operator seluler harus memiliki izin frekuensi tambahan dari regulator. Strategi distribusi Penanganan trafik NodeB pada carrier ke-2 bergantung pada berbagai pertimbangan berorientasi bisnis yang merilis trafik 99 atau layanan data berkecepatan tinggi atau keduanya. Perhitungan dan analisis bertujuan untuk mengetahui kapasitas maksimal saluran yang dapat disediakan oleh NodeB terhadap trafik eksisting setelah dilakukan penambahan carrier dan untuk mengetahui performansi berdasarkan nilai KPI (*Key Performance Indicator*) yang telah ditentukan. .

Kata Kunci: UMTS, WCDMA, Multiple Access, HSDPA

ABSTRACT

Wideband Technology Division Multiple Access (WCDMA) is currently the only mobile technology that offers various services such as voice, video and high-speed service (HSDPA). WCDMA uses a single frequency of 5 MHz at a rate of 3.84 Mcps access which is shared by all users for all services. Increased demand for various services, especially high-speed data service (HSDPA) affect air interface capacity, power and hardware that already exists are not sufficient, so it requires capacity expansion. In this study, the analysis performed on NodeB-NodeB capacity that has been done with the implementation of the 2nd carrier. There are several options for upgrading the capacity of such sectoral split, cell split, and the addition of carrier frequency. The addition of carrier is the most efficient way because there is no additional hardware, but the mobile operator shall have additional frequency license from regulator. Distribution strategy NodeB traffic handling in the 2nd carrier depends on a variety of business oriented considerations that traffic release 99 or high-speed data service or both. Calculation and analysis aims to determine the maximum capacity of the channels that can be provided by the NodeB to the existing traffic after the addition of the carrier and to know the performance based on the value of the KPI (Key Performance Indicator) that have been determined.

Keywords: UMTS, WCDMA, Multiple Access, HSDPA

I. PENDAHULUAN

Persaingan dalam bisnis operator seluler saat ini kian meningkat seiring berkembangnya teknologi komunikasi. Hal ini menuntut perusahaan untuk terus berinovasi dalam meningkatkan kualitas produk serta layanannya dan lebih cermat dalam menentukan harga agar perusahaan dapat bersaing dengan kompetitornya [1]. Melihat prospek bisnis komunikasi seluler yang terus meningkat telah memberikan pengaruh yang sangat besar bagi perusahaan jasa telekomunikasi di Indonesia. Adanya 11 (sebelas) operator seluler menimbulkan persaingan yang semakin ketat pada industri telekomunikasi seluler, khususnya dalam variasi produk dan jasa telekomunikasi seluler yang semakin beragam [2].

Oleh karena itu operator telekomunikasi di Indonesia harus sudah menyediakan cakupan atau jangkauan sinyal Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) yang baik [3]. WCDMA merupakan suatu teknologi modulasi dan metode akses jamak yang bekerja berdasarkan teknologi *spread spectrum*, khususnya *Direct Sequence Spread Spectrum*. Sinyal informasi ditransmisikan melalui bidang frekuensi yang jauh lebih lebar dari bidang frekuensi sinyal informasi, atau dengan kata lain sinyal informasi ditransmisikan melalui proses penebaran sinyal informasi oleh kode penyebar ke dalam bidang frekuensi yang lebar [4].

Dalam sistem WCDMA digunakan dua macam operasi pada physical channel: channelization dimana mentransformasikan setiap bit ke dalam jumlah *chip Spreading Factor*, sedangkan *Scrambling Code* digunakan untuk menebar sinyal informasi. Pada operasi channelization, kode OVFSF (Orthogonal variable Spreading factor) digunakan untuk menjaga keorthogonalan antara physical channel dari sebuah hubungan walaupun dengan menggunakan laju yang berbeda. Pada arah uplink setiap user memiliki scrambling code yang unik dan dapat menggunakan semua kode yang terdapat pada code tree OVFSF [5].

Untuk menentukan jumlah node-B yang diperlukan, maka perlu dicari kapasitas sel untuk arah downlink (kapasitas HSDPA). Kapasitas sel HSDPA dipengaruhi oleh jenis modulasi dan maksimum HS-PDSCH-code yang disediakan [6].

Penggunaan kode tersebut dibatasi sampai 5 kode HS-PDSCH dengan maksimum kecepatan data yang dapat dicapai adalah 3,6 Mbps, hal ini karena keterbatasan resource air interface pada sistem shared resource pada single carrier. Sehingga perlu adanya tambahan carrier atau 2nd carrier yang berfungsi membagi jenis traffic. Carrier yang kedua didedikasikan untuk pelanggan HSDPA sehingga resource air interface mencukupi untuk dialokasikan 15 kode HS-PDSCH dengan kecepatan downlink mencapai 14,44 Mbps. Sehingga tujuan dari analisa dari implementasi 2nd carrier adalah untuk meningkatkan throughput serta memperkecil interference antara layanan release 99 dan HSDPA. Penambahan 2nd carrier pada jaringan WCDMA merupakan salah satu teknologi yang mengadopsi konsep multiple access dengan menggunakan kode yang berbeda untuk setiap.

II. TINJAUAN PUSTAKA

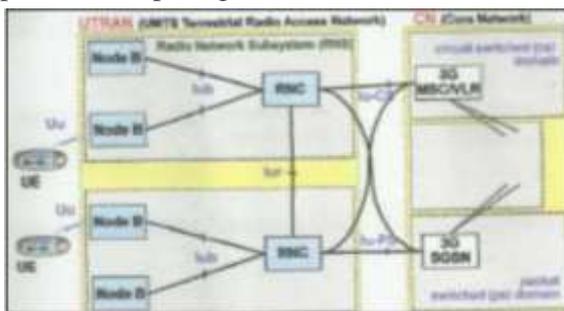
Pada sistem generasi ketiga ini didesain untuk komunikasi multimedia untuk komunikasi person-to-person dapat disajikan dengan tingkat kualitas gambar dan video yang baik, dan akses terhadap informasi serta layanan-layanan pada public dan private network akan disajikan dengan data rate dan kemampuan sistem komunikasi pada generasi ketiga ini lebih fleksibel. Sistem ini merupakan evolusi dari sistem CDMA. Infrastrukturnya mampu mendukung user dengan data rate tinggi, mendukung operasi yang bersifat asinkron, bandwidthnya secara keseluruhan 5 MHz dan didesain untuk dapat berdampingan 2 dengan sistem GSM. Sehingga sistem ini didesain dengan karakteristik tertentu dengan parameter-parameter sebagai berikut :

1. WCDMA merupakan suatu sistem wideband Direct-Sequence Code Division Multiple Access (DS-SS-CDMA), dalam penjelasannya bit-bit informasi ditebar pada sebuah wide bandwidth dengan cara perkalian antara data user dengan bit-bit quads-random (disebut chip-chip) yang berasal dari kode-kode spreading CDMA.
2. Chip rate dengan nilai 3.84 Mcps memandu sinyal user pada sebuah carrier bandwidth yaitu kira-kira 5 MHz. Sistem DS-SS-CDMA

biasanya yang dipakai sebelumnya dengan bandwidth sekitar 1 MHz, seperti pada IS-95, secara umum digunakan sebagai dasar narrowband pada system CDMA. Sudah menjadi sifat dari wide carrier bandwidth dari WCDMA mendukung high user data rate.

3. Sistem WCDMA mendukung variabel data rates user yang cukup besar. Data rate user dijaga konstan selama tiap 10, 20, 40 dan 80 ms frame tergantung kebutuhan QoSnya. Namun, kapasitas data diantara user-user dapat berubah dari frame to frame.
4. WCDMA mendukung operasi dua mode dasar: *Frequency Division Duplex* (FDD) dan *Time Division Duplex* (TDD). Pada mode FDD, frekuensi- frekuensi carrier dipisah 5 MHz untuk penggunaan uplink dan downlink masing- masing, sedangkan pada mode TDD hanya satu frekuensi 5 MHz dengan waktu yang dipakai bergantian (time-shared) antara uplink dan downlink. Dengan uplink sebagai koneksi dari mobile user ke arah base station, dan downlink sebagai koneksi dari base station ke arah mobile.

Komponen transceiver, receiver dan control digabung menjadi satu rak serta mengkombinasikan kanal control serta voice maupun data dalam satu kanal fisik tunggal. NodeB menghubungkan UE dengan interface Uu dan RNC dengan interface Iub dalam UTRAN seperti terlihat pada gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Posisi nodeB dalam Jaringan WCDMA

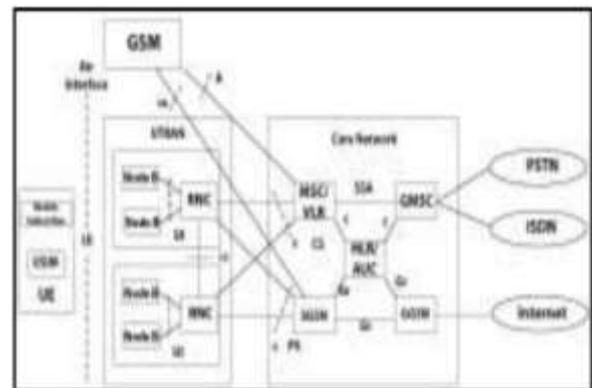
Beberapa fungsi nodeB dalam jaringan WCDMA :

1. Air Interface Management Mengontrol link uplink dan link downlink serta pengkonversian unit baseband ke unit RF
2. Radio Cannel Function Melakukan mapping antara logical channel dan physical channel ,

bertanggung jawab terhadap proses spreading / dispreading pada traffic dan signaling user

3. Transmission management Mengatur mekanisme ATM (Switching dan multiplexing) pada Iub Interface ,mengontrol hubungan AAL2/AAL5, serta bertanggungjawab terhadap proses transmisi E1,PDH,SDH atau microwave
4. O&M processing Berfungsi sebagai pengaturan remotely , sehingga nodeB tersebut bisa diremote dari OMC (Operation and Maintenance Center), juga berfungsi sebagai alarm ketika terjadi masalah di nodeB tersebut .

Teknologi telekomunikasi wireless generasi ketiga (3G) yaitu *Universal Mobile Telecommunication System* (WCDMA). *Universal Mobile Telecommunication System* merupakan suatu evolusi dari GSM, dimana interface radionya adalah WCDMA, serta mampu melayani transmisi data dengan kecepatan yang lebih tinggi, kecepatan data yang berbeda untuk aplikasi-aplikasi dengan QoS yang berbeda. Arsitektur jaringan WCDMA terlihat pada Gambar 2 berikut ini :



Gambar 2. Arsitektur Jaringan 3G WCDMA

Dari gambar 2 terlihat bahwa arsitektur jaringan WCDMA terdiri dari perangkatperangkat yang saling mendukung, yaitu *User Equipment* (UE), *WCDMA Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN) dan *Core Network* (CN).

Jaringan akses radio menyediakan koneksi antara terminal mobile dan Core Network. Dalam UMTS jaringan akses dinamakan *UTRAN* (*Access Universal Radio electric Terrestrial*). UTRA mode UTRAN terdiri dari satu atau lebih Jaringan Sub-Sistem Radio (RNS). Sebuah RNS merupakan suatu subjaringan dalam UTRAN dan terdiri dari *Radio Network Controller* (RNC) dan

satu atau lebih Node B. RNS dihubungkan antar RNC melalui suatu Iur Interface dan Node B dihubungkan dengan satu Iub Interface.

Jaringan Lokal (Core Network) menggabungkan fungsi kecerdasan dan transport. Core Network ini mendukung pensinyalan dan transport informasi dari trafik, termasuk peringanan beban trafik. Fungsi-fungsi kecerdasan yang terdapat langsung seperti logika dan dengan adanya keuntungan fasilitas kendali dari layanan melalui antarmuka yang terdefinisi jelas; yang juga pengaturan mobilitas. Dengan melewati inti jaringan, WCDMA juga dihubungkan dengan jaringan telekomunikasi lain, jadi sangat memungkinkan tidak hanya antara pengguna WCDMA mobile, tetapi juga dengan jaringan yang lain. Protokol pada interface Uu dan Iu dibagi menjadi dua sesuai fungsinya, yaitu bagian control plane dan user plane.

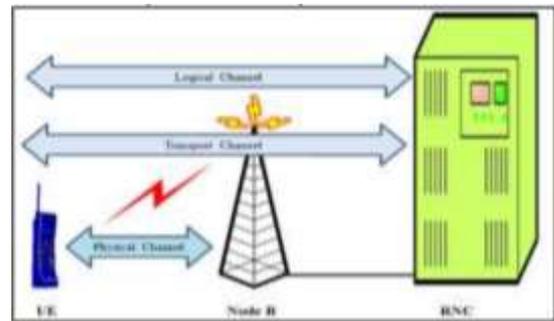
Bagian user plane merupakan protokol yang mengimplementasikan layanan *Radio Access Bearer (RAB)*, misalnya membawa data user melalui *Access Stratum (AS)*. Sedangkan control plane berfungsi mengontrol RAB dan koneksi antara mobile user dengan jaringan dari aspek : jenis layanan yang diminta, pengontrolan sumber daya transmisi, handover, *mekanisme transfer Non Access Stratum (NAS) seperti Mobility Management (MM), Connection Management (CM), Session Management (SM)* dan lain-lain.

Salah satu karakteristik yang terpenting dari WCDMA adalah kenyataan bahwa power merupakan resource yang dishare secara bersama-sama. Hal ini menjadikan sistem WCDMA sangat fleksibel dalam menyediakan paduan layanan dan layanan yang membutuhkan variable bit rate. Radio Resource Management dilakukan dengan mengalokasikan power untuk setiap user (call), dan untuk menjamin bahwa kualitas sinyal tidak melampaui batas maksimum interference yang telah ditentukan. Tidak ada alokasi kode maupun time slot yang dibutuhkan ketika terjadi perubahan bit rate. Hal ini berarti bahwa alokasi physical channel tidak terpengaruh pada saat terjadi perubahan bit rate. Sistem WCDMA tidak membutuhkan perencanaan frekuensi, dikarenakan setiap cell menggunakan frekuensi yang sama.

Setiap *radioframe* memiliki periode sebesar 10 ms yang dibagi ke dalam 15 slot, yang

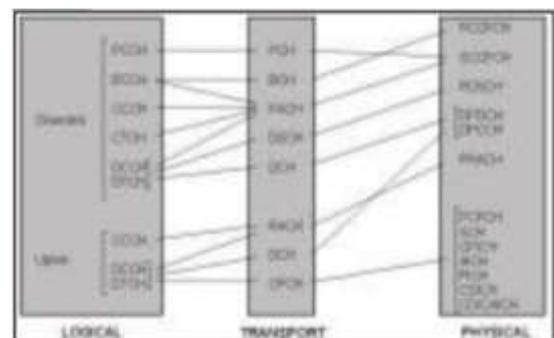
menggambarkan satu periode power control. Power control yang digunakan didasarkan pada SIR (Signal to Interference Ratio), dimana fast closed loop disesuaikan dengan SIR dan perubahan SIR target dilakukan oleh outer loop

Kanal pada WCDMA terbagi atas tiga bagian yaitu kanal logic , kanal transport, kanal fisik seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pembagian kanal pada WCDMA

1. Kanal Logic : digunakan sebagai interface antara RLC dan layer MAC yang berisi tipe tipe informasi yang akan di kirimkan.
2. Kanal Transport : digunakan sebagai interface antara MAC dan layer Physical yang berisikan bagaimana data dikirimkan melalui radio interface WCDMA.
3. Kanal Fisik : sinyal yang di transmisikan melalui kanal radio untuk arah uplink dan downlink. Pembagian kanal pada WCDMA dapat dilihat pada gambar 4 sebagai berikut.



Gambar 4. Pembagian kanal fisik pada WCDMA

Handover merupakan sekumpulan algoritma dan prosedur yang menjamin kelangsungan dari sebuah komunikasi antara UE dan jaringan pada kondisi bergerak dan kondisi overload. Pada kondisi bergerak, prosedur tersebut dibutuhkan untuk mempertahankan connection baik dalam sesama sistem WCDMA pada frekuensi yang sama melalui intra frequency

handover, atau dengan frekuensi yang lain melalui inter frequency handover, atau dengan sistem yang lain melalui Inter Radio Akses Teknologi (IRATHO).

Dengan adanya rake receiver pada kedua UE dan RBS memungkinkan UE di sambungkan dengan lebih dari satu sektor pada dedicated channel. Kondisi ini disebut Soft Handover atau Softer Handover jika UE dihubungkan dengan sektor yang berbeda pada site yang sama. Untuk kondisi handover dalam WCDMA dengan frekuensi yang lain atau dengan sistem yang lain (GSM) maka prosedur Hard Handover dilakukan.

Strategi Multi Carrier sesuai dengan pertimbangan pertimbangan bisnis ada beberapa strategi yang dapat dipertimbangkan dalam implementasinya pada jaringan WCDMA. Setiap pilihan mempunyai keuntungan maupun kerugian. Pada bagian ini akan dijelaskan 3 dasar tipe strategi yang sering digunakan yaitu konfigurasi hirarkis untuk menyeimbangkan mobility dan kapasitas, ekspansi kapasitas untuk handling trafik tinggi dan pemisahan layanan untuk meningkatkan efisiensi dari sistem.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Alokasi frekuensi WCDMA direpresentasikan dengan nilai UARFCN (UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number) , nilai frekuensi carrier didapat dari persamaan berikut :

$$\text{UARFCN} = 5 \times (\text{Frequency in MHz})$$

(1)

Setiap operator di Indonesia akan memiliki identitas UARFCN yang berbeda-beda sesuai dengan regulasi dari hak lisensi pemegang frekuensi. Dalam pembahasan ini digunakan UARFCN 10663 dan 10638 dari salah satu operator di Indonesia dengan band kelas I yaitu 2100 MHz, untuk band ini sesuai dengan ketentuan dari 3GPP TS 25.104 yaitu jarak Uplink dan Downlink sebesar 190 MHz.

Tabel 1 dan tabel 2 menunjukkan masing – masing alokasi frekuensi untuk tiap UARFCN.

Tabel 1. Frekuensi carrier pertama

| UARFCN 10663 | |
|-----------------|-----------------|
| Uplink (MHz) | Downlink (MHz) |
| 1940,1 - 1945,1 | 2130,1 - 2135,1 |

Tabel 2. Frekuensi carrier kedua

| UARFCN 10638 | |
|-----------------|-----------------|
| Uplink (MHz) | Downlink (MHz) |
| 1935,1 - 1940,1 | 2125,1 - 2130,1 |

3.1 Spesifikasi site

Dalam perencanaan implementasi penambahan carrier (*2nd carrier*) dalam jaringan WCDMA memerlukan perhitungan baik dari sisi tipe dan kapasitas nodeB, berupa hardware yang sangat erat kaitannya dengan kapasitas channel element, pipe transmisi pada IuB interface sampai spesifikasi antenna.

3.2 Konfigurasi hardware

NodeB yang digunakan jaringan WCDMA di kota Palangkaraya adalah FlexiBTS yang merupakan produk dari Nokia Siemens Networks. Konfigurasi rack dan module untuk FlexiBTS seperti pada gambar 5.



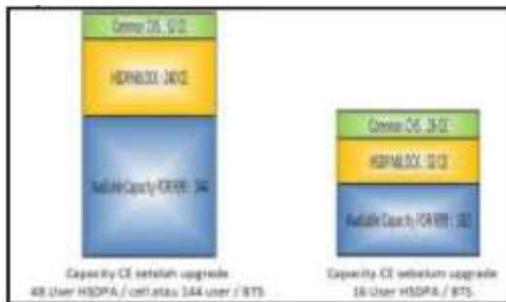
Gambar 5. Logical hardware nodeB

3.3 Kapasitas Channel element (CE)

Merupakan *resource hardware* terpenting yang ada pada setiap Node B, karena channel element dapat menentukan banyaknya user yang dapat terlayani oleh nodeB. Pada penelitian ini tipe nodeB yang dipakai FlexiBTS yang merupakan produk nodeB Nokia Siemens Networks .Untuk dapat melakukan implementasi penambahan 2nd carrier HSDPA 15 code ini diperlukan upgrade / penambahan module, karena konfigurasi module sebelumnya yaitu hanya 1 module baseband FSMB dengan maksimum channel element sebanyak 240

CE. Jumlah CE ini tidak mencukupi untuk kebutuhan implementasi ini.

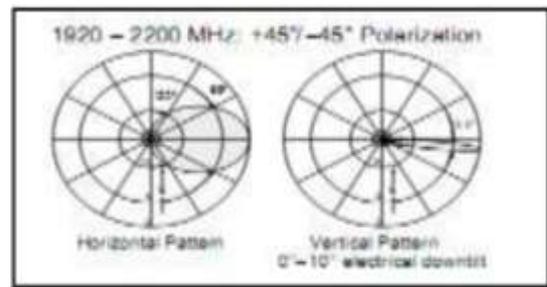
Untuk menambahkan kapasitas CE maka ditambahkan module FSMD, module ini mampu menampung CE sampai maksimum 396 CE. Penentuan kapasitas module tersebut dilakukan inject license yang dilakukan dari Netact melalui license manager berdasarkan PO (Purchase Order) project. Total CE dalam nodeB ini 636, dalam penelitian ini jumlah 636 CE ini tidak seluruhnya dapat dipakai untuk komunikasi, akan tetapi sebagian digunakan untuk dedicated CE untuk HSDPA scheduler 15 code sebanyak 240 CE per nodeB (80 CE per cell) dan *signalling* CCHs (Common Channels) 6 cell sebanyak 52 CE diperlihatkan pada gambar 6.



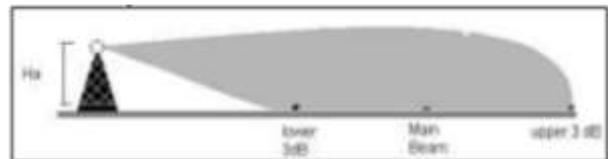
Gambar 6. Perbandingan sebelum dan sesudah penambahan CE

Pada Gambar 6 memperlihatkan pemetaan jumlah alokasi CE untuk jenis layanan (release 99 dan HSDPA) sebelum dan sesudah penambahan module.

Untuk jaringan WCMA kota Palangkaraya menggunakan antenna Kathrein 742 215. Antena tersebut termasuk kategori wideband cross polarized yang memiliki gain tinggi, sekitar 18 dBi, dan half beam width (HBW) horizontal sebesar 65 derajat pada frekuensi kerja 1920 – 2200 MHz. Karakteristik ini sangat tepat untuk area urban dimana jarak antar site cukup berdekatan. Kelengkapan lain dari antena ini yang sangat membantu adalah variable electrical tilt yang dapat diatur dari 0 derajat sampai 10 derajat. Berikut ini adalah spesifikasi antena Kathrein 742 215, yang terlihat pada gambar 7, 8.



Gambar 7. Polarisasi Antenna Kathrein 742 215 pada Frekuensi 1920 – 2200 MHz



Gambar 8. Beam Antena

3.4 Konfigurasi IuB Interface

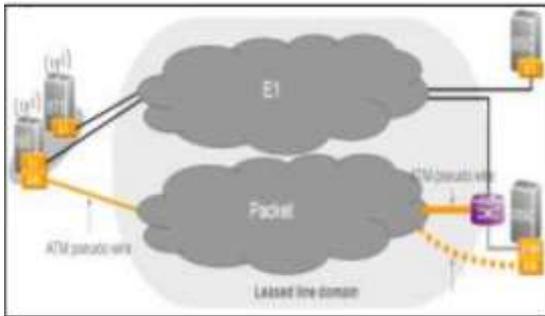
IuB merupakan resource yang diperlukan untuk mengirimkan informasi data dari nodeB ke RNC ataupun sebaliknya. Pengirimannya menggunakan system Asynchronous Transfer Mode (ATM) yang menyebabkan proses delay akibat adanya penambahan overhead pada setiap layernya. Bandwidth IuB terdiri dari:

- O&M : Operation and Maintenance, alokasi bandwidth untuk kebutuhan untuk mengontrol alarms di RNC, downloading software antara BTS dan RNC, monitoring serta untuk konfigurasi secara remote
- CNBAP & DNBAP : alokasi bandwidth untuk kebutuhan carries message yang berkenaan dengan setting-up dan releasing link radio.
- AAL2 Signaling : Alokasi bandwidth untuk control signaling yang berhubungan dengan setting-up koneksi AAL2 pada penggunaan AAL2 user plane
- Userplane (U-Plane) Virtual Channel Connection (VCCs) dilakukan dengan AAL2, alokasi bandwidth ini yang membawa data informasi aktual.

VCCs diklasifikasikan ke beberapa tipe, tergantung dari traffic yang dibawa : RT (real time) DCH, NRT (not real time) DCH, HSDPA, HSUPA. Untuk kapasitas IuB pada nodeB dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini.

$$\text{IuB capacity} = \text{O\&M} + \text{CNBAP} + \text{DNBAP} + \text{AAL2 Signalling} + \text{User plane} \quad (2)$$

Untuk pipe transmisi dibedakan menjadi 2 yaitu konfigurasi E1 dan Ethernet ATM pseudowire yang diperlihatkan pada Gambar 9, tergantung dari traffic layanan yang dibawa, untuk layanan HSDPA akan dilewatkan melalui ethernet ATM pseudowire 30 Mbps.

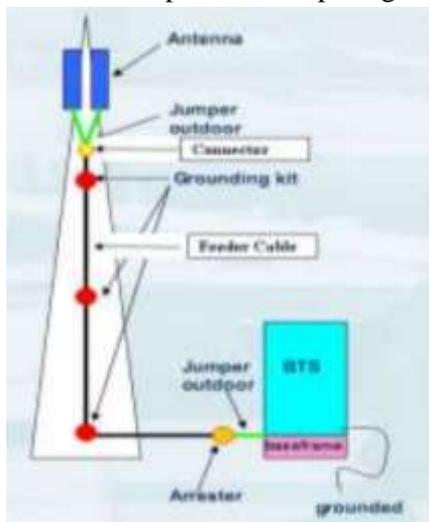


Gambar 9. Konfigurasi Hybrid backhaul konfigurasi E1 + Ethernet

3.5 Link budget WCDMA dan HSDPA

1. Loss hardware

Rugi-rugi (Loss) merupakan salah satu hal penting yang mempengaruhi dalam perhitungan *link budget*. Loss tersebut bisa berasal dari *cable*, *jumpe*, *connector* seperti terlihat pada gambar 10.



Gambar 10. Loss pada pemancar WCDMA

Link budget merupakan suatu proses perhitungan awal dalam mendesain suatu sistem komunikasi, menentukan jangkauan penerimaan sinyal, kapasitas dan kualitas untuk melayani kebutuhan dalam jaringan. Banyak faktor yang mempengaruhi dalam perhitungan link budget

antara lain tipe layanan, penetrasi pasar, tipe lingkungan (urban, sub urban, rural), sistem konfigurasi yang berkaitan dengan loss (loss antenna BTS, BTS Power, rugi-rugi kabel / jumper, handover gain, pathloss). Pada perhitungan link budget diperlukan kesepakatan antara pihak vendor dengan pihak operator baik dari segi material seperti tipe kabel, konektor, jumper, tinggi antenna dan jarak antenna ke UE.

Dua factor yang biasa diketahui dalam perhitungan power link budget adalah frekuensi (MHz) dan TX Power (dBm), seperti terlihat Tabel 3.

Tabel 3. Frekuensi dan TX Power PT Telkomsel untuk implementasi 2nd carrier

| Sistem | Layanan | Frekuensi (MHz) | TX Power (dBm) | TX Power (w) |
|--------|----------------------|--|----------------|--------------|
| F1 | Release 99 | 1940,1 – 1945,1 (Uplink) 2130,1 – 2135,1 (Downlink) | 43 | 20 |
| F2 | Release 99/ HSDPA | 1935,1 – 1940,1 (Uplink) 2125,1 – 2130,1 (Downlink) | 43 | 20 |

Pada perhitungan link budget WCDMA untuk layanan release 99 tersebut berada di carrier pertama dengan downlink 2130,1 MHz dan 2nd carrier downlink 2125,1 MHz. Bertujuan untuk mengetahui total power yang ditransmisikan dari nodeB ke UE ke tiap RAB serta menghitung seberapa jauh cakupan dari sinyal yang ditransmisikan ke UE untuk tiap layanan RAB. Sebelum menghitungnya perlu diketahui parameter di sisi transmitter nodeB terlihat pada tabel 4.

Tabel 4. Parameter Transmitter nodeB

| Parameter | Nilai / Satuan |
|--------------------------|--|
| Total Transmission Power | 20w = 43 dBm |
| η (Load) maks user | 85% |
| Control overhead | 15% |
| Transmitter power TCH | $(1 - \text{control overhead}) \times \text{Total Power load maksimum} \times \text{maximum user per RAB}$ |
| TX antenna gain | 17,4253 dBi |
| Tx cable loss | 4 |

2. EIRP Transmitter NodeB

Dari data di tabel 3.17 dapat dihitung EIRP per connection per RAB (Radio Access Bearer) dengan asumsi load $\eta=85\%$, yang merupakan nilai daya maksimum gelombang sinyal mikro yang keluar dari transmitter antenna. Perhitungan ini merupakan penjumlahan daya output TCH dari

transmitter antena dengan gain antena dikurangi dengan line loss seperti terlihat pada persamaan berikut :

$$\text{Transmitter EIRP(db)} = \text{Transmit power per TCH (dBw)} - \text{line losses} + \text{antena gain(dBi)}$$

Sedangkan untuk transmit power per TCH (dBw) sesuai dengan persamaan dibawah ini.

$$\text{Transmitter power TCH} = \frac{(1 - \text{control overhead}) \times \text{Total Power}}{\text{load target} \times \text{maximum user per RAB}} \quad (3)$$

Untuk layanan voice 12,2 Kbps, dengan asumsi semua power hanya untuk layanan tersebut, maka kebutuhan power per connection dalam kondisi load 85% dengan maksimum user downlink adalah 66 (hasil dari perhitungan maksimum kanal per RAB)

$$\text{Transmitter power TCH} = \frac{(1-0.15) \times 20w}{0.85 \times 66} = 0,30303 w$$

24,81 dBm

$$\begin{aligned} \text{Transmitter EIRP(db)} &= 24,81 \text{ dBm} - 4,4 \text{ dB} + 17,4253 \text{ dB} \\ &= 37,84 \text{ dBm} \end{aligned}$$

3. RSCP pada Receiver nodeB

Perhitungan RSCP pada sisi receiver NodeB merupakan nilai kuat sinyal yang diterima oleh receiver pada sisi nodeB. RSCP minimum dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini.

$$\text{RSCP}_{\min} \text{ (dBm)} = \text{Transmitter EIRP} - \text{wall loss (penetration loss)} - \text{body loss} - \text{Max Propagation loss uplink} - \sum (\text{handover} + \text{fading margin})$$

4. Radius maksimum arah uplink

Dari data maksimum loss propagasi per RAB pada tabel 5 maka dapat dihitung radius maksimum arah uplink dengan rumusan Okumura-hata :

$$\text{Log R} = \frac{\text{Loss Propagasi} - 46.3 - 33.9 \log f + 13.82 \log hb + MS_{\text{gain}}}{44.9 - 6.55 \log hb} \quad (4)$$

Dengan menggunakan rumusan (4) didapatkan maksimum radius arah uplink untuk tiap layanan RAB dengan asumsi load 85% yang diperlihatkan pada tabel 5.

Tabel 5. Radius Uplink per RAB ($\eta=85\%$)

| SERVICES | Uplink | |
|-----------|--------|--------|
| | Eb/NO | R (Km) |
| Voice AMR | 4,4 dB | 2.17 |
| CS-64 | 2 dB | 1.83 |
| PS-64 | 2 dB | 1.83 |
| PS-128 | 1,7 dB | 1.51 |
| PS-384 | 1,4 dB | 1.1 |

Daerah cakupan (cell range) mix antara downlink dan uplink diambil nilai cakupan terkecil dikarenakan agar masih terjaga hubungan dari UE ke Base stasion maupun sebaliknya yang diperlihatkan pada tabel 6.

Tabel 6. Radius Uplink per RAB ($\eta=85\%$)

| SERVICES | Cell range R (Km) |
|-----------|-------------------|
| Voice AMR | 1,93 |
| CS-64 | 1,83 |
| PS-64 | 1,83 |
| PS-128 | 1,51 |
| PS-384 | 1,10 |

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis ini menghitung kapasitas kanal maksimum yang dapat disediakan per RAB, perhitungannya diasumsikan load maksimum 100% untuk tiap carriernya. Berdasarkan implementasi, RNC membatasi load maksimum 50% untuk release 99 pada 2nd carrier arah downlink, karena 50% sisanya adalah alokasi minimum untuk resource HSDPA.

Pada arah uplink release 99 bisa menggunakan resource hingga 100% baik untuk carrier pertama maupun 2nd carrier. Parameter input untuk persamaan (4) menggunakan parameter pada tabel 5 dan 6, nilai tersebut berdasarkan referensi vendor. Dengan bantuan Microsoft excel 2007 didapatkan iterasi hasil perhitungan dari persamaan (4) didapat nilai maksimum kanal uplink per RAB untuk carrier pertama seperti terlihat pada tabel 7.

Tabel 7. Input perhitungan untuk kapasitas uplink

| Layanan | Bit Rate (KBPS) | Eb/No [dB] | v | W | i |
|---------|-----------------|------------|------|---------|-----|
| Voice | 12,2 | 4,4 | 0,67 | 3840000 | 65% |
| Video | 64 | 2,0 | 1 | 3840000 | 65% |
| PS-64 | 64 | 2 | 1 | 3840000 | 65% |
| PS-128 | 128 | 1,4 | 1 | 3840000 | 65% |
| PS-384 | 384 | 1,7 | 1 | 3840000 | 65% |

Tabel 8. Input perhitungan untuk kapasitas downlink

| Layanan | Bit Rate (Kbps) | Eb/NO [dB] | v | α | W | i |
|---------------|-----------------|------------|------|-----|---------|-----|
| Voice | 12,2 | 7,4 | 0,67 | 50% | 3840000 | 65% |
| CS-64 (video) | 64 | 5,0 | 1,0 | 50% | 3840000 | 65% |
| PS-64 | 64 | 3,7 | 1,0 | 50% | 3840000 | 65% |
| PS-128 | 128 | 3,4 | 1,0 | 50% | 3840000 | 65% |
| PS-384 | 384 | 3,4 | 1,0 | 50% | 3840000 | 65% |

Tabel 9. Kapasitas kanal per RAB uplink carrier pertama

| Layanan | Uplink | |
|-----------|------------|-----------------|
| | Eb/No [dB] | Kapasitas kanal |
| Voice AMR | 4,4 | 103,37 |
| CS-64 | 2,0 | 22,92 |
| PS-64 | 2 | 22,94 |
| PS-128 | 1,4 | 13,17 |
| PS-384 | 1,7 | 4,09 |

Untuk menghitung kapasitas kanal untuk downlink digunakan persamaan 3,4 dan tabel 9 sebagai inputan parameter, didapat hasil perhitungan kapasitas nodeB carrier pertama per RAB seperti terlihat pada tabel 10.

Tabel 10. Kapasitas kanal per RAB downlink carrier pertama

| Layanan | Downlink | |
|---------------|------------|-----------|
| | Eb/No [dB] | Kapasitas |
| Voice AMR | 7,4 | 74,33 |
| CS-64 (video) | 5,0 | 16,49 |
| PS-64 | 3,7 | 22,25 |
| PS-128 | 3,4 | 11,92 |
| PS-384 | 3,4 | 3,97 |

Dengan asumsi perhitungan maksimum kanal release 99 untuk 2nd carrier adalah sama seperti carrier yang pertama, maksimum load kapasitas downlink 2nd carrier maksimum hanya sampai 50% dari arah downlink sedangkan untuk uplink sampai 100%, hasil perhitungannya seperti terlihat pada tabel 11 dibawah ini.

Tabel 11. Kapasitas kanal per RAB uplink dan downlink 2nd carrier

| Layanan | Uplink | | Downlink | |
|---------------|------------|-----------|------------|-----------|
| | Eb/No [dB] | Kapasitas | Eb/No [dB] | Kapasitas |
| Voice AMR | 4,4 dB | 103,37 | 7,4 | 37,165 |
| CS-64 (video) | 2 dB | 22,92 | 5,0 | 8,245 |
| PS-64 | 2 dB | 22,94 | 3,7 | 11,125 |
| PS-128 | 1,4 dB | 13,17 | 3,4 | 5,96 |
| PS-384 | 1,7 dB | 4,09 | 3,4 | 1,985 |

Sehingga total kapasitas nodeB per sektornya dapat dihitung dari hasil penjumlahan pada tabel 9,10,11 untuk layanan release 99 seperti terlihat pada tabel 12 dibawah ini.

Tabel 12. Kapasitas kanal per sektor RAB release 99

| Layanan | Uplink | | Downlink | |
|---------------|------------|-----------|------------|-----------|
| | Eb/No [dB] | Kapasitas | Eb/No [dB] | Kapasitas |
| Voice AMR | 4,4 dB | 206,74 | 7,4 | 111,49 |
| CS-64 (video) | 2 dB | 45,84 | 5,0 | 24,73 |
| PS-64 | 2 dB | 45,88 | 3,7 | 33,37 |
| PS-128 | 1,4 dB | 26,34 | 3,4 | 17,88 |
| PS-384 | 1,7 dB | 8,18 | 3,4 | 5,955 |

Dari tabel 12 diatas menunjukkan bahwa tiap layanan memiliki kapasitas berbeda-beda yang dipengaruhi oleh bitrate serta energy bit per total noise (Eb/No). Eb/No merupakan besarnya energy minimum yang diperlukan untuk mengirim sinyal informasi data ke nodeB (Uplink) atau dari nodeB ke UE (downlink). Nilai ini bergantung pada C/I yang mempengaruhi kualitas layanan (Quality Of Services), pada asumsi ini penggunaan nilai Eb/No berdasarkan requirement referensi vendor. Nilai dari voice activity factor yang digunakan adalah 0,67 untuk voice sedangkan untuk data adalah 1,0.

Pada kenyataannya dalam suatu hubungan tidak 100% terjadi komunikasi, terkadang user dalam keadaan terhubung tanpa mengirimkan informasi (suara). Faktor interferensi yang digunakan adalah 65% untuk nodeB 3 sektor, Sedangkan factor orthogonal yang digunakan sebesar 50%, hal tersebut untuk menjamin cross-correlation dan meminimalkan interferensi antar user. Berdasarkan pada tabel 4.6, total throughput nodeB per sektornya untuk layanan release 99 dapat ditentukan bitrate offeringnya yaitu jumlah kanal dikalikan dengan bit rate RAB , seperti pada tabel 13 dibawah ini.

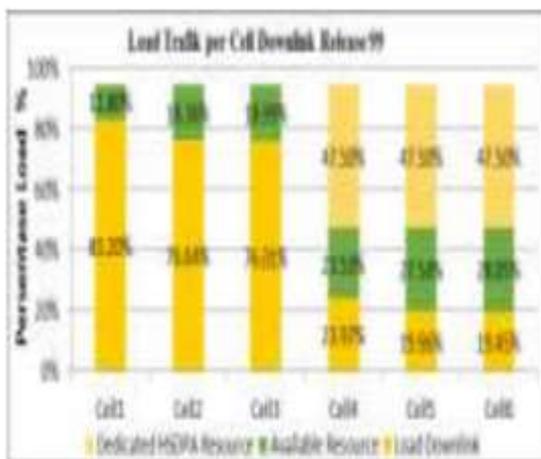
Tabel 13. Total Offering Throughput (Kbps) untuk tiap layanan RAB per sektor

| Layanan | Bit rate | Uplink | | Downlink | |
|---------------|-----------|--------|---------|----------|---------|
| | | Kanal | Kbps | Kanal | Kbps |
| Voice AMR | 12.2 Kbps | 206.74 | 2522.22 | 111.49 | 1360.17 |
| CS-64 (video) | 64 Kbps | 45.84 | 2933.76 | 24.73 | 1582.72 |
| PS-64 | 64 Kbps | 45.88 | 2936.32 | 33.37 | 2135.68 |
| PS-128 | 128 Kbps | 26.34 | 3371.52 | 17.88 | 2288.64 |
| PS-384 | 384 Kbps | 8.18 | 3141.12 | 5.955 | 2286.72 |

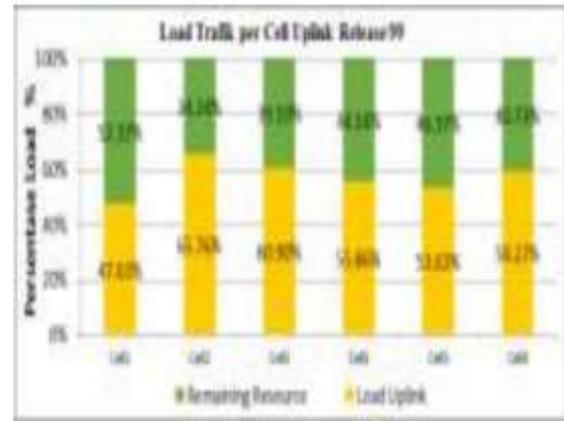
Perhitungan kanal maksimum ini adalah ketika cell tersebut hanya diperuntukan hanya melayani RAB tersebut. Sehingga diperlukan perhitungan berdasarkan trafik setelah penambahan 2nd carrier secara simultan untuk mengetahui load dari eksisting network. Dalam perhitungan ini diambil contoh nodeB DIPONEGOROMW.

Pada penelitian ini diamati trafik sesudah implementasi penambahan 2nd carrier pada saat peak hour, data yang diambil merupakan data statistic di RNC saat peak hour dari pengamatan beberapa hari.

Dari data tersebut dilakukan perhitungan untuk melihat besarnya load trafik eksisting terhadap jumlah kanal maksimum yang disediakan masing-masing carrier. Dengan bantuan Microsoft excel 2007 didapat iterasi besarnya persentasi dari load setelah implementasi 2nd carrier seperti terlihat pada tabel 11, tabel 12, tabel 13. Masing-masing 53.37%, 34.24%, 39.1% untuk carrier pertama dan 44.14%, 46.37%, 46.54% untuk 2nd carrier.



Gambar 11. Kondisi load trafik per cell Downlink setelah implementasi 2nd carrier



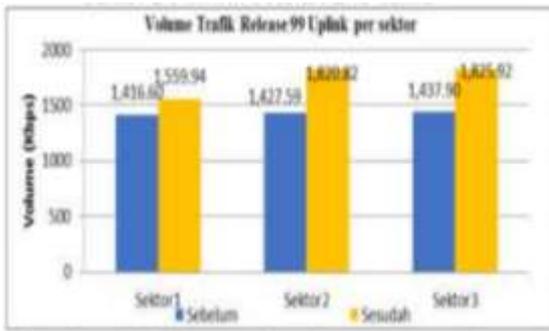
Gambar 12. Kondisi load trafik per cell Uplink setelah implementasi 2nd carrier

Bila dibandingkan dengan kondisi load trafik sebelum implementasi seperti pada tabel 4.14, merupakan hasil perhitungan lampiran 2 bagian 2, load dari cell 1,2,3 (carrier pertama) mengalami sedikit penurunan pada arah downlink karena user yang sudah connected menggunakan layanan data release 99 (PS64, PS128, PS384) akan tetap berada di carrier pertama.

Sedangkan terjadi penurunan load signifikan pada arah uplink, hal tersebut dikarenakan load arah uplink sebagian besar trafik data user saat menggunakan layanan HSDPA, dalam kondisi ini user tetap berada di 2nd carrier. Namun secara keseluruhan traffic volume trafik rata-rata pada tiap sektor mengalami kenaikan setelah implementasi 2nd carrier seperti terlihat pada gambar 13.

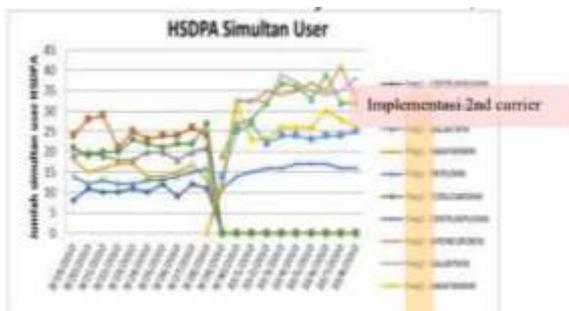


Gambar 13. Volume trafik rata-rata release 99 per sektor Downlink setelah 2nd carrier



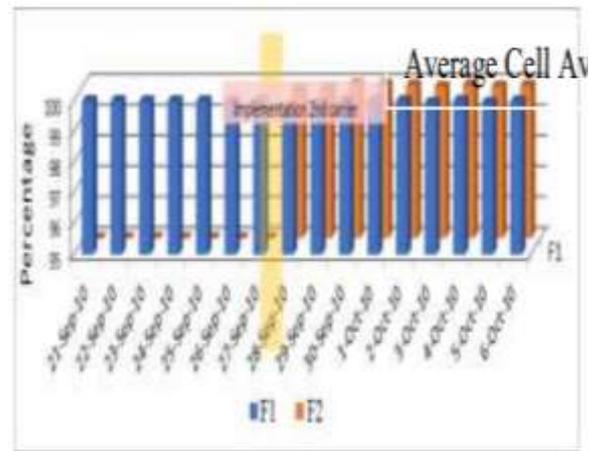
Gambar 14. Volume trafik release 99 per sektor Uplink

Berdasarkan pengukuran statistik di RNC selama 1 minggu sebelum dan sesudah implementasi selama periode penambahan 2nd carrier, jumlah pengguna simultan HSDPA meningkat per sektornya,. Jumlah maksimum simultan user HSDPA berdasarkan measurement terlihat pada tabel 4.15 dan gambar 4.5, F1 merupakan carrier pertama dan F2 adalah 2nd carrier, setelah implementasi 2nd carrier (28 September 2010) user HSDPA akan dihandle oleh 2nd carrier (F2). Peningkatan jumlah simultan user HSDPA banyak dipengaruhi oleh ketersediaan resource untuk layanan HSDPA



Gambar 15. Jumlah maksimum Simultan User HSDPA

Persentasi Cell Availability merupakan jumlah waktu kondisi cell tersebut aktif dan mampu untuk menghandle traffic dibandingkan dalam periode tertentu, data yang diambil merupakan statistic dari RNC dengan persentasi per hari seperti pada Gambar 19. Sample measurement diambil beberapa hari sebelum dan sesudah aktifasi 2nd Carrier.



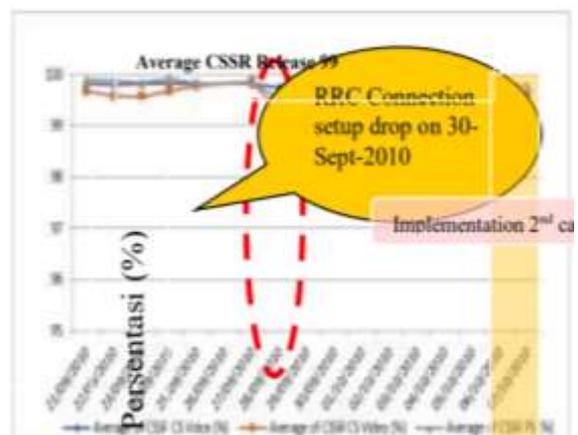
Gambar 16. Cell availability rata-rata

CSSR adalah presentasi tingkat keberhasilan melakukan setup panggilan sampai diperoleh kanal yang dipergunakan pada saat awal signaling. CSSR merupakan persentasi keberhasilan dalam panggilan yang salah satunya faktornya ditentukan oleh ketersediaan resource, dengan adanya pemisahan layanan HSDPA ke 2nd carrier akan menjamin ketersediaan resource power maupun kode untuk layanan release 99.

Tabel 14. Penilaian CSSR referensi Operator Layanan

| Niai CSSR (%) | kategori |
|---------------|-------------|
| 95% | Sangat baik |
| 90 – 95% | Baik |
| 80-90% | Cukup Baik |
| <80% | Kurang baik |

Dari hasil pengukuran pada statistic RNC seperti terlihat pada lampiran 7 bagian 1 didapat pola grafik seperti pada gambar 20.



Gambar 17. Persentasi CSSR rata rata layanan release 99

Dari hasil pengukuran statistik di RNC seperti terlihat pada gambar 4.7, untuk tanggal 30 September 2010 terlihat persentase rata-rata CSSR voice dan video mengalami penurunan hingga di bawah 98% . Hal tersebut didistribusi oleh performansi site RRIPLKMW dan site KAHAYANMW seperti terlampir pada lampiran 7 yang menurun hingga 91% , setelah dilakukan penggantian module base band dikarenakan degraded capacity performansi site tersebut kembali normal dan memenuhi persyaratan nilai KPI sesuai tabel 3.31 yaitu $\geq 98\%$

4.1 Call Completion Success Rate (CCSR) rel 99

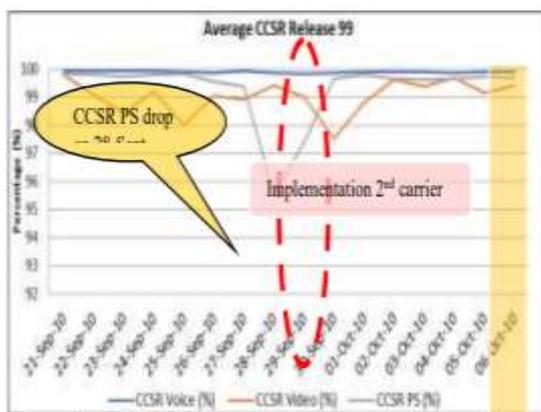
CCSR merupakan tingkat kesuksesan suatu hubungan sejak tersambung hingga salah satu pihak melakukan pemutusan hubungan , berikut penilaian untuk CCSR seperti pada tabel 15. berdasarkan requirement dari Operator layanan :

Tabel 15. Penilaian CSSR referensi Operator Layanan

| Niai CSSR (%) | kategori |
|---------------|-------------|
| $\geq 98\%$ | Sangat baik |
| 93 – 95% | Baik |
| 80-90% | Cukup Baik |
| <80% | Kurang baik |

Pengukuran yang diambil berdasarkan nilai statistik di RNC seminggu sebelum dan sesudah implementasi 2nd carrier. Statistik yang digunakan merupakan nilai rata-rata CCSR dari 6 nodeB(CENTRUMPLKMW,DIPONEGOROMW, KAHAYANMW,RRIPLKMW,YOSSUDARSOM W).

Dari hasil pengukuran pada statistic RNC seperti terlihat pola grafik seperti pada Gambar 19.



Gambar 19. CCSR rata-rata layanan release 99

Seperti terlihat pada gambar 19 CCSR rata-rata drop hingga di bawah 96%, hal ini didistribusi oleh site KAHAYANMW dan RRIPLKMW drop ke persentase 79% . Setelah diadakan optimasi untuk parameter CPICHtoRefRABOffset yang merupakan nilai parameter offset transmisi dari primary CPICH dan referensi alokasi maksimum power transmisi arah downlink, kedua site tersebut kembali normal. Dari hasil tersebut sudah memenuhi persyaratan nilai KPI yaitu $98\% \leq$.

Data yang diambil merupakan statistik pengukuran yang dilakukan oleh RNC pada masing-masing nodeB 1 minggu sebelum dan sesudah implementasi 2nd carrier, pengukuran tersebut dilakukan untuk mengetahui persentasi keberhasilan melakukan handover untuk Intra Inter-frequency HO , Inter System Handover 3G to 2G dan SHO (Softer Handover) merupakan persentasi jumlah keberhasilan suatu handover dari carrier pertama ke 2nd carrier dan antar 2nd carrier baik ke nodeB sendiri maupun ke nodeB yang lain , handover ini didefinisikan hanya dari 2nd carrier ke carrier pertama dan antar 2nd carrier dalam satu nodeB maupun nodeB neighbour.

Dari hasil pengukuran pada statistic RNC seperti terlihat pada lampiran 8 bagian 1 didapat pola grafik seperti pada gambar 20.



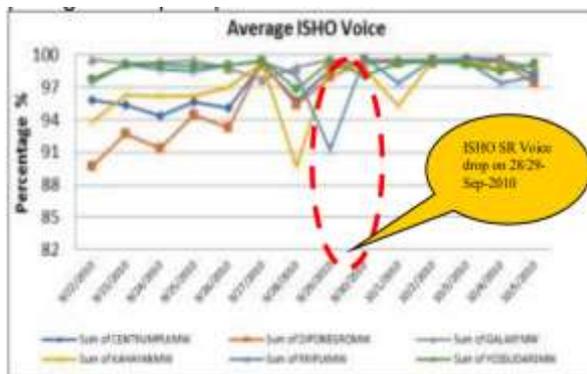
Gambar 20. HOSR 2nd Carrier IFHO Success rate

Standar performansi untuk HOSR 2nd carrier berdasarkan syarat nilai KPI adalah minimal 95%, dari statistik gambar 22 terlihat bahwa HOSR tersebut sudah memenuhi standar performansi KPI. Namun pada tanggal 5 Oktober 2010 untuk CENTRUMPLKMW berada di bawah KPI karena tidak bisa bekerja secara maksimal

karena module baseband mengalami degraded .Pada tanggal 6 Oktober 2010 terlihat HOSR sudah membaik setelah diadakan penggantian module tersebut, sedangkan untuk site KAHAYANMW dan YOSSUDARSMW pada periode tersebut mengalami masalah link transmisi. Dari data tersebut sudah memenuhi persyaratan nilai KPI sesuai tabel 3.33 yaitu $95\% \leq$.

ISHO (Inter System Handover 3G to 2G) success rate merupakan suatu mekanisme proses kontinuitas layanan dari jaringan 3G ke jaringan 2G , performansi ini sangat dipengaruhi oleh kualitas dari jaringan 2G dan parameter dari neighbour yang didefinisikan serta jenis layanan yang melakukan handover . Layanan yang bisa melakukan handover adalah untuk layanan HSDPA, data dan voice sedangkan untuk layanan real time video call akan drop ketika proses handover dikarenakan di jaringan GSM tidak bisa mensupport layanan video call . Untuk layanan HSDPA dan packet data akan dihandover dengan layanan GPRS atau EDGE tergantung dari kemampuan jaringan 2G.

Dari hasil pengukuran pada statistic RNC seperti terlihat pada lampiran 8 bagian 2 didapat pola grafik seperti pada gambar 21.



Gambar 21. ISHO Success rate Voice

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penambahan carrier frekuensi pada jaringan WCDMA merupakan cara paling efisien untuk menambah kapasitas nodeB tanpa ada penambahan hardware, karena semua perangkat vendor untuk nodeB (module baseband) sudah mendukung lebih dari 4 carrier. Untuk ini operator layanan hanya memerlukan investasi pembelian lisensi hak pemegang frekuensi pada pihak Regulator dan

license aktivasi feature, namun secara keseluruhan biaya jauh lebih murah untuk implementasi ekspansi kapasitas skala besar. Strategi distribusi trafik yang dilakukan pada implementasi 2nd carrier menentukan target jenis layanan yang akan dicapai yaitu layanan release 99 atau kecepatan data tinggi atau keduanya secara load sharing carrier. Kapasitas WCDMA berkorelasi dengan alokasi keterbatasan power pada arah downlink dan interference antar user pada arah uplink. Untuk layanan circuit switch voice , maksimum throughput yang di-offer untuk tiap sektor yaitu sebesar 2933.76 Kbps untuk uplink dan 1582.72 Kbps untuk downlink. Untuk layanan packet switch (PS) , maksimum throughput yang bisa di-offer untuk tiap sektor sebesar 3371.52 Kbps untuk uplink dan 2288.64 untuk downlink. Sedangkan untuk layanan HSDPA maksimum throughput data adalah 14.44 Mbps, ini dapat dicapai jika hanya ada single user dalam coverage tersebut yang diukur langsung di lokasi site.

5.2 Saran

Berdasarkan analisis load downlink trafik eksisting setelah implementasi 2nd carrier , total load trafik eksisting release 99 pada carrier pertama sudah mencapai $\geq 75\%$ dan 2nd carrier $\geq 19\%$. Kondisi pada carrier pertama sudah mendekati batas maksimum load (95%), hal ini sangat rentan terhadap alokasi kanal terhadap pertumbuhan trafik user di saat mendatang. Untuk load uplink trafik existing maksimum mencapai 65,76%, hal ini masih mencukupi untuk mengantisipasi trafik user di saat mendatang, namun load uplink ini akan meningkat secara signifikan jika operator layanan berencana mengaktifkan tambahan layanan data HSUPA (High Speed uplink Packet Access) pada nodeB-nodeB di cluster ini. Analisis jumlah throughput trafik per hari sesudah penambahan 2nd carrier menunjukkan peningkatan yang signifikan , kenaikan 87,25% untuk voice dan untuk layanan PS 73,55% sedangkan untuk payload HSDPA sebesar 93,18% .

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Fanly W. Manus, B. Lumanauw, “Kualitas Produk, Harga, dan Kualitas Layanan, Pengaruhnya Terhadap Kepuasan Pelanggan Kartu Prabayar Tri di Kelurahan Wawalintouan Tondano Barat”, Jurnal EMBA, Vol.3 No.2 Juni 2015, Hal. 695-705.
- [2] Y. Rizal, “Evaluasi Strategi Pengembangan Jaringan Telekomunikasi dengan Blue Ocean Strategy”, IncomTech, Jurnal Telekomunikasi dan Komputer, vol.6, no.1, Juli 2015.
- [3] Ardiansyah, D. W. Astuti, “Analisa Performansi Received Total Wideband Power (Rtwp) Terhadap Kualitas Performansi Jaringan Pada Jaringan WCDMA IBC TELKOMSEL”, Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana, Vol.7 No.2 Mei 2016.
- [4] A. Taufika F., S. H. Pramono, Erni Yudaningsy, “Implementasi Backward Chaining untuk Diagnosis Low Soft Handover Success Rate pada Jaringan WCDMA”, Jurnal EECCIS Vol. 7, No. 2, Desember 2013.
- [5] S. El Yumin, R. Rahmawati, “Perbaikan TransferData Rate Akibat Kegagalan PS RAB dengan Metoda Re-Konfigurasi MML Command”, Sainstech Vol. 25 No. 1, Januari 2015.
- [6] F. R. Hakim, T. Hasan, R. Munadi, “Analisa Penerapan Network Sharing dan Tekno Ekonomi Biaya Investasi CAPEX & OPEX”, Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia 2015, STMIK AMIKOM Yogyakarta, 6-8 Februari 2015.