

Peningkatan Kapasitas Sel CDMA pada Daerah Urban dengan Partisi Sel

Melvi Ulvan

Jurusan Tek. Elektro Univ. Lampung, Gedung H Fakultas Teknik
Jl. Prof.S. Brodjonegoro No. 1 Bandar Lampung 35145, telp. 0721-701609 ext. 219, 220;
Email: melvi_ulvan@unila.ac.id, mel_ulvan@yahoo.com

Abstrak

Partisi sel diharapkan dapat mengurangi pengaruh interferensi, meningkatkan kapasitas pada sel tersebut dan dapat mengoptimalkan spektrum frekuensi yang tersedia. Tujuan partisi sel adalah untuk meningkatkan kapasitas, terutama kapasitas untuk *inner cell* yang daya lebih rendah dan frekuensi yang berbeda dari *outer cell*. Makalah ini akan menunjukkan seberapa besar peningkatan kapasitas setelah dilakukan partisi. Perhitungan *Maximum Allowable Path Loss* (MAPL) dan link budget untuk arah *forward* dan *reverse* telah dilakukan. Model propagasi yang digunakan adalah model propagasi daerah urban, Walfisch-Ikegami, Kesimpulan yang didapat adalah kapasitas pada *site* dapat ditingkatkan sehingga keadaan *blocking* pada sel tersebut dapat dikurangi. Metode partisi sel ini sangat cocok untuk daerah urban yang mempunyai tingkat kepadatan *traffic* yang tinggi.

Kata kunci: kapasitas sel, partisi sel, perencanaan sel, selular CDMA.

Abstract

A cell partition is expected to reduce the inter-cell interference, increasing capacity and optimize the frequency spectrum allocation. The purpose of cell partition is to increase the capacity of inner cell which have lower power and different frequency to outer cell. This paper shows how generous the capacity increased after the partition has been done. The calculation of MAPL and the link budget have been done as well. The propagation model of Walfisch-Ikegami has been used in the paper. As the result, It has been found that the site capacity was increased, therefore the order of blocking can be reduced. The cell partition is appropriate for the area with high-level of traffic.

Keywords: cell capacity, cell partition, cell planning, CDMA cellular.

Pendahuluan

Sistem selular CDMA (*Code Division Multiple Access*) mempunyai besar kapasitas kanal trafik 5 kali lebih besar dibanding standard selular GSM (*Global System for Mobile Communications*), dan 10 kali lebih besar dari AMPS (*Advanced Mobile Phone Service*) [1]. Pada prakteknya, semakin besar kapasitas yang dapat disediakan oleh suatu sistem maka semakin besar pula trafik pembicaraan yang dapat dilayani.

Sistem CDMA juga mempunyai keterbatasan dalam kapasitas. Secara teoritis ada dua hal yang membatasi jumlah kanal maksimum yang dapat didukung oleh satu carrier CDMA. Batas maksimum dari jumlah maksimum kanal adalah jumlah maksimum dari Walsh codes yang dapat diberikan pada setiap sel (64 Walsh Code) [2]. Hal kedua yang menjadi pembatas dari kapasitas sistem CDMA adalah interferensi [2].

Interferensi disebabkan oleh *user* (pengguna) itu sendiri dan interferensi yang terjadi akibat penggunaan frekuensi yang sama (interferensi co-channel). Semakin banyak *user* yang terdapat pada suatu cakupan sel maka interferensi yang ditimbulkan juga semakin besar, sehingga kualitas layanan menjadi berkurang.

Solusi konvensional yang biasa digunakan oleh perencana selular adalah dengan membuat sel baru dengan frekuensi yang berbeda. Akan tetapi hal ini menjadi tidak efektif dan efisien bilamana pertumbuhan *user* hanya terjadi satu lokasi tertentu saja. Selain itu dengan terbatasnya alokasi frekuensi, penggunaan pada spectrum tertentu menjadi lebih sulit. Hal ini merupakan masalah dalam perencanaan selular

Pada makalah ini akan diuraikan tentang metode Partisi Sel sebagai solusi alternatif atas permasalahan-permasalahan diatas. Partisi dilakukan dengan cara menyekat suatu cakupan area BTS (*Base Transceiver Station*) menjadi dua sel [3]. Setiap sel mempunyai frekuensi dan luas cakupan yang berbeda untuk mengurangi interferensi co-channel. Simulasi perhitungan link-budget dengan model propagasi

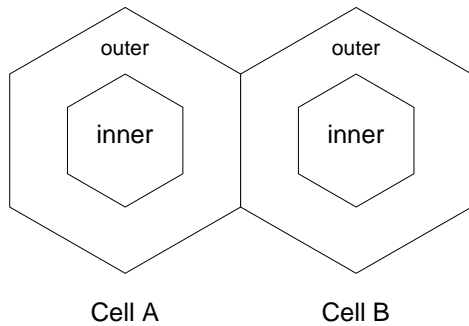
Catatan: Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Desember 2006. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Elektro volume 7, nomor 1, Maret 2007.

Walfisch-Ikegami akan dilakukan untuk menentukan luas cakupan sel yang di partisi dan kapasitasnya maksimumnya.

Peningkatan Kapasitas Sel

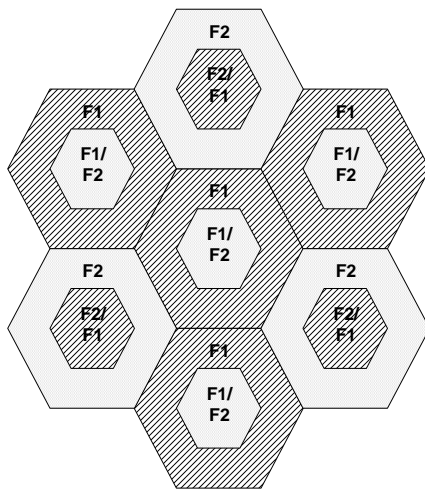
Partisi Sel

Partisi sel akan membagi sel menjadi dua buah sel yang mempunyai radius yang berbeda. Sel yang mempunyai radius kecil disebut *inner cell* dan sel yang mempunyai radius besar disebut *outer cell*, pembedaan ini dilakukan dengan mengurangi tinggi antenna, dimana antenna *inner cell* lebih rendah dibandingkan antenna *outer cell*, dan mengurangi juga daya yang dipancarkan [4]. Gambar 1 berikut memperlihatkan bentuk topologi partisi sel.



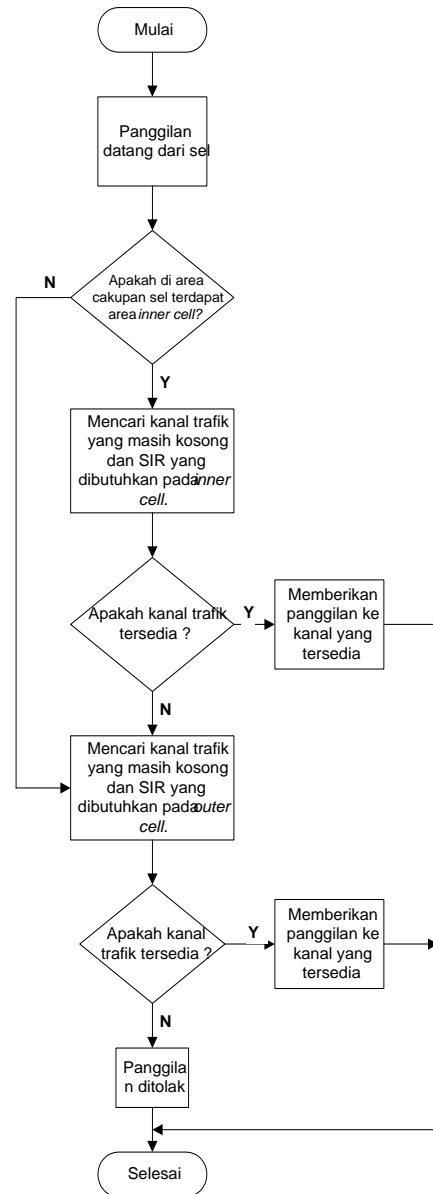
Gambar 1. Bentuk topologi partisi sel

Dari gambar 1, *outer cell* menggunakan frekuensi F1 dan *inner cell* menggunakan frekuensi F2. Area *outer cell* juga mencakup *inner cell*, maka pada daerah *inner cell* juga terdapat gelombang radio dari pemancar *outer cell*, penggunaan frekuensi yang berbeda antara *inner cell* dan *outer cell* maka tidak terjadi interferensi. Bentuk topologi partisi sel pada multisel dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Partisi sel pada multi sel

Proses pengalokasian kanal trafik pada sel CDMA dengan partisi sel adalah memprioritaskan kanal trafik pada *inner cell*. Apabila suatu MS (*mobile station*) berada pada cakupan sel, dan terdapat area *inner cell* maka pengalokasian kanal trafik diprioritaskan untuk *inner cell*. Jika kanal trafik pada *inner cell* masih ada yang kosong maka panggilan tersebut langsung ditangani oleh RBS (*Radio Base Station*) pada *inner cell*, dan jika kanal trafik pada *inner cell* sudah penuh maka panggilan dilimpahkan ke RBS pada *outer cell*. Di *outer cell* juga terjadi proses yang sama yaitu mencari kanal trafik yang kosong, jika ada yang kosong maka panggilan langsung ditangani oleh RBS pada *outer cell*, dan jika kanal trafik pada *outer cell* juga sudah penuh maka panggilan tersebut akan mengalami kegagalan. Algoritma pengalokasian kanal trafik dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Algoritma pengalokasian kanal

Kapasitas Sel CDMA

Secara teoritis ada dua hal yang membatasi jumlah kanal maksimum. *Hard limit* dari jumlah maksimum kanal adalah jumlah maksimum dari Walsh codes yang dapat diberikan pada setiap sel (64 Walsh Code) [2]. Hal kedua adalah interferensi.

Pada kanal *forward* terdapat 1 kanal pilot yang dipancarkan oleh setiap sektor atau sel site dan digunakan sebagai referensi untuk *coherent* demodulasi bagi semua terminal pelanggan, 1 kanal sinkronisasi, maksimum 7 kanal *paging*, dan maksimum 55 kanal *traffic* (TCH).

Jika dilihat dari struktur pengkodean ini, bandwidth sebesar 1,25 MHz dapat mendukung 55 kanal *traffic*. Dalam kenyataannya, karena adanya interferensi dalam spektrum, kualitas suara dan *Frame Error Rate* (FER) yang diinginkan, maka penggunaan keseluruhan TCH akan sulit dicapai [2]. Semakin besar E_b/I_o yang diinginkan maka semakin baik pula FER sehingga kualitas suara yang diinginkan dapat tercapai.

Perhitungan perkiraan kapasitas adalah [5]:

$$N = \frac{(W / R)}{(E_b / I_o)} + 1 = \frac{G_p}{(E_b / I_o)} + 1 \quad (1)$$

dimana E_b/I_o adalah energi per bit to interference ratio, W bandwidth (MHz), R bit rate (Kbps), G_p processing Gain dan N kapasitas suatu sel CDMA.

Link Budget

Perhitungan *link budget* adalah menguraikan total rugi-rugi (losses) dan penguatan (gains) pada *transmission link*. Untuk pendeteksian sinyal pada *receiver* maka kondisi berikut harus dapat dicapai:

$$(P_{r})_{dBm} + (Gains)_{dB} - (Losses)_{dB} > (Min \text{ Req power for detection at the receiver})_{dBm}$$

Link budget dapat mengidentifikasi *maximum path loss* dan kemungkinan radius sel maksimum. Hasil dari perhitungan *link budget* ini adalah MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) pada suatu sel. Selanjutnya dari MAPL inilah radius sel dapat ditentukan dengan menggunakan perhitungan dari model propagasi Walfisch-Ikegami. Perhitungan *link budget* ini digunakan dalam *reverse link* maupun *forward link*.

Reverse Link Budget

Parameter-parameter yang ada pada *reverse link budget* adalah [5]:

- ◆ *Maximum Transmitter Power*; daya pancar maksimum MS yaitu daya keluaran dari terminal pelanggan. Daya maksimum MS adalah 25 dBm.
- ◆ *Cable, Connector Losses*; Merupakan rugi-rugi yang terjadi pada kabel dan konektor. Dalam MS tidak terdapat kabel maka rugi-rugi ini diasumsikan dengan 0 dBi.
- ◆ *Transmitter Antenna Gain*; adalah besar penguatan (dalam dBi) antena terminal pelanggan. Besar penguatan pada antena MS tipikalnya adalah 0 dBi.
- ◆ Total Transmitter EIRP (Effective Isotropic Radiated Power); adalah penjumlahan dari *transmitter power* dikurangi oleh rugi-rugi kabel kemudian ditambah *antenna gain*.
- ◆ *Body Loss*; adalah rugi-rugi akibat interaksi sinyal dengan tubuh pelanggan. Besarnya bervariasi antara 2 sampai 6 dB. Biasanya parameter ini diasumsikan sama dengan 3 dB.
- ◆ *Penetration loss*; adalah rugi-rugi dari redaman oleh bangunan, badan kendaraan dan lain-lain. Besarnya rugi-rugi ini berdasarkan daerah cakupan.
- ◆ *Receiver Antenna Gain*; adalah besar penguatan (dalam dBi) antena penerima *base station*. Besarnya penguatan bervariasi tergantung jenis antena yang digunakan.
- ◆ *Cable, Connector and Combiner Losses*; Adalah besarnya rugi-rugi untuk kabel, konektor dan combiner pada *base station*. Besarnya rugi-rugi berkisar antara 3 – 5 dB.
- ◆ *Thermal Noise Density*; adalah besar *noise* alami. Besarnya *thermal noise density* ini berdasarkan persamaan:

$$N = 10 \log kTB \quad \text{dBm/Hz} \quad (2)$$
 dimana k = konstanta Boltzmann = $1,380658 \times 10^{-23}$, T = temperatur dalam Kelvin, dengan asumsi $T = 290^\circ \text{K}$, B = bandwidth data, 9600 Hz.
- ◆ *Receiver Noise Figure*; adalah *noise* yang ditambahkan oleh rangkaian elektronik pada *receiver base station*. Besarnya parameter ini adalah 5 dB.
- ◆ *Rise Over Thermal*; Dirumuskan dengan:

$$ROT = -10 \log [1-x] \quad (3)$$
 dimana $x = 0$ sampai 1. Jumlah persentase dari beban. Untuk CDMA2000-1X diasumsikan mempunyai beban 75% - 80%
- ◆ Energy per bit to interference ratio (E_b/I_o); adalah perbandingan energi setiap bit dengan interferensi. Menunjukkan kualitas sinyal yang diterima pada *base station*. Dalam perencanaan besarnya E_b/I_o ditentukan yaitu sekitar 4 – 6 dB.
- ◆ *Receiver Sensitivity*; adalah sensitivitas dari *receiver*. Didapat dari perhitungan:

Receiver sensitivity = Thermal noise + Receiver Noise Figure + Rise Over Thermal + Required E_b/I_0

- ◆ *Cell Edge Reliability*; pada sistem selular didefinisikan sebagai probabilitas daya sinyal yang diterima lebih besar dari yang telah dibatasi (*threshold*, P_{th}). Dalam perhitungan *link budget*, *cell edge reliability* biasanya mempunyai nilai 90%.
- ◆ *Log Normal Shadow Standard Deviation*; Parameter ini adalah standar deviasi untuk *log normal shadow margin*. Pada umumnya standar deviasi yang digunakan adalah 8 dB [6].
- ◆ *Log Normal Shadow Margin*; adalah rugi-rugi dari *fading*. Parameter ini mempunyai hubungan dengan *cell edge reliability*

Tabel 1. *Cell Edge* dan *Log Normal Shadow Margin* [17]

Cell Edge (%)	Log Normal Shadow Margin (dB)
50	0,0
55	1,0
60	2,0
65	3,1
70	4,2
75	5,4
80	6,7
85	8,3
90	10,3
95	13,2

- ◆ *Diversity Gain*; adalah penguatan yang diperoleh dari penggunaan teknik diversitas. Untuk penggunaan *space diversity* maka mempunyai gain 3 dB.
- ◆ *MAPL (Maximum Allowable Path Loss)*; $MAPL = \text{Total Mobile Transmitter EIRP (dBm)} - \text{Receiver sensitivity (dBm)} + \text{Rx Antenna Gain(dBi)} - \text{RX Cable Loss(dB)} - \text{Body Loss(dB)} - \text{Fade Margin(dB)} - \text{Building Penetration Loss(dB)} + \text{Diversity Gain}$

Forward Link Budget

Parameter-parameter yang ada pada *forward link budget* adalah:

- ◆ *Maximum transmitter power* (daya pancar maksimum BS)
- ◆ *Cabel, connector and combiner losses* (rugi-rugi untuk kabel, konektor dan combiner pada BS)
- ◆ *Transmitter antenna gain* (penguatan antena pemancar pada BS)
- ◆ *Total EIRP*
- ◆ *Receiver antenna gain* (penguatan antena penerima pada MS)
- ◆ *Cable, Connector Losses* (rugi-rugi kabel pada MS)

- ◆ *Body Loss*
- ◆ *Penetration Loss*
- ◆ *Thermal Noise Density*
- ◆ *Receiver Noise Figure* (9 dB)
- ◆ E_b/I_0 untuk MS (kualitas sinyal yang diterima pada MS)
- ◆ *Receiver Sensitivity*
- ◆ *Cell Edge Reliability*
- ◆ *Log Normal Shadow Margin*
- ◆ *Log Normal Shadow Standard Deviation*
- ◆ *MAPL (Maximum Allowable Path Loss)*, $MAPL = \text{Total Mobile Transmitter EIRP (dBm)} - \text{Receiver sensitivity (dBm)} + \text{Rx Antenna Gain (dBi)} - \text{RX Cable Loss(dB)} - \text{Body Loss(dB)} - \text{Fade Margin(dB)} - \text{Building Penetration Loss (dB)}$

Cakupan Sel (Model Walfisch-Ikegami)

Model ini sangat baik untuk daerah *urban* dan *dense urban*. Sangat cocok untuk perhitungan *microcell*. Dengan pertimbangan radius sel ≤ 5 km dan tinggi antena ≤ 50 m. Membutuhkan data-data akurat untuk jalan dan tinggi bangunan.

$$L = L_o + L_{rts} + L_{msd} \quad (4)$$

dimana $L = \text{path loss (dB)}$, $L_o = \text{free space loss (dB)}$, $L_{rts} = \text{roof-top-street diffraction dan scatter loss}$, $L_{msd} = \text{multi-screen diffraction loss}$.

$$L_o = 32,4 + 20 \cdot \log(r) + 20 \cdot \log(f) \quad (5)$$

$$L_{rts} = -169 - 10 \log(v) + 10 \log(f) + 20 \log(\Delta_{mobile}) + L_{street} \quad (6)$$

untuk $\Delta_{mobile} > 0$

$$L_{rts} = 0 \quad \text{untuk } \Delta_{mobile} \leq 0 \quad (7)$$

$$L_{street} = -10 + 0,354\phi \quad \text{untuk } 0 \leq \phi < 35 \quad (8)$$

$$L_{street} = 2,5 + 0,075(\phi - 35) \quad \text{untuk } 35 \leq \phi < 55 \quad (9)$$

$$L_{street} = 4,0 - 0,114(\phi - 55) \quad \text{untuk } 55 \leq \phi \leq 90 \quad (10)$$

dimana, $h_{atap} = \text{tinggi atap gedung rata-rata (m)}$, $h_{mobile} = \text{tinggi antena MS (m)}$, $h_{BTS} = \text{tinggi antena BTS (m)}$, $\Delta_{mobile} = h_{atap} - h_{mobile} \text{ (m)}$, $\Delta_{BTS} = h_{BTS} - h_{atap} \text{ (m)}$, $w = \text{Lebar jalan rata-rata (m)}$, $\phi = \text{road orientation berkenaan dengan direct radio path (degree)}$.

$$L_{msd} = L_{med} + k_a + k_r \log(r) + k_f \log(f) - 9 \log(b) \quad (11)$$

di mana:

$$L_{med} = -18 \log(1 + \Delta_{BTS}) \quad \text{untuk } \Delta_{BTS} > 0 \quad (12)$$

$$L_{med} = 0 \quad \text{untuk } \Delta_{BTS} \leq 0 \quad (13)$$

$$k_a = 54 \quad \text{untuk } \Delta_{BTS} > 0 \quad (14)$$

$$k_a = 54 - 0,8\Delta_{BTS} \quad \text{untuk } r \geq 0,5 \text{ dan } \Delta_{BTS} \leq 0 \quad (15)$$

$$k_a = 54 - 1,6\Delta_{BTS} r \quad \text{untuk } r < 0,5 \text{ dan } \Delta_{BTS} \leq 0 \quad (16)$$

$$k_r = 18 \quad \text{untuk } \Delta_{BTS} > 0 \quad (17)$$

$$k_r = 18 - 15 \frac{\Delta_{BTS}}{h_{roof}} \text{ untuk } \Delta_{BTS} \leq 0 \quad (18)$$

$$k_f = -4 + 0,7 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) \text{ untuk } \textit{urban} \text{ dan } \textit{suburban} \quad (19)$$

$$k_f = -4 + 1,5 \left(\frac{f}{925} - 1 \right) \text{ untuk } \textit{dense urban} \quad (20)$$

di mana b = jarak rata-rata antar gedung (m), k_a dan k_r adalah konstanta koreksi untuk tinggi antena, sedangkan k_f adalah adaptasi untuk perbedaan kepadatan bangunan.

Perhitungan Kapasitas Sel dengan Partisi Sel

Secara teoritis, kapasitas sebuah sel dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1). Bila $W=1,25$ MHz, $R=9,6$ kbps dan E_b/I_o di-set point untuk 5 dB maka jumlah kapasitas satu sel adalah 42 user. Contoh ini belum memperhitungkan cakupan sel dan juga interferensi dari sel tetangga.

Partisi sel adalah pemisahan sel dengan memberikan sel yang mempunyai cakupan lebih kecil dari sel yang sudah ada (cakupan lebih besar). Pemisahan ini bertujuan untuk mengurangi interferensi yang terjadi akibat dari penggunaan frekuensi carrier yang sama pada sel-sel CDMA. Metode ini menggunakan antena omnidirectional [5], yang bertujuan agar dapat memancarkan kesegala arah dengan pola radial.

Perhitungan kapasitas pada partisi sel dihitung secara terpisah yaitu kapasitas pada *inner cell* dan kapasitas pada *outer cell*.

Kapasitas Pada Inner Cell

Kapasitas pada *inner cell* didapat dari penurunan persamaan *signal-to-interference ratio* (S/I). Pada sistem CDMA nilai S/I didapat dari E_b/I_o dibagi dengan *gain processing*(G_p) [3]:

$$\frac{S}{I} = \frac{P_i \left(\frac{1}{N_{inner}} \right) r_i^{-\alpha}}{P_i \left(1 - \frac{1}{N_{inner}} \right) r_i^{-\alpha} + \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^6 P_{kj} L_{kj}^{-\alpha}} \quad (21)$$

maka

$$N_{inner} = \frac{P_i r_i^{-\alpha} \left(1 + \frac{S}{I} \right)}{\frac{S}{I} \left(P_i r_i^{-\alpha} + \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^6 P_{kj} L_{kj}^{-\alpha} \right)} \quad (22)$$

dan

$$\frac{S}{I} = \frac{E_b/I_o}{W/R} = \frac{E_b/I_o}{G_p} \quad (23)$$

di mana S/I adalah *signal to interference ratio*, P_i - daya EIRP yang ditransmisikan pada *inner cell* (Watt), r_i - radius pada *inner cell* (km), P_{kj} - daya yang ditransmisikan oleh sel-sel tetangga (Watt), L_{kj} - jarak *base station* tetangga ke MS (km), α - *path loss exponents*, N_{inner} - kapasitas user pada *inner cell*.

Kapasitas Pada Outer Cell

Seperti halnya pada perhitungan kapasitas pada *inner cell*, maka perhitungan kapasitas pada *outer cell* adalah seperti persamaan berikut:

$$\frac{S}{I} = \frac{P_o \left(\frac{1}{N_{outer}} \right) r_o^{-\alpha}}{P_o \left(1 - \frac{1}{N_{outer}} \right) r_o^{-\alpha} + \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^6 P_{kj} L_{kj}^{-\alpha}} \quad (24)$$

maka

$$N_{outer} = \frac{P_o r_o^{-\alpha} \left(1 + \frac{S}{I} \right)}{\frac{S}{I} \left(P_o r_o^{-\alpha} + \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^6 P_{kj} L_{kj}^{-\alpha} \right)} \quad (25)$$

dan

$$\frac{S}{I} = \frac{E_b/I_o}{W/R} = \frac{E_b/I_o}{G_p} \quad (26)$$

α adalah indeks rugi-rugi propagasi, juga disebut *path loss exponents*. Besar α bergantung pada lingkungannya. Tabel 2 adalah tabel nilai α pada lingkungan-lingkungan yang berbeda.

Tabel 2. Path Loss Exponents untuk lingkungan yang berbeda [6].

Environment	Path Loss Exponent, α
Free space	2
Urban area cellular radio	2,7 - 3,5
Shadowed urban cellular radio	3 - 5
In building line-of-sight	1,6 - 1,8
Obstructed in building	4 - 6
Obstructed in factories	2 - 3

Dengan menjumlahkan jumlah kapasitas *inner cell* dan *outer cell* maka total kapasitas pada suatu *site* adalah:

$$N_{total} = N_{inner} + N_{outer} \quad (27)$$

Hasil

Dari persamaan-persamaan diatas, maka didapat hasil perhitungan yang ditampilkan sebagai berikut:

Hasil Perhitungan Link Budget

Hasil perhitungan *link budget* dapat dilihat pada Tabel 3.

Hasil Perhitungan Cakupan Sel Dengan Model Propagasi Walfisch-Ikegami

Daerah yang akan dilayani adalah daerah urban yang mempunyai karakteristik tinggi bangunan rata-rata 30 m, lebar jalan diasumsikan mempunyai lebar rata-rata sebesar 15 m, dan asumsi jarak rata-rata pemisahan antar gedung adalah 55 m.

Perhitungan menggunakan MAPL yang didapat dari perhitungan *link budget* untuk *outer cell* dan *inner cell*. MAPL pada *outer cell* adalah 130,8 dB dan MAPL *inner cell* adalah 123,8 dB. Tinggi antenna BTS untuk *outer cell* juga dibedakan dengan *inner cell*, untuk *outer cell* tinggi antenna adalah 50 m dan untuk *inner cell* tinggi antenna adalah 40 m. Daya pancar yang digunakan dalam perhitungan adalah EIRP pada *outer cell* dan *inner cell*. EIRP *outer cell* adalah 41 dBm dan EIRP *inner cell* adalah 34 dBm. Tinggi antenna MS diasumsikan sekitar 1,5 m, $F_{inner} = 1967,50$ MHz, $F_{outer} = 1966,25$ MHz.

Outer Cell

Radius *outer cell* adalah jari-jari sel terbesar. Perhitungan radius sel dihitung berdasarkan model propagasi Walfisch-Ikegami. Dari persamaan (4), (5), (6), dan (10):

$$L_o = 98,27 + 20 \cdot \log(r_o) \text{ dB}$$

karena $\Delta_{mobile} > 0$, maka menggunakan persamaan (6). Dan $\phi = 90^\circ$, maka menggunakan persamaan (10):

$$L_{street} = 4,0 - 0,114(\phi - 55)$$

$$L_{rts} = 33,38 \text{ dB}$$

dari persamaan (11), karena $\Delta_{BTS} > 0$, maka menggunakan persamaan (12), (14), dan (17):

$$L_{med} = -18 \log(1 + \Delta_{BTS(outer)})$$

$$k_a = 54$$

$$k_r = 18$$

dan daerah adalah urban, maka menggunakan persamaan (19):

$$k_f = -4 + 0,7 \left(\frac{f_{outer}}{925} - 1 \right)$$

$$L_{msd} = 3,96 + 18 \cdot \log(r_o) \text{ dB}$$

$$L = L_o + L_{rts} + L_{msd}$$

dapat ditulis menjadi:

$$130,80 = 98,27 + 20 \cdot \log(r_o) + 33,38 + 3,96 + 18 \cdot \log(r_o)$$

$$\log(r_o) = \frac{-4,81}{38}$$

$$\log(r_o) = -0,13$$

$$r_o = 10^{-0,13}$$

$$r_o = 0,75 \text{ km}$$

Dari perhitungan dengan menggunakan model propagasi Walfisch-Ikegami didapat radius untuk *outer cell* sebesar 0,75 km. Maka luas area untuk *outer cell* dapat dihitung dengan persamaan luas heksagonal, adalah:

$$Luas_{outer} = 2,6 \times r_o^2$$

$$Luas_{outer} = 2,6 \times (0,75 \text{ km})^2$$

$$Luas_{outer} = 1,46 \text{ km}^2$$

Inner Cell

Perhitungan radius *inner cell* dihitung dengan menggunakan persamaan (4), (5), (6), dan (10):

$$L = L_o + L_{rts} + L_{msd}$$

$$L = L_{inner}$$

$$L_o = 32,4 + 20 \cdot \log(r_i) + 20 \cdot \log(f_{inner})$$

$$L_o = 32,4 + 20 \cdot \log(r_i) + 20 \cdot \log(1967,50)$$

$$L_o = 98,28 + 20 \cdot \log(r_i) \text{ dB}$$

Karena $\Delta_{mobile} > 0$, maka menggunakan persamaan (6), dan $\phi = 90^\circ$. Dengan menggunakan persamaan (10), maka:

$$L_{street} = 4,0 - 0,114(\phi - 55) \quad L_{rts} = 33,39 \text{ dB}$$

Dari persamaan (11):

$$L_{msd} = L_{med} + k_a + k_r \log(r) + k_f \log(f) - 9 \log(b)$$

Karena $\Delta_{BTS} > 0$, maka menggunakan persamaan (12), (14), dan (17):

$$L_{med} = -18 \log(1 + \Delta_{BTS(inner)})$$

$$k_a = 54$$

$$k_r = 18$$

dan daerah adalah urban, maka dengan menggunakan persamaan (19):

$$k_f = -4 + 0,7 \left(\frac{f_{inner}}{925} - 1 \right)$$

$$L_{msd} = 9,01 + 18 \cdot \log(r_i) \text{ dB}$$

$$L = L_o + L_{rts} + L_{msd}$$

dapat ditulis menjadi:

$$123,80 = 98,28 + 20 \cdot \log(r_i) + 33,39 + 9,01 + 18 \cdot \log(r_i)$$

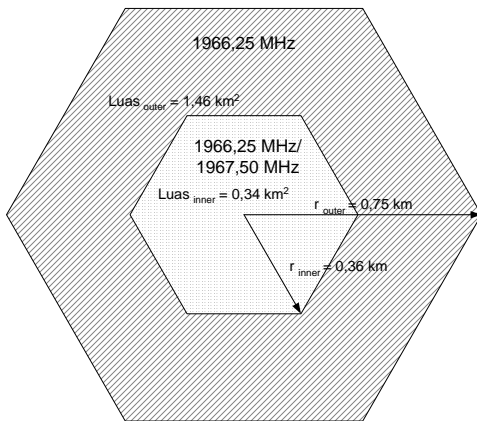
$$\log(r_i) = \frac{-16,88}{38}$$

$$\log(r_i) = -0,44$$

$$r_i = 10^{-0,44}$$

$$r_i = 0,36 \text{ km}$$

Dari perhitungan dengan menggunakan model propagasi Walfisch-Ikegami didapat radius untuk *inner cell* sebesar 0,36 km. Maka luas area untuk *inner cell* dengan persamaan luas bidang heksagonal adalah :



Gambar 4. Radius dan luas area *outer cell* dan *inner cell*

$$Luas_{inner} = 2,6 \times r_i^2$$

$$Luas_{inner} = 2,6 \times (0,36 \text{ km})^2$$

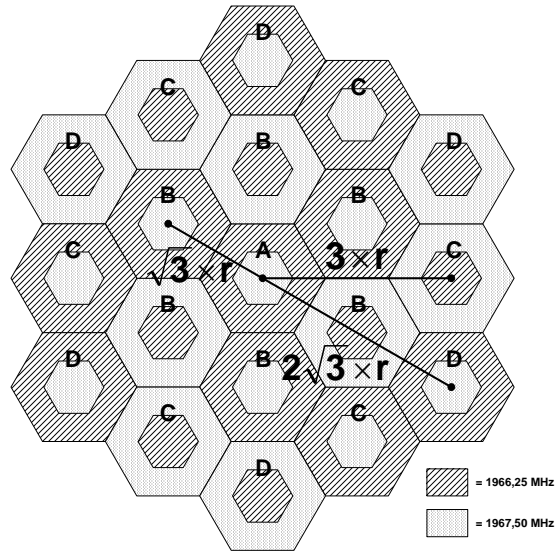
$$Luas_{inner} = 0,34 \text{ km}^2$$

Hasil Perhitungan Kapasitas

Cakupan dari *outer cell* adalah cakupan sel yang terbesar dengan radius 0,75 km, sedangkan cakupan *inner cell* adalah cakupan yang kecil dengan radius 0,36 km. Jadi cakupan *outer cell* juga mencakup area *inner cell*, sedangkan cakupan *inner cell* tidak mencakup seluruh *outer cell*.

Gambar 5 berikut menunjukkan sebuah site multi sel dimana setiap selnya telah dipartisi.

A adalah *site* yang akan dihitung kapasitasnya, B adalah *site* yang berada pada *first tier*, C adalah *site* yang berada pada *second tier* dan D adalah *site* yang berada pada *third tier*. Jarak dari *site* A ke *first tier* adalah $\sqrt{3} \times r$, jarak dari *site* A ke *second tier* adalah $3 \times r$, dan jarak dari *site* A ke *third tier* adalah $2\sqrt{3} \times r$. Perhitungan kapasitas pada *site* A dibagi menjadi dua, kapasitas *inner cell* dan kapasitas *outer cell*. Pada *site* A mendapat interferensi dari frekuensi yang sama sampai *third tier*.



Gambar 5. Partisi sel pada multi sel

Kapasitas Pada *Inner Cell*

Inner cell adalah sel yang terkecil dan mempunyai radius 0,36 km. *Inner cell* pada *site* A menggunakan frekuensi PCS band E dengan nomor kanal 750. Pada *link budget* untuk *inner cell* ditentukan besar E_b/I_o adalah 4,1 dB $\approx 2,57$. *Spreading bandwidth* yang dipakai sebesar 1,2288 MHz dan *bit rate* untuk *voice* sebesar 9,6 kbps. Dari parameter yang telah didapat dapat ditentukan besar S/I yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan (21):

$$\frac{S}{I} = \frac{E_b/I_o}{W/R} = \frac{E_b/I_o}{G_p}$$

$$\frac{S}{I} = \frac{2,57}{1228800/9600} = \frac{2,57}{128}$$

$$\frac{S}{I} = 0,02$$

Perancangan bersifat ideal, sehingga jarak sel-sel tetangga mempunyai jarak yang ideal. Dari gambar 5 dapat ditentukan daya-daya pancar dari sel-sel tetangga yang frekuensinya sama dan jarak dari *site* A ke *site-site* yang lain adalah:

- P_{1j} = daya pada *site* B
- P_{2j} = daya pada *site* C
- P_{3j} = daya pada *site* D
- L_{1j} = jarak dari *site* A ke *site* B
- L_{2j} = jarak dari *site* A ke *site* C
- L_{3j} = jarak dari *site* A ke *site* D

$$P_{11} = P_{13} = P_{15} = P_{22} = P_{24} = P_{26} = P_{32} = P_{34} = P_{36} = 45 \text{ dBm} \approx 10^{0,45} \approx 31,62 \text{ Watt}$$

$$P_{12} = P_{14} = P_{16} = P_{21} = P_{23} = P_{25} = P_{31} = P_{33} = P_{35} = 38 \text{ dBm} \approx 10^{0,38} \approx 6,31 \text{ Watt}$$

$$L_{11} = L_{12} = L_{13} = L_{14} = L_{15} = L_{16} = \sqrt{3} \times 0,75 \text{ km} = \mathbf{1,30 \text{ km}}$$

$$L_{21} = L_{22} = L_{23} = L_{24} = L_{25} = L_{26} = 3 \times 0,75 \text{ km} = \mathbf{2,25 \text{ km}}$$

$$L_{31} = L_{32} = L_{33} = L_{34} = L_{35} = L_{36} = 2\sqrt{3} \times 0,75 \text{ km} = \mathbf{3,89 \text{ km}}$$

Sedangkan daya pancar untuk *inner cell* sendiri pada *site A* adalah EIRP yang dipancarkan oleh antena dengan radius 0,36 km.

$$P_i = 38 \text{ dBm} \approx 10^{0,38} \approx 6,31 \text{ Watt}$$

$$r_i = 0,36 \text{ km}$$

Dari tabel 2 *path loss exponents* yang dipakai adalah *shadowed urban cellular radio* dengan asumsi sebesar 4 ($\alpha = 4$). Perhitungan kapasitas *inner cell* dengan menggunakan persamaan (22):

$$N_{inner} = \frac{P_i r_i^{-\alpha} \left(1 + \frac{S}{I}\right)}{\frac{S}{I} \left(P_i r_i^{-\alpha} + \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^6 P_{kj} L_{kj}^{-\alpha} \right)}$$

$$N_{inner} = \frac{6,31 \cdot 0,36^{-4} (1 + 0,02)}{0,02 \cdot \left(6,31 \cdot 0,36^{-4} + \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^6 P_{kj} L_{kj}^{-4} \right)}$$

$$N_{inner} = 45,32 \approx 45 \text{ user}$$

P_{kj} adalah daya EIRP dengan frekuensi sama yang dipancarkan dari *k tier* dan sel ke *j*. Akibat interferensi dari frekuensi yang sama dari *first tier*, *second tier* dan *third tier* maka kapasitas *inner cell* berjumlah 45 *user*.

Kapasitas pada Outer Cell

Outer cell adalah sel yang terbesar dan mempunyai radius 0,75 km. *Outer cell* pada sel **A** menggunakan frekuensi PCS band E dengan nomor kanal 725. Pada *link budget* untuk *outer cell* ditentukan besar *Eb/To* adalah sama seperti *inner cell* 4,1 dB $\approx 2,57$. *Spreading bandwidth* yang dipakai sebesar 1,2288 MHz, *bit rate* untuk *voice* sebesar 9,6 kbps dan *S/I* = 0,02.

Daya dan jarak dari sel tetangga dengan frekuensi yang sama adalah:

$$P_{11} = P_{13} = P_{15} = P_{22} = P_{24} = P_{26} = P_{32} = P_{34} = P_{36} = \mathbf{38 \text{ dBm} \approx 10^{0,38} \approx 6,31 \text{ Watt}}$$

$$P_{11} = P_{13} = P_{15} = P_{22} = P_{24} = P_{26} = P_{32} = P_{34} = P_{36} = \mathbf{45 \text{ dBm} \approx 10^{0,45} \approx 31,62 \text{ Watt}}$$

$$L_{11} = L_{12} = L_{13} = L_{14} = L_{15} = L_{16} = \sqrt{3} \times 0,75 \text{ km} = \mathbf{1,30 \text{ km}}$$

$$L_{21} = L_{22} = L_{23} = L_{24} = L_{25} = L_{26} = 3 \times 0,75 \text{ km} = \mathbf{2,25 \text{ km}}$$

$$L_{31} = L_{32} = L_{33} = L_{34} = L_{35} = L_{36} = 2\sqrt{3} \times 0,75 \text{ km} = \mathbf{3,89 \text{ km}}$$

Sedangkan daya pancar untuk *outer cell* sendiri pada *site A* adalah EIRP yang dipancarkan oleh antena dengan radius 0,75 km.

$$P_o = 45 \text{ dBm} \approx 10^{0,45} \approx 31,62 \text{ Watt}$$

$$r_o = 0,75 \text{ km}$$

Dari tabel 2 *path loss exponents* yang dipakai adalah *shadowed urban cellular radio* dengan asumsi sebesar 4 ($\alpha = 4$). Perhitungan kapasitas *outer cell* dengan menggunakan persamaan (25):

$$N_{outer} = \frac{P_o r_o^{-\alpha} \left(1 + \frac{S}{I}\right)}{\frac{S}{I} \left(P_o r_o^{-\alpha} + \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^6 P_{kj} L_{kj}^{-\alpha} \right)}$$

$$N_{outer} = \frac{31,62 \cdot 0,75^{-4} (1 + 0,02)}{0,02 \cdot \left(31,62 \cdot 0,75^{-4} + \sum_{k=1}^3 \sum_{j=1}^6 P_{kj} L_{kj}^{-4} \right)}$$

$$N_{outer} = 35,05 \approx 35 \text{ user}$$

Akibat interferensi dari frekuensi yang sama dari *first tier*, *second tier* dan *third tier* maka kapasitas *outer cell* berjumlah 35 *user*.

Kapasitas total pada *site A* dengan menggunakan persamaan (25):

$$N_{total} = N_{inner} + N_{outer}$$

$$N_{total} = 45 + 35$$

$$N_{total} = 80 \text{ user}$$

Tabel 3 dan tabel 4 berikut memperlihatkan perbandingan peningkatan kapasitas dengan metode partisi sel dengan peningkatan kapasitas dengan menambah frekuensi pada sel tersebut.

Tabel 3. Peningkatan kapasitas dengan partisi sel

	unit	inner cell	outer cell
BTS EIRP	dBm	34	45
Frekuensi	MHz	1967,50	1966,25
Tinggi Antena BTS	MHz	40	50
MAPL	dBm	123,8	130,8
Radius sel	km	0,36	0,75
Kapasitas Trafik	user	45	35

Tabel 4. Peningkatan kapasitas dengan menambah frekuensi

	unit	RBS 1	RBS 2
BTS EIRP	dBm	45	45
Frekuensi	MHz	1967,50	1966,25
Tinggi Antena BTS	MHz	50	50
MAPL	dBm	130,8	130,8
Radius sel	km	0,75	0,75
Kapasitas Trafik	user	29	29

Kesimpulan

Dari uraian diatas dapat disimpulkan bahwa kapasitas sel dapat ditingkatkan dengan metode partisi sel. Untuk contoh diatas, kapasitas satu sel dengan partisi sel dapat ditingkatkan menjadi 80 user. Penambahan frekuensi carrier tanpa partisi sel hanya meningkatkan kapasitas menjadi 58. Jumlah kapasitas ini didapat dari *inner cell* dan *outer cell*, dimana jumlah kapasitas *inner cell* lebih besar dibandingkan dengan *outer cell*. Secara teknis konfigurasi *inner* dan *outer cell* di dapat dengan mengatur posisi ketinggian antena dan besar daya untuk masing-masing. Radius sel adalah sama dengan radius *outer cell*. Radius ini didapat dari model propagasi Walfisch-Ikegami dengan MAPL (*Maximum Allowable Path Loss*) pada perhitungan *reverse link budget* sebagai *path loss*.

Akan tetapi metode partisi sel ini tidak lepas dari masalah. Dengan penggunaan minimal dua buah frekuensi *carrier* CDMA sebagai frekuensi *inner cell* dan *outer cell*, maka akan mengakibatkan terjadinya

hard handoff antara *inner cell* dan *outer cell*. Hal ini tentu saja akan mempengaruhi *grade of service* dan *quality of service* dari layanan. Untuk itu perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk mengatasi masalah ini.

Daftar Pustaka

- [1] Arthur H. M. Ross. 1999. Frequency Plans. CDMA Development Group. http://www.cdg.org/technology/cdma_technology/a_ross/Frequency_Plans.asp
- [2] CDMA Technology. 2003. Ericsson. <http://www.ericsson.com/cdmasystems/tech/index.shtml>
- [3] Kim, Won S. and Prabhu, Vasant K., Enhanced Capacity in CDMA System with Alternate Frequency Planning, 1998.
- [4] Rappaport, Theodore S., Wireless communications principles and practice, Prentice Hall PTR. 1996.
- [5] Ericsson Academy, CDMA, RF Engineering Workshop. 2000.
- [6] Qualcomm, CDMA2000 Network Planning, Engineer Guide. 2003.