

## ANALISIS KAPASITAS UPLINK DAN DOWNLINK SISTEM SELULAR WCDMA ATAS KETIDAKSEMPURNAAN SEKTORISASI SEL

Gatot Santoso<sup>1</sup>, Samuel Kristiyana<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta

Masuk: 14 Desember 2013, revisi masuk: 11 Januari 2014, diterima: 3 Februari 2014

### ABSTRACT

*In this research analyzes the connection Wideband Code Division Multiple Access (WCDMA) for uplink and downlink with imperfect sectorization. Because all channels are on the same frequency, so when the active user increases, the performance of system will decrease. In other words, it causes the capacity of system will decrease. In CDMA terminology, the other frequency of Mobile Station (MS) will get effect to the active MS. The co-channel interference can be decrease with splitting the cell into several sectors. It is called the sectorization. But the sectorization can work well because the antenna radiation can't make the perfect angle and also there is existance of side lobe of radio frequency. The results show, the imperfect sectoration overlap angle between each neighboring sector decreases the capacity system cause more interference to overlapping sector pair. The knowledge gained is to neduce the large overlap angle and we can make the prediction the loss in cell capacity caused by interference.*

**Keywords:** *uplink, downlink, WCDMA, Celular System*

### INTISARI

Penelitian ini membahas analisa koneksi *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) untuk arah *uplink* dan *downlink* dengan ketidak sempurnaan sektorisasi. Karena semua kanal komunikasi menggunakan pita frekuensi yang sama, jika jumlah pengguna yang aktif bertambah performansi sistem akan menurun, hal ini akan langsung mengakibatkan penurunan kapasitas. Dalam terminologi CDMA suatu *Mobile Station* (MS) menganggap MS yang lain sebagai sumber interferensi yang mengganggu sinyal yang dikirimkannya. Interferensi dari pengguna lain yang berasal dari sel lain yang berdekatan dapat dikurangi dengan membagi sebuah sel menjadi beberapa sektor yang disebut dengan sektorisasi, namun pembagian sektor tidak dapat sempurna sekali karena sifat radiasi antena tidak dapat membentuk sudut secara lurus serta adanya *sidelobe* gelombang radio. Dari hasil analisa menunjukkan, ketidak sempurnaan sektorisasi sel yang ditunjukkan dengan adanya *sudut overlap* antar sektor mengakibatkan penurunan kapasitas sistem karena menimbulkan tambahan interferensi pada sektor yang *dioverlap*. Dengan mengetahui pengaruh sektorisasi yang tidak sempurna, pada perancangan sistem diharapkan dapat menjaga agar antena per sektor tidak memiliki sudut *overlap* yang besar serta dapat memperkirakan kerugian pada kapasitas sel yang disebabkan oleh interferensi tersebut.

**Kata kunci:** *uplink, downlink, WCDMA*

### PENDAHULUAN

*Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA) merupakan pengembangan dari teknologi CDMA yang digunakan untuk keperluan komunikasi pada sistem militer Amerika Serikat.

WCDMA sebagai dasar teknologi akses radio *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) karena

WCDMA memiliki beberapa kelebihan antara lain *bandwidth* yang lebih lebar, kecepatan transmisi yang lebih tinggi, kapasitas kanal yang lebih besar, kemampuan kontrol daya yang lebih baik dan kecepatan transmisi yang tinggi membuat WCDMA menunjang teknologi multimedia dengan kecepatan data yang mampu disupport sampai dengan 2 Mbps

<sup>1</sup>[gatsan@akprind.ac.id](mailto:gatsan@akprind.ac.id)

Masalah utama pada WCDMA adalah interferensi yang ditimbulkan oleh pengguna jamak (*multi-user interference*). Karena semua kanal komunikasi menggunakan pita frekuensi yang sama, maka jika jumlah pengguna yang aktif bertambah performansi sistem akan menurun, hal ini akan langsung mengakibatkan penurunan kapasitas. Dalam terminologi CDMA suatu *Mobile Station* (MS) menganggap MS yang lain sebagai sumber interferensi yang mengganggu sinyal yang dikirimkannya. Untuk itu telah dilakukan beberapa penelitian untuk meningkatkan kapasitas sistem CDMA diantaranya dengan sektorisasi sel (S.Gilhousen, 1991).

Kapasitas sistem dibatasi oleh besarnya interferensi yang terjadi pada sel tersebut, baik yang berasal dari sel itu sendiri (interferensi intra-sel) maupun yang berasal dari sel-sel yang lain (interferensi inter-sel). Interferensi dari pengguna lain yang berasal dari sel lain yang berdekatan dapat dikurangi dengan membagi sebuah sel menjadi beberapa sektor yang disebut dengan sektorisasi. Antena sektor tidak akan menerima sinyal diluar *pattern* antenanya. Namun pembagian sektor tidak dapat sempurna sekali karena sifat radiasi antena tidak dapat membentuk sudut secara lurus serta adanya *sidelobe* gelombang radio yang mengganggu sektor lain.

Penelitian yang dilakukan pada (Tri Agus Djoko. K, 2000) menganalisa kapasitas WCDMA. Kapasitas yang dianalisa adalah untuk arah *downlink* dan *uplink*. Ramjee Prasad pada bukunya, membahas tentang sektorisasi dan ketidaksempurnaan sektorisasi sel. Pada makalah ini dilakukan penelitian untuk sistem selular WCDMA yaitu menganalisa kapasitas sistem dengan ketidaksempurnaan sektorisasi sel untuk arah *uplink* dan *downlink*.

Berdasarkan latar belakang dari yang telah diuraikan, rumusan masalah yang akan diteliti adalah bagaimana kapasitas koneksi kedua arah yaitu arah *uplink* pada sistem WCDMA yaitu dari *Mobile Station* (MS) ke *Base Station* (BS) dan arah *downlink* yaitu dari BS ke MS dengan adanya ketidaksempurnaan sektorisasi sel. Dimana pada saat peran-

cangan faktor utama yang diprioritaskan adalah memperoleh kapasitas sistem sebesar mungkin dengan tetap mempertahankan kualitas komunikasi yang telah ditentukan. Kapasitas koneksi adalah ukuran dari kapasitas menyangkut jumlah para pengguna maksimum yang dapat secara serempak diakomodasikan dengan kualitas tertentu pada setiap sel. Dalam analisa diasumsikan tidak terjadi gangguan dari sistem CDMA lainnya (misalnya *Narrowband* CDMA dan pelanggan menyebar secara merata ke seluruh sel.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisa secara matematis kapasitas koneksi *uplink* dan *downlink* sistem WCDMA yang dipengaruhi oleh ketidaksempurnaan sektorisasi sel.

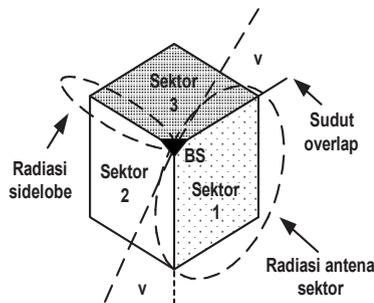
Konsep WCDMA dimulai dengan adanya sistem penyebaran frekuensi (*spread spectrum*). Pada umumnya suatu sistem komunikasi dirancang untuk mencapai efisiensi komunikasi yang optimal dengan menggunakan energi sinyal dan lebar pita yang dialokasikan. Salah satu metode *spread spectrum* yang banyak digunakan adalah *direct sequence spread spectrum* (DSSS) yang merupakan metode yang dibahas pada penelitian ini.

## METODE

Kendala yang ada pada sistem WCDMA adalah interferensi pengguna banyak (*multi user interference*). Karena semua pengguna menggunakan pita frekuensi yang sama, perbandingan antara sinyal dan interferensi (*signal-to-interference ratio*, SIR) serta unjuk kerja akan menurun seiring dengan bertambahnya pengguna. Dengan demikian tampak bahwa WCDMA adalah sistem yang dibatasi oleh interferensi.

Interferensi dari pengguna lain yang berasal dari sel yang berdekatan dapat dikurangi dengan membagi sebuah sel menjadi beberapa sektor yang disebut dengan sektorisasi. Pembagian sel menjadi beberapa sektor memiliki tujuan untuk menambah kapasitas kurang lebih sebanyak  $n$ -kali jumlah sektor, tergantung pada tingkat kesempurnaan antena setiap sektor (William C. Y. Lee, 1991), faktor tersebut disebut penguatan (*gain*)

sektorisasi. Pada Gambar 1,  $v$  adalah sudut *overlap* antar sektor. Sektorisasi sempurna ditunjukkan dengan sudut *overlap*  $v = 0^0$ . Namun pembagian sektor juga tidak dapat sempurna sekali karena sifat radiasi antenna tidak dapat membentuk sudut secara lurus serta adanya *sidelobe* gelombang radio yang mengganggu sektor lain., semakin besar sudut *overlap*,  $v$ , semakin kecil kapasitas yang mampu dilayani karena ada interferensi dari *user* di sektor lain.



Gambar 1. Daerah pelayanan Base Station dengan tiga sektor

Faktor daya interferensi selanjutnya disebut faktor koreksi interferensi akibat ketidak sempurnaan sektorisasi,  $f_s$  adalah perbandingan total daya interferensi dengan sektorisasi,  $P_{\text{sectorized}}$ , dibagi dengan total daya tanpa sektorisasi,  $P_{\text{non-sectorized}}$  ( R. Prasad, 1966).

$$f_s \cong \frac{P_{\text{sectorized}}}{P_{\text{non-sectorized}}} = \left( \frac{1}{D} + \frac{2v}{360^0} \right) \quad (1)$$

dimana :

D = jumlah sektor

$v$  = sudut *overlap*

Dari persamaan (1), jelas terlihat jika  $v = 0$  diartikan bahwa sistem dengan sektorisasi sempurna dan kombinasi dari  $D = 1$  dan  $v = 0$  berarti sistem tanpa sektorisasi.

Pemodelan pada penelitian ini dimaksudkan untuk membuat suatu analisa awal dalam sistem. Pada WCDMA, model sistem yang diambil untuk pemrosesan *bit rate information* (R) dengan *energi to noise density* ( $E_b/N_0$ ), dan *bandwidth* (W), mempunyai hubungan (William C. Y. Lee, 1995).

Dari persamaan (2) terlihat hubungan bahwa, apabila *gain processing* (G) lebih besar dari interferensi (I) yang terjadi, maka *energi-to-noise ratio* ( $E_b/N_0$ ) akan lebih besar dari *carrier-to-interference ratio* (C/I).

$$\frac{E_b}{N_0} = \left( \frac{C}{I} \right) \left( \frac{W}{R} \right) = \left( \frac{C}{I} \right) \cdot G \quad \dots(2)$$

dimana G adalah *processing gain*, ( $G=W/R$ ) dan C/I adalah *carrier-to-interference ratio*.

Sedangkan *gain processing* lebih besar dari satu, maka nilai  $E_b/N_0$  selalu lebih besar dari C/I.

Dengan memperkirakan  $\zeta$  yang merupakan perbandingan interferensi dari sel lain terhadap sel yang dipertimbangkan, kemudian mengabaikan *background noise*, total rapat interferensi pada pengguna WCDMA adalah (Qualcomm, 1992) :

$$N_w \approx (1 + \zeta_u) \left( \frac{\alpha_w}{G_w} f_s K_w E_{bw} \right) \quad \dots(3)$$

dimana  $\alpha_w$  adalah faktor aktivitas suara,  $G_w$  adalah *gain processing*,  $E_{bw}$  adalah *bit* dari sinyal trafik,  $K_w$  adalah kapasitas sistem dan  $F_s$  adalah faktor koreksi sektorisasi.

Untuk menjaga kualitas transmisi yang cukup baik diterima di pelanggan, maka perbandingan rapat energi terhadap rapat *noise* yang diterima *receiver* harus lebih besar dari perbandingan antara rapat energi terhadap rapat *noise* yang dibutuhkan sistem WCDMA ( $\gamma_{bw}$ ) dan selanjutnya persamaan menjadi (L. Mendo, 2001) :

$$\frac{E_{bw}}{N_w} \geq \gamma_{bw} \quad \dots(4)$$

Dengan memasukkan persamaan (3) ke persamaan (4) didapat persamaan :

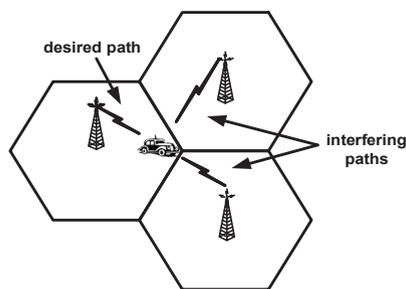
$$\gamma_{bw} \leq \left[ (1 + \zeta_u) \left( \frac{\alpha_w}{G_w} f_s K_w \right) \right]^{-1} \quad \dots(5)$$

Maka persamaan untuk kapasitas *uplink* sistem WCDMA didapat :

$$K_w \leq G_w \left[ \alpha_w f_s (1 + \zeta_u) \gamma_{bw} \right]^{-1} \quad \dots(6)$$

Pada sistem kanal *downlink*, transmisi sinyal dan daya dipancarkan dari BS ke MS secara kontinu. Daya yang dipancarkan oleh BS merata ke seluruh lokasi.

Pada proses *downlink*, interferensi dapat terjadi pada pelanggan yang posisinya dekat ke BS maupun jauh dengan BS (diperbatasan sel). Pada kenyataannya terjadi interferensi lebih banyak pada pelanggan yang berada di perbatasan sel (jauh dari BS) daripada yang berada dekat BS. Dalam sistem hexagonal *network*, kasus interferensi terburuk apabila pengguna menerima sinyal dari 3 sel dengan alokasi frekuensi yang sama dengan yang digunakan oleh semua sel, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Interferensi geometri dari arsitektur tiga sel

Didalam sistem WCDMA, kanal *downlink* terdiri dari kanal *pilot*, kanal *sync*, kanal *paging* dan kanal trafik. Masing-masing kanal ini adalah *orthogonal*, *bit pilot* akan dimodulasikan oleh sinyal PN yang khusus dan dimultiplek dengan suara dan data trafik. Apabila diasumsikan bahwa setiap pelanggan menduduki *bandwidth* masing-masing dengan variabel  $B_w$  dan *gain prosesingnya* adalah  $G_w$ , maka hubungan antara daya maksimum sinyal trafik dan sinyal *pilot* adalah sebagai berikut (D.G. Jeong, 1998) :

$$\beta_w = \frac{B_w E_{cw}}{R_w E_{bw}} = G_w \frac{E_{cw}}{E_{bw}} \dots\dots(7)$$

dimana  $\beta_w$  adalah rasio dari daya sinyal *pilot* dengan maksimum daya sinyal

trafik.  $E_{cw}$  adalah energi *pilot chip* dan  $E_{bw}$  adalah *bit* dari sinyal trafik.

Pada sistem WCDMA, pada pelanggan terjadi interferensi sendiri dari pelanggan WCDMA (*self interference*) dan dinotasikan dengan  $I_u$ . Hal ini terjadi antara pelanggan yang berada di dekat sel dengan pelanggan yang berada jauh dari pusat sel. Jika  $\rho_w$  adalah rata-rata faktor dari kontrol daya pada sistem, maka interferensi diri ini sampai batas sel sesuai persamaan dibawah (D.G. Jeong, 1997) :

$$I_u \leq \frac{3E_{bw}(\alpha_w \rho_w f_s K_w + \beta_w)}{G_w} \dots(8)$$

Jika seluruh *user* terdistribusi secara uniform disetiap selnya, dan diasumsikan kontrol daya sempurna maka nilai  $\rho_w$  adalah 0,42 (D.G. Jeong, 1998). Pada kenyataannya, walaupun jika semua *user* terdistribusi secara uniform disetiap sel, rata-rata faktor kontrol daya lebih besar dari 0,42 karena loop kontrol daya di *downlink* kurang efektif dari yang ada di *uplink* (S.Gilhousen, 1991). Jika sistem tanpa kontrol daya maka  $\rho_w = 1$ .

Total rapat interferensi ( $N_w$ ) pada penerima sistem WCDMA adalah sebagai berikut (D.G. Jeong, 1997) :

$$N_w \leq (3 + \zeta_d) \left\{ \frac{E_{bw}(\alpha_w \rho_w f_s K_w + \beta_w)}{G_w} \right\} \dots(9)$$

Untuk memenuhi kualitas pen-transmisian yang memadai (pada kasus terburuk) diterima di pelanggan, maka perbandingan rapat energi terhadap rapat *noise* yang diterima *receiver* harus lebih besar dari perbandingan antara rapat energi terhadap rapat *noise* dibutuhkan sistem WCDMA ( $\gamma_{bw}$ ) sehingga (D.G. Jeong, 1997) :

$$\frac{E_{bw}}{N_w} \geq \gamma_{bw} \dots(10)$$

Dan persamaan akan menjadi :

$$(3 + \zeta_d) \left\{ \frac{\alpha_w \rho_w f_s K_w + \beta_w}{G_w} \right\} \leq \gamma_{bw}^{-1} \dots(11)$$

dimana  $\gamma_{bw}$  adalah perbandingan antara energi *bit* yang dibutuhkan terhadap rapat *noise* pelanggan WCDMA.

Pada sistem WCDMA, dilihat betapa pentingnya kanal *pilot* dalam masalah *downlink* sistem. Maka perbandingan energi *chip pilot* terhadap *noise* yang diterima pelanggan harus lebih besar dari perbandingan *chip pilot* terhadap rapat *noise* yang dibutuhkan, seperti persamaan dibawah ini (D.G. Jeong, 1997) :

$$\frac{E_{cw}}{N_w} \geq \gamma_{cw} \quad \dots(12)$$

dimana  $\gamma_{cw}$  adalah rasio energi *chip pilot* terhadap total rapat *noise* sistem WCDMA. Selanjutnya persamaan diatas menjadi :

$$\frac{(3+\zeta_d) \left\{ \frac{E_{bw}(\alpha_w \rho_w f_s K_w + \beta_w)}{G_w} \right\}}{E_{cw}} \leq \gamma_{cw}^{-1} \dots(13)$$

Dari kualitas sinyal *pilot* yang dibutuhkan, maka kapasitas sistem akan diperoleh dengan menghitung persamaan (9), sehingga diperoleh hasil nilai optimum dari  $\beta_w$  dengan hasil sebagai berikut :

$$\beta_w = \frac{\gamma_{cw}(3+\zeta_d)(\alpha_w \rho_w f_s K_w)}{1-\gamma_{cw}(3+\zeta_d)} \quad \dots(14)$$

Langkah berikutnya adalah memasukkan persamaan (14) ke dalam persamaan (10) dan diperoleh persamaan kapasitas *downlink* sistem WCDMA seperti berikut ini :

$$K_w = \frac{G_w - \gamma_{cw} G_w (3 + \zeta_d)}{(\gamma_{bw} \alpha_w \rho_w f_s)(3 + \zeta_d)} \quad \dots(15)$$

## PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan di-analisa kapasitas koneksi WCDMA untuk arah *uplink* dan *downlink*. Kapasitas koneksi adalah ukuran dari kapasitas menyangkut jumlah para pengguna maksimum yang dapat secara serempak diakomodasikan dengan kualitas tertentu pada setiap sel. Pembahasan yang dilakukan pada kapasitas koneksi yang WCDMA adalah : 1). Menganalisa pengaruh ketidak sempurnaan sektorisasi sel terhadap kapasitas untuk

arah *uplink* dan *downlink*. 2) Menganalisa pengaruh *voice activity factor* dan kecepatan bit terhadap kapasitas untuk arah *uplink* dan *downlink* dengan ketidak sempurnaan sektorisasi. 3). Menganalisa pengaruh *power control* kapasitas *downlink* dengan ketidak sempurnaan sektorisasi.

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam perhitungan pada tesis ini adalah perubahan variabel sudut *overlap* ( $v$ ). Besaran *voice activity* ( $\alpha_w$ ) secara normal sama antar *uplink* dan *downlink* (D.G. Jeong, 1998) untuk *voice activity*  $\alpha = 0,4$ , seorang pengguna menghasilkan signal suara dan pemancaran signal suara hanya 40% menyangkut waktu percakapan, sedangkan untuk *voice activity*  $\alpha = 1$ , sistem digunakan hanya untuk melayani pengiriman data saja.

Perubahan variabel untuk kecepatan bit ( $R_w$ ) yang dipergunakan sesuai dengan standar dari *3<sup>rd</sup> Generation partnership project* (3GPP) (Harri Holma, 2000) yaitu : 1). 64 kbps untuk melayani layanan suara dan data. 2). 144 kbps yang mampu melayani layanan video telepon. 3).384 kbps dengan layanan *multicode* yang mampu mensupport paket data pada WCDMA. 4).2 Mbps yang merupakan *state of the art* dan target dari sistem selular generasi ke tiga.

Untuk analisa, besarnya parameter-parameter yang digunakan diberikan pada Tabel 1.

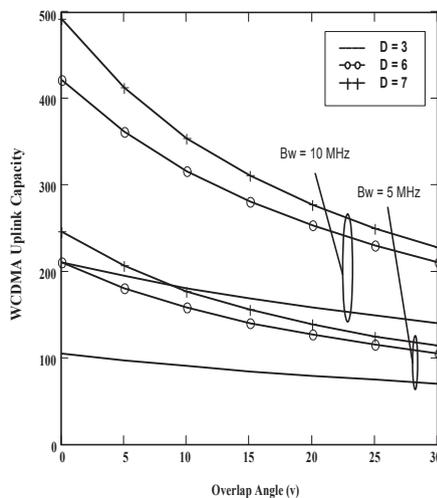
Tabel 1. Parameter yang digunakan untuk menganalisa kapasitas koneksi WCDMA untuk arah *uplink* dan *downlink*

PARAMETER	VALUE
$B_w$	5 MHz
$R_w$	64 kbps
$\alpha_w$	0,67
$\gamma_{bw}$	5 dB
$\gamma_{cw}$	-23 dB
$\rho_w$	0,42
$\zeta_u$	0,66
$\zeta_d$	0,76

Hasil analisa berupa gambar kapasitas WCDMA pada kanal koneksi *uplink* diperoleh melalui perhitungan dari

persamaan (6) dan untuk kanal *downlink* mempergunakan persamaan (15). Untuk mencari besar faktor koreksi sektorisasi diperoleh dari persamaan (1).

Gambar 3 diperoleh dari persamaan (6) memperlihatkan kapasitas *uplink* dengan memperhitungkan akibat ketidak sempurnaan sektorisasi sel yaitu dengan adanya sudut *overlap* antar sektor.



Gambar 3. Pengaruh ketidaksempurnaan sektorisasi pada kapasitas *uplink*,  $R_w = 64\text{ kpbs}$ ,  $\alpha_w = 0,67$ ,  $\gamma_{bw} = 5\text{ dB}$ ,  $\rho_w = 0,42$ ,  $\zeta_u = 0,66$

Dari Gambar 3 dapat dilihat bahwa, kapasitas *uplink* sistem WCDMA untuk *Bandwidth* 5MHz, 3 sektor dengan sektorisasi sempurna didapat sebesar 105. *user* dan sistem dengan *bandwidth* 10 MHz, didapat sebesar 210 *user*. *Bandwidth* 5MHz, 6 sektor dengan sektorisasi sempurna didapat sebesar 210 *user* dan sistem dengan *bandwidth* 10MHz, didapat sebesar 421 *user*. *Bandwidth* 5MHz, 7 sektor dengan sektorisasi sempurna didapat sebesar 245 *user* dan sistem dengan *bandwidth* 10MHz, didapat sebesar 491 *user*. Untuk sistem dengan *bandwidth* dan sudut *overlap* yang sama, kapasitas sistem dengan sektorisasi 3 sektor mempunyai kapasitas sebesar 105 *user*, 6 sektor memberikan kapasitas 110 *user*, sedangkan kapasitas sistem dengan 7 sektor sebesar 245 *user*. Semakin banyak sektor dari sektorisasi semakin besar kapasitas yang dapat disediakan

sistem. Dengan adanya sudut *overlap* sebesar  $5^\circ$ , kapasitas *uplink* sistem WCDMA dengan *bandwidth* 5MHz, 3 sektor dengan sektorisasi sempurna didapat sebesar 97 *user* dan sistem dengan *bandwidth* 10MHz, didapat sebesar 194 *user*. Dengan adanya sudut *overlap* sebesar  $5^\circ$ , kapasitas *uplink* sistem WCDMA dengan *bandwidth* 5MHz, 6 sektor dengan sektorisasi sempurna didapat sebesar 180 *user* dan sistem dengan *bandwidth* 10MHz, didapat sebesar 361 *user*. Dengan adanya sudut *overlap* sebesar  $5^\circ$ , kapasitas *uplink* sistem WCDMA dengan *bandwidth* 5MHz, 7 sektor dengan sektorisasi sempurna didapat sebesar 205 *user* dan sistem dengan *bandwidth* 10MHz, didapat sebesar 411 *user*. Besar penurunan pada kapasitas *uplink* untuk setiap kenaikan sudut *overlap* sebesar  $5^\circ$  untuk sektorisasi 3 sektor sebesar 7,1%, untuk sektorisasi 6 sektor terjadi penurunan sebesar 12,5% dan sektorisasi dengan 7 sektor mengalami penurunan kapasitas sebesar 16,3%.

Gambar 4 memperlihatkan kapasitas *downlink* yang diperoleh dari persamaan (15) dengan memperhitungkan akibat ketidak sempurnaan sektorisasi sel yaitu dengan adanya sudut *overlap* antar sektor, dapat dilihat bahwa kapasitas *downlink* sistem WCDMA untuk *Bandwidth* 5MHz, 3 sektor dengan sektorisasi sempurna didapat sebesar 108. *user* dan sistem dengan *bandwidth* 10MHz, didapat sebesar 216 *user*. *Bandwidth* 5MHz, 6 sektor dengan sektorisasi sempurna didapat sebesar 216 *user* dan sistem dengan *bandwidth* 10MHz, didapat sebesar 433 *user*. *Bandwidth* 5MHz, 7 sektor dengan sektorisasi sempurna didapat sebesar 252 *user* dan sistem dengan *bandwidth* 10MHz, didapat sebesar 505 *user*. Untuk sistem dengan *bandwidth* dan sudut *overlap* yang sama, kapasitas sistem dengan sektorisasi 3 sektor mempunyai kapasitas sebesar 105 *user*, 6 sektor memberikan kapasitas 110 *user*, sedangkan kapasitas sistem dengan 7 sektor sebesar 245 *user*. Semakin banyak sektor dari sektorisasi semakin

besar kapasitas yang dapat disediakan sistem.

Dengan adanya sudut *overlap* sebesar  $5^{\circ}$ , kapasitas *downlink* sistem WCDMA dengan *bandwidth* 5MHz, 3 sektor dengan sektorisasi sempurna didapat sebesar 100 *user* dan sistem dengan *bandwidth* 10MHz, didapat sebesar 200 *user*.

Dengan adanya sudut *overlap* sebesar  $5^{\circ}$ , kapasitas *downlink* sistem WCDMA dengan *bandwidth* 5MHz, 6 sektor dengan sektorisasi sempurna didapat sebesar 185 *user* dan sistem dengan *bandwidth* 10MHz, didapat sebesar 371 *user*.

Dengan adanya sudut *overlap* sebesar  $5^{\circ}$ , kapasitas *downlink* sistem WCDMA dengan *bandwidth* 5MHz, 7 sektor dengan sektorisasi sempurna didapat sebesar 211 *user* dan sistem dengan *bandwidth* 10MHz, didapat sebesar 423 *user*.

Besar penurunan pada kapasitas *down-link* untuk setiap kenaikan sudut *over-lap* sebesar  $5^{\circ}$  dengan sektorisasi 3 sektor sebesar 7,1%. untuk sektorisasi 6 sektor terjadi penurunan sebesar 12,5%. dan sektorisasi dengan 7 sektor mengalami penurunan kapasitas sebesar 16,3%.

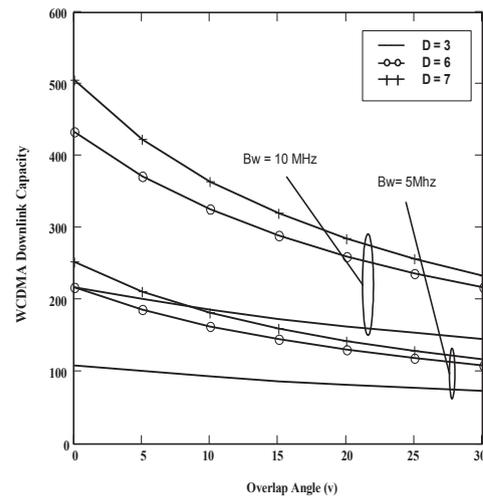
Akibat dari ketidak sempurnaan sektorisasi yang ditunjukkan dengan adanya sudut *overlap* yang semakin besar mengakibatkan kapasitas koneksi semakin berkurang, baik untuk *uplink* dan *downlink*. Dan hal ini terlihat dari persamaan (6) dan persamaan (15) bahwa faktor koreksi interferensi akibat ketidak sempurnaan sektorisasi ( $f_s$ ) berbanding terbalik dengan kapasitas sistem.

Penurunan kapasitas koneksi *uplink* dan *downlink* lebih besar terjadi pada sektorisasi dengan 6 sektor dibanding pada sektorisasi dengan 3 sektor untuk besar sudut *overlap* antar sektor yang sama. Hal ini dapat dilihat dari persamaan (1) bahwa jumlah sektor berbanding terbalik dengan faktor koreksi interferensi dan berbanding lurus dengan kapasitas.

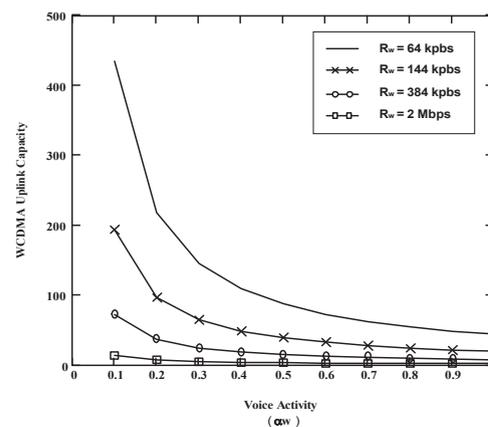
Penggunaan *bandwidth* 10MHz mengalami peningkatan kapasitas sistem

sebesar 100% dibanding dengan sistem dengan *bandwidth* sebesar 5MHz. Semakin besar *bandwidth* sistem maka kapasitas koneksi *uplink* dan *downlink* yang berikan semakin besar.

Dari persamaan (6) dan (15), dapat dilihat bahwa *bandwidth* ( $B_w$ ) berbanding lurus dengan kapasitas sistem.



Gambar 4. Pengaruh dari ketidak sempurnaan sektorisasi pada kapasitas *downlink*,  $R_w=64$ ,  $\alpha_w=0,67$ ,  $\gamma_{bw}=5\text{dB}$ ,  $\gamma_{cw}=-23\text{dB}$ ,  $\zeta_d=0,76$



Gambar 5. Pengaruh dari faktor *voice activity* dan kecepatan bit pada kapasitas *uplink*, 5 MHz, D = 3 sektor, sudut *overlap*  $v = 5^{\circ}$ ,  $\gamma_{bw}=5\text{ dB}$ ,  $\zeta_u=0,66$

Gambar 5. diperoleh dari persamaan (6) merupakan pengaruh dari faktor aktifitas suara dan pengaruh kecepatan bit pada kapasitas koneksi *uplink* dengan ketidaksempurnaan sektorisasi.

Sistem menggunakan kecepatan bit dari 64 kbps, kapasitas *downlink* yang dapat diberikan sebesar 434 *user*, pada saat sistem dengan faktor aktivitas suara tetap menaikkan kecepatan bit ratenya menjadi 144kbps, terjadi penurunan kapasitas sistem sebesar 55,6%. 384kbps, terjadi penurunan kapasitas sistem sebesar 83,3%. 2Mbps, terjadi penurunan kapasitas sistem sebesar 96,8%.

Setiap kenaikan faktor aktivitas suara sebesar 0,1 menyebabkan kapasitas menurun sebesar 50%.

Gambar 6 diperoleh dari persamaan (15) merupakan pengaruh dari faktor aktifitas suara dan pengaruh kecepatan bit pada kapasitas koneksi *downlink* dengan ketidaksempurnaan sektorisasi.

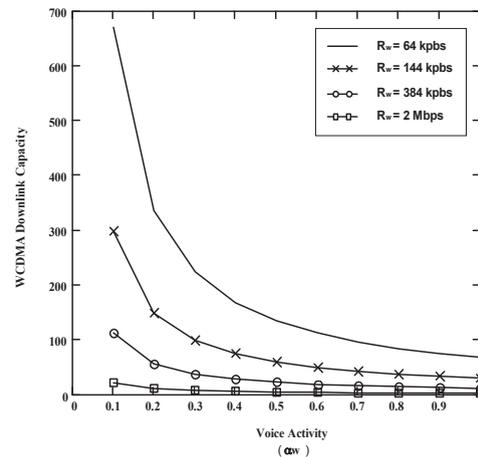
Sistem menggunakan kecepatan bit dari 64kbps, kapasitas yang dapat diberikan sebesar 434 *user*, pada saat sistem dengan faktor aktivitas suara tetap menaikkan kecepatan bit ratenya menjadi 144kbps, terjadi penurunan kapasitas sistem sebesar 55,6%. 384kbps, terjadi penurunan kapasitas sistem sebesar 83,3%. 2Mbps, terjadi penurunan kapasitas sistem sebesar 96,8%.

Setiap kenaikan faktor aktivitas suara sebesar 0,1 menyebabkan kapasitas menurun sebesar 50%.

Kapasitas sistem WCDMA baik pada kanal koneksi *uplink* dan *downlink* akan mengalami penurunan dengan naiknya faktor aktifitas suara. Begitu juga sebaliknya, kapasitas akan meningkat dengan adanya penurunan faktor aktifitas suara. Hal yang sama juga terjadi pada perubahan kecepatan bit, kapasitas sistem akan naik bila sistem menggunakan kecepatan bit lebih cepat dan sebaliknya. Terlihat dari persamaan (6) dan (15), bahwa kecepatan bit dan faktor aktivitas berbanding terbalik dengan kapasitas sistem.

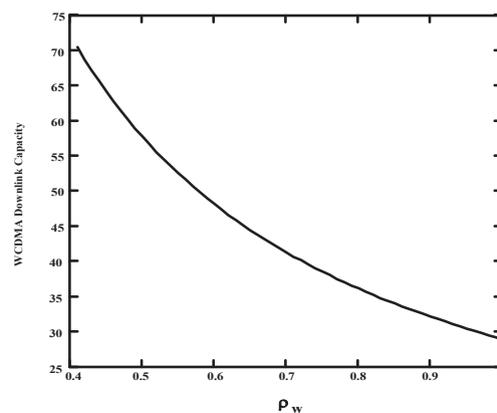
Jika seluruh *user* terdistribusi secara uniform disetiap selnya, dan diasumsikan kontrol daya sempurna maka nilai  $\rho_w$  adalah 0,42, dari persamaan (15) didapat kapasitas sebesar 68 *user*. Sedangkan sistem tanpa kontrol daya ( $\rho_w$

= 1), kapasitas yang dapat diberikan sistem adalah sebesar 28 *user*.



Gambar 6. Pengaruh dari faktor *voice activity* dan kecepatan bit pada kapasitas koneksi *downlink*, 5 MHz, D = 3 sektor, sudut *overlap*  $\nu = 5^\circ$ ,  $\gamma_{bw} = 5$  dB,  $\gamma_{cw} = -23$  dB,  $\rho_w = 0,42$ ,  $\zeta_d = 0,76$

Gambar 7 diperoleh dari persamaan (15) merupakan pengaruh *power control* terhadap kapasitas *downlink* dengan ketidaksempurnaan sektorisasi.



Gambar 7. Pengaruh rata-rata faktor kontrol daya ( $\rho_w$ ) pada kapasitas koneksi *downlink*. 5 MHz,  $R_w = 64$  kbps,  $\alpha_w = 0,67$ , D = 3 sektor, sudut *overlap*  $\nu = 5^\circ$ ,  $\gamma_{bw} = 5$  dB,  $\gamma_{cw} = -23$  dB,  $\rho_w = 0,42$ ,  $\zeta_d = 0,76$

Dari hasil perhitungan, kapasitas mengalami penurunan sebesar 59% bila tanpa kontrol daya dibandingkan dengan menggunakan kontrol daya. Dapat dilihat dari persamaan (15), bahwa rata-rata

faktor dari kontrol daya ( $\rho_w$ ) berbanding terbalik dengan kapasitas sistem.

### KESIMPULAN

Penggunaan sektorisasi sel 6 sektor dan 7 sektor dapat meningkatkan kapasitas sistem dibanding dengan sektorisasi 3 sektor. Semakin banyak jumlah sektor dari sektorisasi semakin besar kapasitas *uplink* dan *downlink* yang dapat diberikan sistem.

Ketidaksempurnaan sektorisasi yang dinyatakan dalam besaran sudut *overlap* antar sektor menyebabkan penurunan kapasitas *uplink* dan *downlink*, karena memberikan tambahan kepada sektor yang *dioverlapnya*. Dari hasil analisa, prosentase penurunan kapasitas *uplink* dan *downlink* sama besar untuk penggunaan sektorisasi dengan jumlah sektor yang sama. Setiap kenaikan sudut *overlap* sebesar  $5^\circ$ , untuk sektorisasi 3 sektor terjadi penurunan sebesar 7,1%, untuk sektorisasi 6 sektor sebesar 12,5 % dan penurunan kapasitas sebesar 16,3% untuk sektorisasi dengan 7 sektor, hal ini disebabkan faktor koreksi akibat ketidaksempurnaan sektorisasi semakin besar. Semakin banyak pembagian sektor, penurunan kapasitas yang timbul menjadi lebih besar untuk sudut *overlap* antar sektor yang sama, karena semakin banyak sektorisasi semakin kecil faktor koreksi interferensi. Sedangkan faktor koreksi ketidak sempurnaan sektorisasi sel berbanding terbalik dengan kapasitas sistem.

Perubahan kecepatan bit dari 64 kbps ke 144 kbps pada kanal koneksi *uplink* dan *downlink* dengan faktor aktivitas suara tetap, akan terjadi penurunan yang sama besar terhadap kapasitas sistem sebesar 55,6%. Semakin tinggi kecepatan bit maka kapasitas akan semakin menurun, karena semakin besar kecepatan bit akan mengurangi alokasi kanal informasi pada *bandwidth* yang tersedia karena satu pemakai menenpati kanal yang lebih panjang. Karena total *bandwidth* yang tersedia tetap namun disisi lain alokasi kanal untuk satu pemakai bertambah, hal ini menyebabkan bertambahnya kecepatan bit dapat mengurangi kapasitas total dari pemakai.

Setiap kenaikan faktor aktivitas suara sebesar 0,1 baik pada kanal koneksi *uplink* dan *downlink* menyebabkan kapasitas menurun sebesar 50% dengan kecepatan bit tetap. Nilai faktor aktivitas berhubungan dengan pemakaian kanal, dimana semakin besar faktor aktivitas berarti pemakaian kanal akan semakin banyak, sehingga jumlah kapasitas total dari *user* berkurang.

Kapasitas *uplink* dan *downlink* pada sistem WCDMA yang menggunakan *power control* lebih besar dibanding sistem tanpa *power control*, karena pengendalian daya (*power control*) berusaha agar *mean* daya yang diterima BS tetap konstan untuk setiap *user*, sehingga masalah interferensi dapat diatasi.

### DAFTAR PUSTAKA

- Djoko, T.A., 2000, *Analisa Unjuk Kerja Kapasitas Downlink Sistem WCDMA*, Tesis Magister, ITB, Bandung.
- Gilhausen, S., Jacob I. M., Padovani R., Viterbi, A.J, Weaver. L.A, and Wheatly, C.E, 1991, *On the Capacity of a Cellular CDMA System*, IEEE Trans on Vehicular Technology, Vol. 40.
- Holma, H., Toskala, A., *WCDMA for UMTS*, John Wiley & Sons.
- Jeong, D.G., Kim, I.G., Kim, D., 1997, *Forward Link Capacity Analysis of Spectrally Overlaid Narrowband and Wideband CDMA System*, In Proc. IEEE VTC, Phoenix, AZ, May.
- Jeong, D.G., Kim, I.G., Kim, D., 1998, *Capacity Analysis of Spectrally Overlaid Multiband CDMA Mobile Network*, IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol.47, No.3 August.
- Lee, W.C.Y., 1991, *Overview of Cellular CDMA*, IEEE Trans on Vehicular Technology, Vol. 40.
- Lee, W.C.Y., 1995, *Mobile Cellular Telecommunications*, 2nd Edition, Mc.Grawhill, New York.
- Mendo, L., 2001, *Uplink and Downlink Capacity in WCDMA Cellular Systems*, ETS Ing. Telecommunication, Polytechnic University, Madrid.

- Prasad, R. 1966, *CDMA for Wireless Personal Communication*, Artech House, Boston and London.
- Qualcomm, 1992, *The CDMA Network Engineering Handbook*, vol 1, QUALCOMM Incorporated, San Diego, CA, Nov.