

PENGARUH SEKTORISASI TAK SEMPURNA PADA KAPASITAS AUDIO, DATA DAN VIDEO UNTUK SISTEM MULTICLASS CDMA DENGAN BEAMFORMING.

Linna Oktaviana Sari.

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negri Jakarta

Email : Linna_vivi@yahoo.com

Abstrak -- Pada penelitian ini, dianalisa pengaruh sektorisasi tak sempurna (*imperfect sectorization*) pada kapasitas user audio, data dan video dari sistem multiclass CDMA arah reverse-link berdasarkan signal to interference ratio (SIR) dengan menggunakan beamforming pada pengirim mobile station (MS) dan penerima base station (BS). Kapasitas user audio, data dan video dipengaruhi oleh jumlah elemen antena beamforming, jumlah sektor, besar sudut overlap akibat sektorisasi tidak sempurna. Beamforming digunakan pada bagian pengirim MS dan penerima BS dan diasumsikan masing-masing elemen memiliki amplitudo arus yang identik dan mempunyai jarak antar elemen yang sama (*uniformly excited, equally spaced linear array*). Sistem CDMA yang diteliti berupa sel makro yang berbentuk heksagonal yang terdapat pada homecell-BS yang dikelilingi oleh 6 sel pada ring pertama. BS diletakkan dipusat sel dan path loss eksponen sebesar 4. Homecell-BS dibagi kedalam 3 sektor dengan beamwidth per sektor yang efektif sebesar 120°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas sistem multiclass akan semakin meningkat dengan meningkatnya jumlah elemen antena beamforming penerima pada BS untuk jumlah elemen antena beamforming pengirim MS yang sama. Dengan sektorisasi menggunakan antena beamforming memperlihatkan bahwa kapasitas user audio, data maupun video lebih besar dibandingkan dengan tanpa menggunakan antena beamforming.

Kata Kunci : Sektorisasi, Beamforming, audio, data, video.

I. PENDAHULUAN

Pada sistem *code division multiple Access* (CDMA), semua user atau *mobile station* (MS) menggunakan frekuensi yang sama pada waktu yang sama, dan hanya dibedakan berdasarkan *pseudo-noise code* (PN-code) yang tidak dapat orthogonal secara sempurna antara user yang satu dengan yang lain, sehingga terjadi interferensi antar user [1]-[3]. Kapasitas CDMA dibatasi oleh interferensi, sehingga untuk meningkatkan kapasitas dilakukan dengan mengurangi interferensi. Terdapat beberapa metode

untuk meningkatkan kapasitas, diantaranya adalah dengan pengendalian daya (*power control*), sektorisasi, *voice activity monitoring*, *beamforming* (antena array) dan *multiuser detection*.

Analisa kapasitas CDMA pada *reverse-link* dengan sektorisasi, *voice activity monitoring*, dan pengendalian daya telah diteliti [1]. Hasilnya menunjukkan peningkatan kapasitas user. Pada [2], analisa kapasitas sistem CDMA pada *reverse-link* dan *forward-link* dengan pengendalian daya yang tidak sempurna telah dilakukan. Dari hasil perhitungan, pengendalian daya tidak sempurna pada reverse link menyebabkan kapasitas sistem menurun. Pada *forward-link* digunakan dua skema pengendalian daya. Hasilnya menunjukkan bahwa skema pengendalian daya berdasarkan carrier-to-interference (C/I) lebih baik dari skema berdasarkan jarak. Pada [3], telah diteliti kapasitas dan *outage probability* dari CDMA pada *reverse-link* untuk sistem selular makrosel dan mikrosel dengan pengendalian daya sempurna/tidak sempurna dan sektorisasi sempurna/tidak sempurna. Hasilnya menunjukkan bahwa kapasitas user semakin kecil jika pengendalian daya dan sektorisasi semakin tidak sempurna. Analisa pengaruh ketidaksempurnaan pengendalian daya pada kapasitas *reverse-link* sistem CDMA dengan *fast power control* dan *multipath fading* telah diteliti oleh [4]. Hasilnya menunjukkan penurunan pada kapasitas user akibat pengendalian daya semakin tak sempurna. Pada [5], kapasitas pada *reverse-link* dari sistem CDMA dengan menggunakan *beamforming* telah diteliti. Dimana *beamforming* digunakan pada bagian pengirim dan penerima, dan pengendalian daya diasumsikan berdasarkan *signal to interference ratio* (SIR). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa adanya peningkatan kapasitas dengan menggunakan *beamforming*.

Untuk mendukung teknologi generasi ketiga atau *third-generation* (3G), maka CDMA yang telah dipilih sebagai teknologi untuk sistem 3G diharapkan mampu memenuhi kebutuhan layanan audio, data, maupun video dengan kapasitas sistem yang besar. Layanan audio, data maupun video dapat dipandang sebagai sistem *multiclass* CDMA.

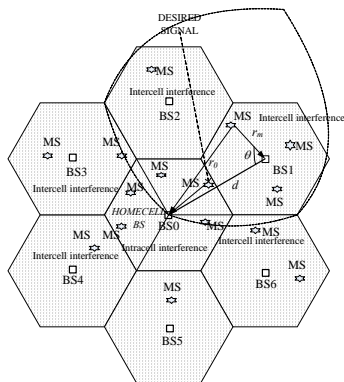
Akibat dari sektorisasi yang tidak sempurna (*imperfect sectorization*), maka interferensi semakin meningkat dan kapasitas sistem *multiclass* CDMA semakin menurun. Oleh karena itu, untuk meminimalkan dampak

interferensi dan meningkatkan kapasitas sistem multiclass CDMA digunakan beamforming untuk sektorisasi.

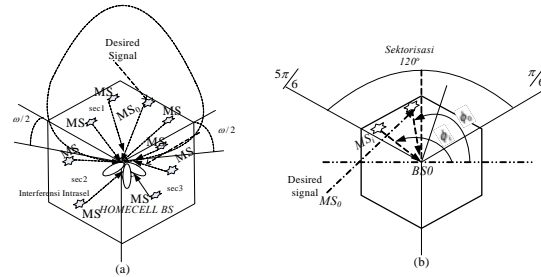
Pada penelitian ini, pengaruh sektorisasi tak sempurna pada kapasitas *reverse-link* audio, data, dan video untuk sistem *multiclass* CDMA dengan menggunakan *beamforming* akan dianalisa. *Beamforming* digunakan pada bagian pengirim *MS* dan penerima *BS* dan diasumsikan masing-masing elemen memiliki amplitudo arus yang identik dan mempunyai jarak antar elemen yang sama (*uniformly excited, equally spaced linear array*). Kapasitas didefinisikan sebagai jumlah user maximum per sel yang dipengaruhi jumlah elemen antenna *beamforming*, jumlah sektor, besar sudut overlap akibat sektorisasi tidak sempurna, pengendalian daya tidak sempurna, SIR yang ditargetkan, dan *processing gain* CDMA.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, untuk melakukan analisa dan perhitungan kapasitas sistem *multiclass* CDMA pada *reverse link*, sistem model yang digunakan terdapat pada Gambar 1. Pada sistem model tersebut, sel-sel terdapat pada *homecell* *BS* dengan *BS0* dan pada ring (*tier*) pertama yang terdiri dari sel-sel yang mengelilingi *homecell* *BS* dengan *BS_j*, dimana $j=1,2,\dots,6$. Setiap *BS* diletakkan dipusat setiap sel makro yang berbentuk heksagonal. Untuk menganalisa pengaruh dari sektorisasi tak sempurna, maka *homecell* *BS* dibagi kedalam sejumlah sektor dengan menggunakan antenna *beamforming*, dimana *homecell* *BS* dibagi kedalam 3 sektor dengan beamwidth yang efektif sebesar 120° .



Gambar 1. Sistem model yang digunakan



Gambar 2.(a). Interferensi intrasel, (b). 1 sektor 120° dengan antenna *beamforming*.

Pada Gambar 2.(a), interferensi intrasel pada *homecell* *BS*, berasal dari sejumlah *MS* yang terdapat pada sel tersebut. Bila dilakukan sektorisasi dengan antenna *beamforming* pada *homecell* *BS*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.(b), maka jumlah interferensi dari user akan berkurang. Pada Gambar 2.(b) ditunjukkan notasi-notasi sudut dari beamforming penerima pada *BS0*, ϕ_0 adalah sudut azimut dari *MS₀* ke *BS0* dan ϕ_i adalah sudut azimut dari *MS_i* ke *BS0*, sudut-sudut ini terdistribusi secara merata dari $\pi/6$ ke $5\pi/6$ untuk 3 sektor. Gain antenna penerima dari *MS₀* ke arah *MS_i* *BS0* untuk 3 sektor diberikan oleh [5]:

$$G_r = E_{\phi_0, \phi_i} [G_r(\phi_i, \phi_0)] = \int_{-0.5}^{0.5} \frac{\sin^2(0.5K_r \pi \phi)}{K_r^2 \sin^2(0.5\pi \phi)} f(\phi) d\phi \quad (1)$$

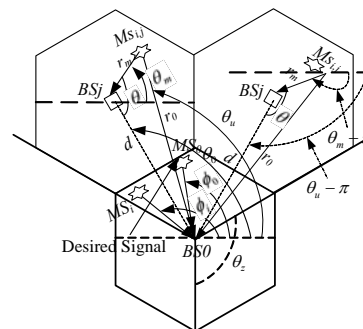
Dengan menggunakan antenna beamforming, maka total interferensi intrasel untuk sektorisasi dengan beamforming menjadi

$$S_{irs} = F_z \sum_{i=1}^{z-1} S_i \cdot G_r \quad (2)$$

dimana,

$$F_z = \frac{S_{sektor}}{S_{non-sektor}} = \frac{1}{z} + \frac{\omega}{360^\circ}$$

z adalah jumlah sektor, dan ω adalah sudut overlap antar sektor [3].



Gambar 3. Sektorisasi 3 sektor dengan beamforming dan notasi-notasi sudut beamforming.

Pada Gambar 3 ditunjukkan sektorisasi *homecell BS* menjadi 3 sektor dengan 120° beamwidth per sektor yang efektif. Sektorisasi dilakukan dengan menggunakan antena beamforming pada *BS0*, jika antena beamforming juga digunakan pada $MS_{i,j}$, maka total interferensi intersel dengan sektorisasi S_z pada *BS0*, dapat dinyatakan oleh

$$S_z = F_z \int_0^R \int_0^{2\pi} S_i \left(\frac{r_m}{r_0} \right)^{\mu} 10^{\frac{(\xi_0 - \xi_j)}{10}} \mathcal{O} \left(\xi_0 - \xi_j, \frac{r_m}{r_0} \right) \times \rho G_t(\theta_u, \theta_m) G_r(\theta_u, \phi_0) r_m dr_m d\theta \quad (3)$$

$G_t(\theta_u, \theta_m)$ dan $G_r(\theta_u, \phi_0)$ adalah *gain pattern* dari beamforming pengirim *MS* dan penerima *BS*. θ_u dan θ_m adalah sudut azimut dari $MS_{i,j}$ ke *BS0* dan *BSj* yang melayaninya. θ_0 adalah sudut azimut dari *BSj* ke *BS0*. Pada Gambar 3 ditunjukkan notasi-notasi sudut pada beamforming pengirim di $MS_{i,j}$. Ketika terdapat K_t elemen antena pengirim beamforming pada *MS*, maka gain antena pengirim pada arah $MS_{i,j}$ ke *BS0* [5] adalah

$$G_t(\theta_u, \theta_m) = \left| \frac{\sin(0.5K_t\pi(\sin(\theta_u - \pi) - \sin(\theta_m - \pi)))}{K_t \sin(0.5\pi(\sin(\theta_u - \pi) - \sin(\theta_m - \pi)))} \right|^2 \quad (4)$$

jika terdapat K_r elemen antena penerima beamforming pada *BS0* untuk menerima sinyal-sinyal dari MS_0 , maka gain antena penerima dari $MS_{i,j}$ ke *BS0* [5] adalah

$$G_r(\theta_u, \phi_0) = \left| \frac{\sin(0.5K_r\pi(\sin(\theta_u - \sin \phi_0)))}{K_r \sin(0.5\pi(\sin(\theta_u - \sin \phi_0)))} \right|^2 \quad (5)$$

Pada penelitian ini, masing-masing trafik audio, data, dan video pada sistem *multiclass CDMA* menggunakan *spreading code* yang berbeda dengan *proccessing gain* G_a , G_d , dan G_v . Dengan cara seperti ini, maka layanan-layanan dengan rate yang berbeda diakomodasikan dengan urutan spreading dengan bermacam-macam *processing gain*. Jika *processing gain* dinormalisasikan dengan $G = G_a$, maka *processing gain* yang telah dinormalisasikan untuk layanan audio, data, dan video menjadi g_a , g_d , dan g_v . Total interferensi intersel dari semua trafik adalah $S_z = S_{za} + S_{zd} + S_{zv}$, maka

$$E[S_z] = E[S_{za}] + E[S_{zd}] + E[S_{zv}] \quad (6)$$

Tiga tipe dari urutan spreading dengan *processing gain* yang berbeda Gg_a , Gg_d dan Gg_v digunakan untuk memenuhi kebutuhan rate yang berbeda. Untuk mencapai target SIR (γ_a , γ_d , γ_v) untuk layanan yang berbeda, dan P_a , P_d , dan P_v merupakan daya yang diterima untuk masing-masing layanan, dimana $S_a = P_a g_a$, $S_d = P_d g_d$, dan S_v

$= P_v g_v$ merupakan normalisasi dari daya yang diterima untuk masing-masing trafik audio, data, dan video, maka E_b/I_o sistem *multiclass CDMA* untuk masing-masing kelas :

$$\begin{aligned} \left(\frac{E_b}{I_o} \right)_a &= \frac{GS_a}{\frac{2}{3} \left(\frac{(N_a - 1)S_a G_r F_z}{g_a} + \frac{N_d S_d G_r F_z}{g_d} + \frac{N_v S_v G_r F_z}{g_v} + S_z \right) + \eta_0 W} \geq \gamma_a \\ \left(\frac{E_b}{I_o} \right)_d &= \frac{GS_d}{\frac{2}{3} \left(\frac{N_a S_a G_r F_z}{g_a} + \frac{(N_d - 1)S_d G_r F_z}{g_d} + \frac{N_v S_v G_r F_z}{g_v} + S_z \right) + \eta_0 W} \geq \gamma_d \\ \left(\frac{E_b}{I_o} \right)_v &= \frac{GS_v}{\frac{2}{3} \left(\frac{N_a S_a G_r F_z}{g_a} + \frac{N_d S_d G_r F_z}{g_d} + \frac{(N_v - 1)S_v G_r F_z}{g_v} + S_z \right) + \eta_0 W} \geq \gamma_v \end{aligned} \quad (7)$$

Pada persamaan (7), jika E_b/I_o untuk trafik yang berbeda sama dengan target SIR masing-masing trafik, maka S_a , S_d , dan S_v dapat dinyatakan dalam S_z menjadi :

$$\begin{aligned} S_a &= \frac{S_z + 1.5\eta_0 W}{C} \\ S_d &= B_d S_a \\ S_v &= B_v S_a \end{aligned} \quad \text{dimana,}$$

$$C = \frac{G_r F_z}{g_a} + \frac{1.5G}{\gamma_a} - G_r F_z \left(\frac{N_a}{g_a} + \frac{N_d B_d}{g_d} + \frac{N_v B_v}{g_v} \right)$$

$$\begin{aligned} B_d &= \frac{1}{g_d} + \frac{1.5G}{G_r F_z \gamma_d} \\ B_v &= \frac{1}{g_v} + \frac{1.5G}{G_r F_z \gamma_v} \end{aligned}$$

Rata-rata dari total interferensi intersel dengan sektorisasi menggunakan beamforming S_z untuk *multiclass* pada persamaan (6) dapat ditulis kembali menjadi persamaan berikut :

$$\begin{aligned} E[S_z] &= E[S_{za}] + E[S_{zd}] + E[S_{zv}] \\ &= E[S_a] \frac{N_a}{g_a} F(\mu, \sigma) F_z + E[S_d] \frac{N_d}{g_d} F(\mu, \sigma) F_z + E[S_v] \frac{N_v}{g_v} F(\mu, \sigma) F_z \\ &= \frac{1.5\eta_0 W \left(\frac{N_a + N_d B_d + N_v B_v}{g_a} \right) F(\mu, \sigma) F_z}{\frac{G_r F_z}{g_a} + \frac{1.5G}{\gamma_a} - G_r F_z \left(\frac{N_a}{g_a} + \frac{N_d B_d}{g_d} + \frac{N_v B_v}{g_v} \right) - \left(\frac{N_a}{g_a} + \frac{N_d B_d}{g_d} + \frac{N_v B_v}{g_v} \right) F(\mu, \sigma) F_z} \end{aligned} \quad (8)$$

nilai $F(\mu, \sigma) > 0$, maka pada bagian pembagi persamaan (8) dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$\frac{G_r F_z}{g_a} + \frac{1.5G}{\gamma_a} - G_r F_z \left(\frac{N_a}{g_a} + \frac{N_d B_d}{g_d} + \frac{N_v B_v}{g_v} \right) - \left(\frac{N_a}{g_a} + \frac{N_d B_d}{g_d} + \frac{N_v B_v}{g_v} \right) F(\mu, \sigma) F_z \geq 0$$

maka kapasitas sistem *multiclass* CDMA dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{N_a \left(\frac{1 + 1.5G}{g_a} \right) \left(\frac{1 + 1.5G}{F_i G_i \gamma_i} \right)}{g_a \left(\frac{1 + 1.5G}{F_i G_i \gamma_i} \right) + \frac{1 + 1.5G}{F_i G_i \gamma_i}} = \frac{N_d \left(\frac{1 + 1.5G}{g_d} \right) \left(\frac{1 + 1.5G}{F_i G_i \gamma_i} \right)}{g_d \left(\frac{1 + 1.5G}{F_i G_i \gamma_i} \right) + \frac{1 + 1.5G}{F_i G_i \gamma_i}} \quad (9)$$

$$+ \frac{N_v \left(\frac{1 + 1.5G}{g_v} \right) \left(\frac{1 + 1.5G}{F_i G_i \gamma_i} \right)}{g_v \left(\frac{1 + 1.5G}{F_i G_i \gamma_i} \right) + \frac{1 + 1.5G}{F_i G_i \gamma_i}} = \frac{G_i F_i \left(\frac{1 + 1.5G}{g_a} \right) \left(\frac{1 + 1.5G}{F_i G_i \gamma_i} \right) \left(\frac{1 + 1.5G}{F_i G_i \gamma_i} \right)}{(F_i \mu \sigma F_i + G_i F_i)}$$

III. HASIL DAN ANALISA

Parameter-parameter yang digunakan dalam perhitungan kapasitas user audio, data, dan video pada sistem *multiclass* CDMA ditunjukkan pada Tabel 4.1:

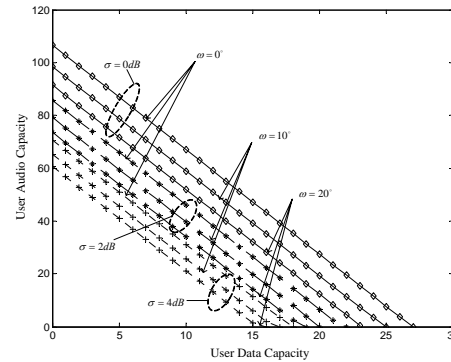
Tabel 4.1 Parameter Dalam Perhitungan.

| Parameter | N_a : User Audio | N_d : User Data | N_v : User Video |
|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Spreading bandwidth (W) [5] | 4.096 Mbps | | |
| Processing Gain [5] | $G_a = 128$ / $g_a = 1$ | $G_d = 64$ / $g_d = 0.5$ | $G_v = 32$ / $g_v = 0.25$ |
| Target SIR [5] | $\gamma_a = 5$ dB | $\gamma_d = 10$ dB | $\gamma_v = 7$ dB |
| Power Control Factor σ (dB) | 0,2,4,6,8[1] | | |
| Konstanta Propagasi (μ) | 4[1] | | |
| Elemen Antena Penerima[5]; | 1 - 9 | | |
| Elemen Antena Pengirim[5]; | 1 - 4 | | |
| Sudut Overlap (ω) | 0;5;10;15[3];20 | | |
| Jumlah Sektor (z)[3] | 3 | | |

A. Kapasitas User Audio, Data, dan Video pada Sistem Multiclass.

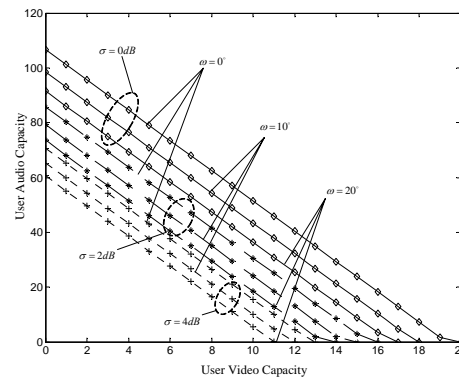
Pengaruh sektorisasi pada kapasitas user audio, data dan video untuk sistem *multiclass* terlihat pada Gambar 4. sampai dengan Gambar 5. Pada masing-masing gambar tersebut, pengaruh pengendalian daya dilakukan dengan menggunakan $\sigma = 0$ dB yang menunjukkan pengaruh pengendalian daya sempurna. Sedangkan pengaruh pengendalian daya tak sempurna ditunjukkan dengan $\sigma = 2$ dB sampai dengan $\sigma = 4$ dB. Pada masing-masing gambar tersebut, sektorisasi dilakukan sebesar $z = 3$ sektor, dengan sudut overlap antar sektor $\omega = 0^\circ$ yang menunjukkan

sektorisasi sempurna, dan $\omega = 10^\circ$, $\omega = 20^\circ$ untuk sektorisasi yang semakin tak sempurna.



Gambar 4. Kapasitas user audio sebagai fungsi kapasitas user data pada sistem *multiclass* dengan sektorisasi.

Pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 5, memperlihatkan bahwa untuk sektorisasi yang semakin tak sempurna, kapasitas user audio, data maupun video semakin menurun.



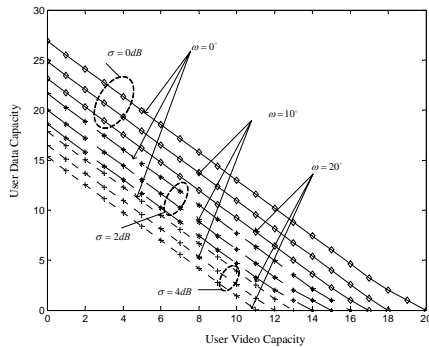
Gambar 5. Kapasitas user audio sebagai fungsi kapasitas user video pada sistem *multiclass* dengan sektorisasi.

Dari Gambar 4, terlihat bahwa untuk kondisi sektorisasi baik sempurna maupun tak sempurna, kapasitas user audio semakin menurun dengan semakin bertambahnya kapasitas user data, dimana diasumsikan jumlah user video berjumlah tetap. Hal ini terjadi karena beberapa slot untuk user audio digunakan untuk user data.

Pada Gambar 5, memperlihatkan kapasitas user audio sebagai fungsi kapasitas user video, dimana diasumsikan jumlah user data berjumlah tetap. Hal ini terjadi karena beberapa slot untuk user audio digunakan untuk user video.

Sedangkan untuk Gambar 6, memperlihatkan kapasitas user data sebagai fungsi kapasitas user video, dimana diasumsikan jumlah

user audio berjumlah tetap. Dari Gambar 6, terlihat bahwa kapasitas user data menurun dengan bertambahnya kapasitas user video, hal ini terjadi karena beberapa slot untuk user data digunakan untuk user video.

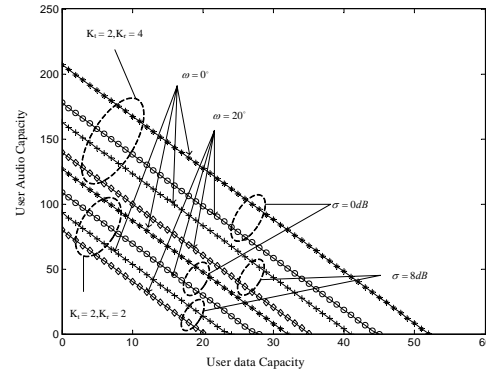


Gambar 6. Kapasitas user data sebagai fungsi kapasitas user video pada sistem *multiclass* dengan sektorisasi.

Pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 6 dapat dilihat juga bahwa kapasitas user audio lebih besar dari kapasitas user data maupun video, dan kapasitas user data lebih besar dari kapasitas user video. Hal ini disebabkan karena *processing gain* audio lebih besar dari *processing gain* data dan video, dan *processing gain* data lebih besar dari *processing gain* video, dimana untuk *processing gain* yang lebih kecil mempunyai bit rate yang lebih besar. Dengan bit rate yang lebih besar maka daya yang diperlukan juga besar, karena kebutuhan daya sebanding dengan besarnya bit rate, sehingga sinyal interferensi semakin meningkat dan kapasitas semakin menurun.

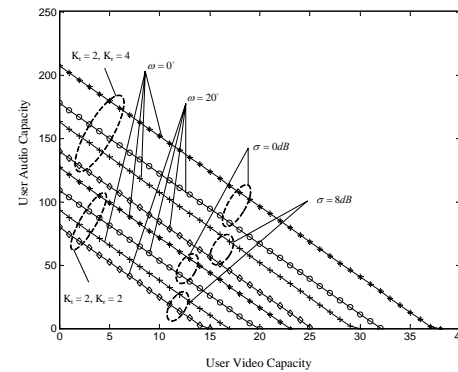
B. Kapasitas User Audio, Data dan Video pada Sistem Multiclass dengan Beamforming.

Pada Gambar 7 sampai dengan Gambar.9 dapat terlihat pengaruh sektorisasi pada kapasitas user audio, data dan video untuk sistem *multiclass* dengan menggunakan antenna beamforming. Pada masing-masing gambar tersebut, sektorisasi sebesar $z = 3$ sektor dilakukan dengan menggunakan antenna beamforming dengan sudut overlap antar sektor $\omega = 0^\circ$ yang menunjukkan sektorisasi sempurna, dan $\omega = 20^\circ$ untuk sektorisasi yang tak sempurna. Pengaruh antenna beamforming untuk sektorisasi terlihat dengan membandingkan kapasitas user audio, data dan video untuk $K_t = 2, K_r = 2;4$.



Gambar 4.8 Kapasitas user audio sebagai fungsi kapasitas user data pada sistem *multiclass* untuk $K_t = 2, K_r = 2;4$, dengan sektorisasi dan

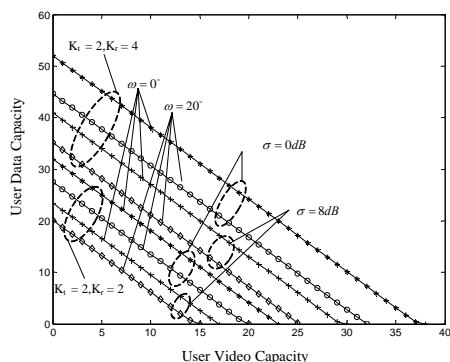
Pada gambar-gambar tersebut juga terlihat bahwa untuk sektorisasi yang semakin tak sempurna, kapasitas user audio, data maupun video semakin menurun. Pengaruh antenna beamforming untuk sektorisasi dari gambar-gambar tersebut memperlihatkan bahwa kapasitas user audio, data maupun video lebih besar untuk $K_t = 2, K_r = 4$ dibandingkan $K_t = 2, K_r = 2$.



Gambar 8. Kapasitas user audio sebagai fungsi kapasitas user video pada sistem *multiclass* untuk $K_t = 2, K_r = 2;4$, dengan sektorisasi.

Dari Gambar 7, terlihat bahwa untuk kondisi sektorisasi baik sempurna maupun tak sempurna, kapasitas user audio semakin menurun dengan semakin bertambahnya kapasitas user data, dimana diasumsikan jumlah user video berjumlah tetap. Hal ini terjadi karena beberapa slot untuk user audio digunakan untuk user data. Pada Gambar 8, memperlihatkan kapasitas user audio sebagai fungsi kapasitas user video juga menurun dengan bertambahnya user video, dimana diasumsikan jumlah user data berjumlah tetap. Hal ini terjadi karena beberapa slot untuk user audio digunakan untuk user video. Sedangkan untuk Gambar 9, memperlihatkan kapasitas user data sebagai fungsi kapasitas user video, dimana diasumsikan jumlah user audio berjumlah tetap. Dari Gambar 9 terlihat

bahwa kapasitas user data menurun dengan bertambahnya kapasitas user video, hal ini terjadi karena beberapa slot untuk user data digunakan untuk user video.



Gambar 9. Kapasitas user data sebagai fungsi kapasitas user video pada sistem *multiclass* untuk $K_t = 2, K_r = 2;4$, dengan sektorisasi.

Dengan melakukan sektorisasi menggunakan antena beamforming memperlihatkan bahwa kapasitas user audio, data maupun video lebih besar dibandingkan dengan tanpa menggunakan beamforming.

IV. KESIMPULAN

Sektorisasi dengan antena beamforming menghasilkan kapasitas sistem *multiclass* yang lebih besar, penggunaan antena beamforming pada sektorisasi tak sempurna, dapat meningkatkan kapasitas sistem *multiclass*.

Sesuai dengan jumlah elemen antena beamforming penerima pada BS hal ini berpengaruh juga pada peningkatan kapasitas user audio, data maupun video.

V. DAFTAR ACUAN

- [1]. K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L.A. Weaver Jr., and C. E. Wheatly III, "On the capacity of a CDMA system," *IEEE Trans on Veh. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 303–312, Mei 1991.
- [2] R. Prasad, M.G. Jansen, A.Kegel, "Capacity Analysis of Cellular Direct Sequence Code Division Multiple Access System With Imperfect Power Control", *IEICE TRANS .COMMUN*, Vol.E76-B, No.8, Agustus 1993.
- [3]. Jie Zhou, Y. Onozato, U. Yamamoto, "On the Capacity and Outage Probability of a CDMA Hierarchical Mobile System with Perfect/Imperfect Power Control and Sectorization", *IEICE TRANS*

FUNDAMENTALS, Vol.E82-A, No.7, July 1999.

- [4]. Juan M. Romero-Jerez, C. Tellez-Labao, A. Diaz-Estrella, "Effect of Power Control Imperfections on the Reverse Link of Cellular CDMA Networks Under Multipath Fading", *IEEE Trans on Veh. Technol.*, vol. 53, no.1, Januari 2004.
- [5]. Jin Yu, Yu-Dong Yao, Jinyun Zhang, "Reverse-Link Capacity of Power-Controlled CDMA Systems With Beamforming", *IEEE Trans on*