

PERBANDINGAN KINERJA SKEMA CHANNEL SHARING PADA JARINGAN GSM/GPRS DENGAN MODEL ANTRIAN ERLANG

Rudy Fernandez

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik Universitas Andalas

ABSTRAK

Blocking merupakan hal yang akan menurunkan layanan data dan suara pada jaringan Global System for Mobile (GSM) yang juga memberikan layanan General Packet Radio Service (GPRS) karena kedua sistem ini harus berbagi (sharing) sumber daya radio yang sama. Ini dapat diatasi dengan menerapkan teknik channel sharing yang tepat, dengan berbagai skema yang ada antara lain fixed sharing, partial sharing dan complete sharing. Pada penelitian ini dilakukan studi perbandingan kinerja untuk ketiga jenis skema channel sharing, dengan menggunakan model antrian Erlang B untuk GSM dan Erlang C untuk GPRS. Sehingga didapatkan nilai dari parameter tingkat layanan GSM dan GPRS pada channel sharing, yaitu probabilitas blocking suara (P_{Bv}), probabilitas blocking paket data (P_B) dan rata-rata delay paket (EW). Dari simulasi dengan bantuan MATLAB, diperoleh hasil untuk fixed sharing nilai P_{Bv} 13,87%, P_B $4,4637 \cdot 10^{-137} - 7,7376 \cdot 10^{-34}$, EW $2,4365 \cdot 10^{-3} - 14,078$; pada partial sharing diperoleh P_{Bv} 0,828%, P_B $2,14 \cdot 10^{-166} - 1,4161 \cdot 10^{-64}$, EW $7,0421 \cdot 10^{-3} - 7,6744 \cdot 10^{-1}$; dan pada complete sharing diperoleh P_{Bv} 0,248%, P_B $2,8859 \cdot 10^{-165} - 3,0971 \cdot 10^{-64}$, EW $9,5008 \cdot 10^{-2} - 1,6784$. Jadi, partial sharing dan complete sharing lebih tepat diterapkan pada jaringan GSM/GPRS karena memberikan rata-rata delay paket dan probabilitas blocking paket data yang kecil, serta probabilitas blocking suara yang diperoleh kurang dari 1%.

1. PENDAHULUAN

Fleksibilitas layanan GPRS pada sistem GSM mampu ditingkatkan oleh Channel sharing karena kemampuannya mengakomodasi kebutuhan QoS pada berbagai aplikasi [1].

Pada penelitian awal digunakan model Continuous Time Markov Chain (CTMC) [2] untuk menganalisa kinerja channel sharing di jaringan GSM/GPRS. Hasil simulasinya diperoleh bahwa karakteristik sumber data dan voice call load sangat berpengaruh terhadap rata-rata delay paket, dimana tingkat pengaruhnya tergantung dari alokasi kanalnya.

Sedangkan penggunaan Model antrian Erlang pada sistem GSM dengan menerapkan salah satu skema channel sharing, yaitu fixed sharing [3], menunjukkan hasil yang relatif cukup baik. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja skema channel sharing pada jaringan GSM/GPRS dengan model antrian Erlang.

2. PEMODELAN CHANNEL SHARING DI JARINGAN GSM/GPRS

2.1 Skema Channel Sharing

1) Fixed Sharing

Pada fixed sharing, sel kanal N secara statis dibagi menjadi dua bagian, satu bagian digunakan untuk panggilan suara dan bagian yang lainnya untuk trafik data.

2) Partial Sharing

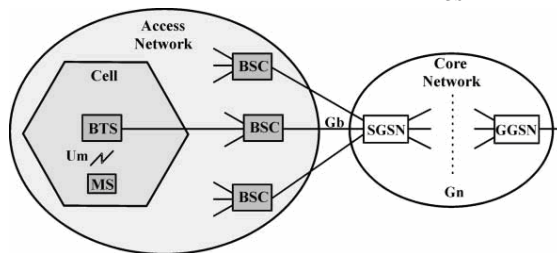
Pada partial sharing, kanal n_{data} disediakan untuk trafik data pada saat kanal sisa ($N - n_{data}$) dibagi oleh panggilan suara dan trafik data. Panggilan suara memiliki prioritas yang lebih tinggi (didahulukan) dari pada paket data. Demikian jika seluruh kanal sibuk, panggilan suara yang masuk akan menduduki terlebih dahulu kanal yang digunakan untuk trafik data, jika jumlah kanal yang digunakan oleh trafik data lebih besar dari pada n. Jika kanal tersedia, panggilan data akan mendapatkan kanal bebas berdasarkan prinsip first come first serve (FCFS).

3) Complete Sharing

Pada complete sharing, seluruh kanal yang tersedia dibagi oleh panggilan suara dan trafik data dengan cara circuit switched service diasumsikan memiliki prioritas lebih tinggi dibandingkan GPRS service. Jadi partial sharing sama dengan complete sharing dengan $n_{data} = 0$.

Layanan GPRS sangat bergantung kepada jumlah pemakaian kanal pada GSM. Hal ini dimodelkan pada pemakaian kanal bersama antara GSM dan GPRS. Tahapan pemodelan sistem terdiri dari :

- Proses kedatangan panggilan suara GSM merupakan superposisi dari dua proses Poisson, yaitu kedatangan panggilan baru dan *handover* dengan laju kedatangan rata-rata $\lambda_{GSM} + \lambda_{h,GSM}$.
- Proses kedatangan paket GPRS merupakan proses dengan laju kedatangan rata-rata λ_{GPRS} .
- Karena waktu transmisi yang pendek, maka diasumsikan tidak ada *handover* untuk paket GPRS.
- Waktu pendudukan paket GPRS bersifat acak dengan terdistribusi eksponensial negatif yaitu $1/\mu_{GPRS}$.
- Model pada arah *downlink* dari sel tunggal. Diasumsikan laju pada saat pelanggan bergerak kedalam dan keluar sel sama dan oleh karena itu terdapat jumlah pelanggan yang tetap dalam sel.
- SNR dan BER dianggap ideal oleh karena itu tidak ada retransmisi pada *layer* MAC/RLC.
- Sistem antrian yang digunakan adalah sistem antrian M/M/n/n untuk layanan suara (GSM), dimana n = jumlah *server* untuk *voice*, sedangkan untuk sistem GPRS (untuk layanan data) digunakan sistem antrian M/M/n/K, dimana n = jumlah *server* untuk data dan K = jumlah *buffer* BSC (B) ditambah dengan jumlah maksimum kanal GPRS.
- Waktu pendudukan rata-rata untuk suara (GSM), panggilan baru dan *handover* terdistribusi eksponensial yaitu $1/\mu_{GSM}$.



Gambar 2.1 Model Sistem GPRS dalam GSM

2.2. Parameter Sistem

Parameter masukan sistem dibagi menjadi dua bagian, yaitu parameter masukan konstan dan parameter masukan variabel. Parameter masukan yang bersifat variabel adalah *voice call load*, intensitas trafik GSM, intensitas trafik GPRS dan laju kedatangan paket GPRS. Parameter masukan yang bersifat konstan adalah : waktu pendudukan paket GPRS $1/\mu_{GPRS} = 0,1914 \text{ second}$, ukuran *buffer* B = 100 paket, jumlah kanal fisik N = 8 dan jumlah sel yang diamati adalah satu sel.

Panjang paket untuk GPRS berdasarkan TCP *segment* adalah 512 *byte*. Data *rate* GPRS menggunakan *coding scheme* 4 (CS-4) dengan nilai

21,4 Kbps, agar diperoleh bit *rate* yang tinggi dan waktu pendudukan paket GPRS kecil. Maka *service rate* untuk GPRS adalah $\mu = \frac{21.4 \text{ kbps}}{512 \text{ byte} \times 8} = 5.225 \text{ s}^{-1}$ atau

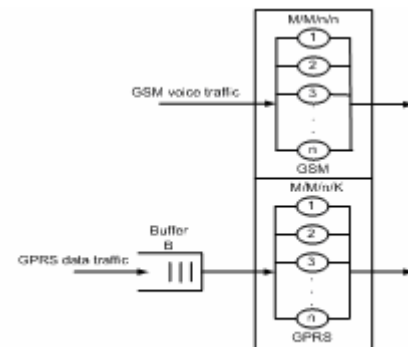
$1/\mu = 0.1914 \text{ second}$. Karena waktu transmisi yang pendek, maka diasumsikan tidak ada *handover* untuk paket GPRS. Jumlah *buffer* untuk paket GPRS sebesar 100 paket.

2.3. Model Matematis

Model matematis dibuat berdasarkan diagram transisi kondisi untuk masing-masing antrian M/M/n/n dan M/M/n/K pada ketiga skema *channel sharing*.

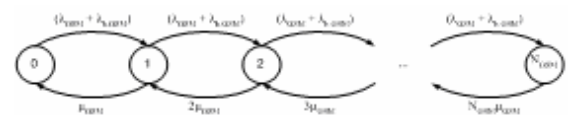
2.3.1. Fixed Sharing Scheme

Untuk metoda *fixed sharing*, total kanal pada sel dibagi dua bagian; satu bagian untuk trafik *voice* dan bagian lainnya untuk trafik data. $N = N_{GSM} + N_{GPRS}$, panggilan suara (*voice call*) dimodelkan dengan antrian M/M/n/n. Untuk panggilan data dimodelkan dengan antrian M/M/n/K.



Gambar 2.2 Model Fixed Sharing Scheme

Mengingat sistem antrian yang digunakan GSM adalah sistem antrian M/M/n/n dengan n = N_{GSM} (jumlah *server*) untuk *voice*, dimana nilainya tergantung dengan jumlah PDCH (N_{GPRS}), maka dapat diperoleh diagram transisi kondisi untuk sistem antrian tersebut. Dari gambar tersebut didapat parameter-parameter unjuk kerja untuk GSM.



Gambar 2.3 Diagram Transisi Kondisi Fixed Sharing Scheme dengan Sistem Antrian M/M/n/n

Seluruh *server* dianggap identik, sehingga kapasitas layanan akan sama untuk setiap *server*. Persamaan kesetimbangan diagram transisi diatas adalah :

$$(\lambda_{GSM} + \lambda_{h,GSM}) \cdot \pi_{GSM,n} = (n+1) \cdot (\mu_{GSM}) \cdot \pi_{GSM,n+1} \tag{2.1}$$

dengan memasukkan nilai $\rho_{GSM} = \frac{\lambda_{GSM} + \lambda_{h,GSM}}{\mu_{GSM}}$ sebagai intensitas trafik GSM,

maka akan didapat harga $\pi_{GSM,n}$:

$$\pi_{GSM,n} = \pi_{GSM,0} \cdot \frac{\rho_{GSM}^n}{n!} \quad (2.2)$$

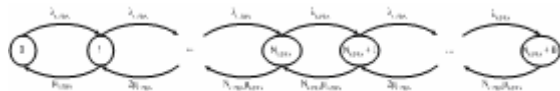
untuk $n = 1, 2, \dots, N_{GSM}$

2.3.1.1. Voice Blocking Probability (P_{Bv})

Voice blocking probability (P_{Bv}) merupakan probabilitas semua server GSM (N_{GSM}) diduduki. Pada saat semua saluran diduduki atau dalam keadaan sibuk, maka saat itu semua panggilan baru yang masuk akan ditolak (hilang/loss).

$$P_{Bv} = \pi_{GSM, N_{GSM}} = \pi_{GSM,0} \frac{\rho_{GSM}^{N_{GSM}}}{N_{GSM}!} \quad (2.3)$$

Sistem antrian yang digunakan GPRS adalah sistem antrian M/M/n/K dengan $n = N_{GPRS}$ (jumlah kanal GPRS/server) dan $K =$ jumlah buffer BSC (B) ditambah jumlah maksimum kanal GPRS (N_{GPRS}). Maka dapat diperoleh diagram transisi kondisi untuk sistem antrian tersebut. Dari gambar tersebut didapat parameter-parameter unjuk kerja untuk GPRS.



Gambar 2.4 Diagram Transisi Kondisi Fixed Sharing Scheme dengan Sistem Antrian M/M/n/K

SeIuruh server dianggap identik, sehingga kapasitas layanan akan sama untuk setiap server. Persamaan kesetimbangan diagram transisi diatas adalah :

- Untuk $n = 0, 1, 2, \dots, N_{GPRS}-1$

$$(\lambda_{GPRS}) \cdot \pi_{GPRS,n} = (n+1) \cdot (\mu_{GPRS}) \cdot \pi_{GPRS,n+1} \quad (2.4)$$

- Untuk $n = N_{GPRS}, N_{GPRS}+1, \dots, N_{GPRS}+B$

$$(\lambda_{GPRS}) \cdot \pi_{GPRS,n} = N_{GPRS} \cdot (\mu_{GPRS}) \cdot \pi_{GPRS,n+1} \quad (2.5)$$

dengan memasukkan nilai $\rho_{GPRS} = \frac{\lambda_{GPRS}}{\mu_{GPRS}}$ sebagai intensitas trafik GPRS, maka akan didapat dua harga $\pi_{GPRS,n}$:

- Untuk $n = 1, 2, \dots, N_{GPRS}-1$

$$\pi_{GPRS,n} = \pi_{GPRS,0} \cdot \frac{\rho_{GPRS}^n}{n!} \quad (2.6)$$

- Untuk $n = N_{GPRS}, N_{GPRS}+1, \dots, N_{GPRS}+B$

$$\pi_{GPRS,n} = \pi_{GPRS,0} \cdot \left(\frac{\rho_{GPRS}}{N_{GPRS}} \right)^n \cdot \frac{N_{GPRS}^{N_{GPRS}}}{N_{GPRS}!} \quad (2.7)$$

2.3.1.2. Probabilitas Blocking (P_B)

Probabilitas blocking (P_B) merupakan probabilitas semua server GPRS (N_{GPRS}) dan semua buffer BSC (B) telah diduduki. Pada saat semua saluran diduduki atau dalam keadaan sibuk, maka saat itu semua panggilan baru yang masuk akan ditolak (hilang/loss).

$$P_B = \pi_{GPRS, N_{GPRS}+B} = \pi_{GPRS,0} \cdot \left(\frac{\rho_{GPRS}}{N_{GPRS}} \right)^{N_{GPRS}+B} \cdot \frac{N_{GPRS}^{N_{GPRS}}}{N_{GPRS}!} \quad (2.8)$$

2.3.1.3. Average Packet Delay (E[W])

Merupakan rata-rata waktu/delay yang dibutuhkan suatu paket untuk menunggu di suatu antrian (buffer).

$$E[W] = \frac{E[N_q]}{\lambda_{GPRS} (1 - P_B)} \quad (2.9)$$

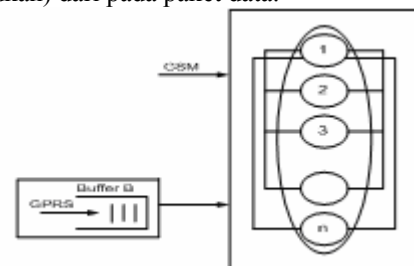
dimana harga E[N_q] :

$$E[N_q] = \sum_{n=N_{GPRS}+1}^{N_{GPRS}+B} (n - N_{GPRS}) \cdot \pi_{GPRS,n} \quad (2.10)$$

E[N_q] merupakan rata-rata jumlah paket di antrian.

2.3.2. Partial Sharing Scheme

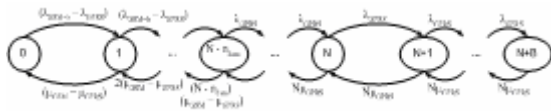
Pada partial sharing, kanal n_{data} disediakan untuk trafik data pada saat kanal sisa (N - n_{data}) dibagi oleh panggilan suara dan trafik data. Panggilan suara memiliki prioritas yang lebih tinggi (didahulukan) dari pada paket data.



Gambar 2.5 Model Partial Sharing Scheme

Untuk partial sharing scheme dimodelkan dengan sistem antrian M/M/n/K. Sistem antrian ini merupakan sistem antrian yang digunakan GSM dan GPRS secara bersama-sama dengan $n = N_{GSM,GPRS}$ (jumlah server) untuk voice dan $K =$ jumlah buffer BSC (B) ditambah jumlah kanal GSM dan GPRS (N). Untuk data, jumlah kanal adalah n_{data}, sedangkan untuk panggilan suara jumlah server adalah sisanya yaitu $N - n_{data}$.

Untuk kanal *voice* (GSM) tidak memiliki *buffer*, sehingga apabila seluruh *server* penuh, maka semua panggilan suara baru akan ditolak (*hilang/loss*), sedangkan untuk data (GPRS) jika seluruh *server* penuh, maka panggilan data yang masuk akan diantrikan di *buffer*, tetapi apabila *buffer* telah diduduki semua, maka semua paket data yang masuk akan ditolak. Maka dapat diperoleh diagram transisi kondisi untuk sistem antrian tersebut.



Gambar 2.6 Diagram Transisi Kondisi *Partial Sharing Scheme* dengan Sistem Antrian M/M/n/K

Laju kedatangan paket baru GSM (λ_{GSM}) diatas merupakan superposisi dengan laju kedatangan *handover* GSM ($\lambda_{h,GSM}$). Seluruh *server* dianggap identik, sehingga kapasitas layanan akan sama untuk setiap *server*. Persamaan kesetimbangan diagram transisi diatas adalah :

- Untuk $n = 0, 1, 2, \dots, N - (n_{data} + 1)$

$$((\lambda_{GSM} + \lambda_{h,GSM}) + (\lambda_{GPRS})) \pi_{(GSM,GPRS),n} = (n+1) (\mu_{GSM} + \mu_{GPRS}) \pi_{(GSM,GPRS),n+1} \quad (2.11)$$

- Untuk $n = N - n_{data}, \dots, N-1$

$$(\lambda_{GPRS}) \pi_{(GSM,GPRS),n} = (n+1) (\mu_{GPRS}) \pi_{(GSM,GPRS),n+1} \quad (2.12)$$

- Untuk $n = N, N+1, \dots, N+B$

$$(\lambda_{GPRS}) \pi_{(GSM,GPRS),n} = N (\mu_{GPRS}) \pi_{(GSM,GPRS),n+1} \quad (2.13)$$

dengan memasukkan nilai $\rho_{GSM} = \frac{\lambda_{GSM} + \lambda_{h,GSM}}{\mu_{GSM}}$ sebagai intensitas trafik GSM dan $\rho_{GPRS} = \frac{\lambda_{GPRS}}{\mu_{GPRS}}$ sebagai intensitas trafik GPRS, maka akan didapat harga $\pi_{(GSM,GPRS),n}$:

- Untuk $n = 0, 1, 2, \dots, N - (n_{data} + 1)$

$$\pi_{(GSM,GPRS),n} = \pi_{(GSM,GPRS),0} \frac{(\rho_{GSM} + \rho_{GPRS})^n}{n!} \quad (2.14)$$

- Untuk $n = N - n_{data}, \dots, N-1$

$$\pi_{(GSM,GPRS),n} = \pi_{(GSM,GPRS),0} \frac{\rho_{GPRS}^n (\rho_{GSM} + \rho_{GPRS})^{N-n_{data}}}{n! \rho_{GPRS}^{N-n_{data}}} \quad (2.15)$$

- Untuk $n = N, N+1, \dots, N+B$

$$\pi_{(GSM,GPRS),n} = \pi_{(GSM,GPRS),0} \left(\frac{\rho_{GPRS}}{N} \right)^n \left(\frac{N}{\rho_{GPRS}} \right)^N \frac{\rho_{GPRS}^{n_{data}} (\rho_{GSM} + \rho_{GPRS})^{N-n_{data}}}{N!} \quad (2.16)$$

2.3.2.1. Probabilitas Blocking (P_B)

Probabilitas *blocking* (P_B) merupakan probabilitas semua *server* GSM dan GPRS ($N_{GSM,GPRS}$) dan semua *buffer* BSC (B) telah diduduki. Pada saat semua saluran diduduki atau dalam keadaan sibuk, maka saat itu semua panggilan baru yang masuk akan ditolak (*hilang/loss*).

$$P_B = \pi_{(GSM,GPRS),N+B} = \pi_{(GSM,GPRS),0} \left(\frac{\rho_{GPRS}}{N} \right)^B \frac{\rho_{GPRS}^{n_{data}} (\rho_{GSM} + \rho_{GPRS})^{N-n_{data}}}{N!} \quad (2.17)$$

2.3.2.2. Average Packet Delay ($E[W]$)

Merupakan rata-rata waktu/*delay* yang dibutuhkan suatu paket untuk menunggu di suatu antrian (*buffer*).

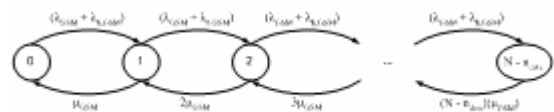
$$E[W] = \frac{E[N_q]}{\lambda_{GPRS} (1 - P_B)} \quad (2.18)$$

dimana harga $E[N_q]$:

$$E[N_q] = \sum_{n=N+1}^{N+B} (n - N) \pi_{(GSM,GPRS),n} \quad (2.19)$$

2.3.2.3 Voice Blocking Probability (P_{Bv})

Voice blocking probability (P_{Bv}) merupakan probabilitas semua *server* GSM ($N - n_{data}$) diduduki. Pada saat semua saluran diduduki atau dalam keadaan sibuk, maka saat itu semua panggilan baru untuk panggilan suara yang masuk akan ditolak (*hilang/loss*). Untuk mencari *voice blocking probability* ini diperlukan sistem antrian M/M/n/n karena terjadi untuk panggilan suara (GSM).



Gambar 2.7 Diagram Transisi Kondisi *Partial Sharing Scheme* dengan Antrian M/M/n/n untuk Mencari P_{Bv}

Persamaan kesetimbangan diagram transisi *fixed sharing* untuk sistem antrian M/M/n/n, yaitu persamaan 2.1, dengan memasukkan nilai

$$\rho_{GSM} = \frac{\lambda_{GSM} + \lambda_{h,GSM}}{\mu_{GSM}}$$

sebagai intensitas trafik GSM, maka akan didapat harga $\pi_{GSM,n}$:

$$\pi_{GSM,n} = \pi_{GSM,0} \frac{\rho_{GSM}^n}{n!} \quad \text{utk } n = 1, 2, \dots, N - n_{data} \quad (2.20)$$

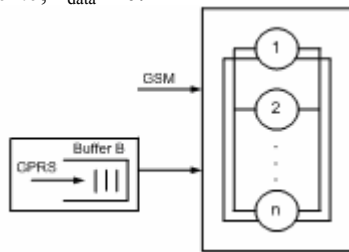
sehingga di dapat nilai P_{Bv} :

$$P_{Bv} = \pi_{GSM,(N-n_{data})} = \frac{\rho_{GSM}^{(N-n_{data})}}{\sum_{n=0}^{N-n_{data}} \frac{\rho_{GSM}^n}{n!}} \quad (2.21)$$

2.3.3. Complete Sharing Scheme

Pada *complete sharing scheme*, seluruh kanal yang tersedia dibagi oleh panggilan suara dan trafik data dengan cara *circuit switched service* diasumsikan memiliki prioritas lebih tinggi

dibandingkan GPRS service. Jadi pada complete sharing scheme, $n_{data} = 0$.



Gambar 2.8 Model Complete Sharing Scheme

Untuk complete sharing scheme, dimodelkan dengan sistem antrian M/M/n/K, seperti pada partial sharing scheme. Sistem antrian ini merupakan sistem antrian yang digunakan GSM dan GPRS dengan $n = N_{GSM,GPRS}$ (jumlah server) untuk voice dan data yang digunakan secara bersama-sama dan $K =$ jumlah buffer BSC (B) ditambah dengan jumlah kanal GSM.GPRS (N).

Untuk kanal voice (GSM) tidak memiliki buffer, sehingga apabila seluruh server penuh, maka semua panggilan suara baru akan ditolak (hilang/loss), sedangkan untuk data (GPRS) jika seluruh server penuh, maka panggilan data yang masuk akan diantrikan. dan apabila buffer telah diduduki semua, maka seluruh paket data yang masuk akan ditolak. Maka dapat diperoleh diagram transisi kondisi untuk sistem antrian tersebut.



Gambar 2.9 Diagram Transisi Kondisi Complete Sharing Scheme dengan Sistem Antrian M/M/n/K

Laju kedatangan paket baru GSM (λ_{GSM}) diatas merupakan superposisi dengan laju kedatangan handover GSM ($\lambda_{h,GSM}$). Seluruh server dianggap identik, sehingga kapasitas layanan akan sama untuk setiap server. Persamaan kesetimbangan diagram transisi diatas adalah :

- Untuk $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

$$((\lambda_{GSM} + \lambda_{h,GSM}) + \lambda_{GPRS})\pi_{(GSM,GPRS),n} = (n+1)(\mu_{GSM} + \mu_{GPRS})\pi_{(GSM,GPRS),n+1}$$

(2.22)

- Untuk $n = N, N+1, \dots, N+B$

$$(\lambda_{GPRS})\pi_{(GSM,GPRS),n} = N(\mu_{GPRS})\pi_{(GSM,GPRS),n+1}$$

(2.23)

dengan memasukkan nilai $\rho_{GSM} = \frac{\lambda_{GSM} + \lambda_{h,GSM}}{\mu_{GSM}}$ sebagai intensitas trafik GSM dan $\rho_{GPRS} = \frac{\lambda_{GPRS}}{\mu_{GPRS}}$ sebagai intensitas trafik GPRS, maka akan didapat harga $\pi_{(GSM,GPRS),n}$:

- Untuk $n = 0, 1, 2, \dots, N-1$

$$\pi_{(GSM,GPRS),n} = \pi_{(GSM,GPRS),0} \cdot \frac{(\rho_{GSM} + \rho_{GPRS})^n}{n!}$$

(2.24)

- Untuk $n = N, N+1, \dots, N+B$

$$\pi_{(GSM,GPRS),n} = \pi_{(GSM,GPRS),0} \left(\frac{\rho_{GPRS}}{N}\right)^n \left(\frac{N}{\rho_{GPRS}}\right)^N \cdot \frac{(\rho_{GSM} + \rho_{GPRS})^N}{N!}$$

(2.25)

2.3.3.1. Probabilitas Blocking (P_B)

Probabilitas blocking (P_B) merupakan probabilitas semua server GSM dan GPRS (N_{GSM,GPRS}) dan semua buffer BSC (B) telah diduduki. Pada saat semua saluran diduduki atau dalam keadaan sibuk, maka saat itu semua panggilan baru yang masuk akan ditolak (hilang/loss).

$$P_B = \pi_{(GSM,GPRS),N+B} = \pi_{(GSM,GPRS),0} \left(\frac{\rho_{GPRS}}{N}\right)^B \cdot \frac{(\rho_{GSM} + \rho_{GPRS})^N}{N!}$$

(2.26)

2.3.3.2. Average Packet Delay (E[W])

Merupakan rata-rata waktu/delay yang dibutuhkan suatu paket untuk menunggu di suatu antrian (buffer).

$$E[W] = \frac{E[N_q]}{\lambda_{GPRS}(1 - P_B)}$$

(2.27)

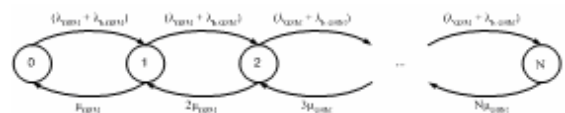
dimana harga E[N_q] :

$$E[N_q] = \sum_{n=N+1}^{N+B} (n - N) \cdot \pi_{(GSM,GPRS),n}$$

(2.28)

2.3.3.3 Voice Blocking Probability (P_{Bv})

Voice blocking probability (P_{Bv}) merupakan probabilitas semua server GSM (N_{GSM}) diduduki. Pada saat semua saluran diduduki atau dalam keadaan sibuk, maka saat itu semua panggilan baru yang masuk akan ditolak (hilang /loss). Probabilitas blocking disini terjadi untuk panggilan suara (voice). Untuk mencari probabilitas blocking ini diperlukan sistem antrian M/M/n/n karena terjadi untuk panggilan suara (GSM), maka untuk persamaan voice blocking probability sama dengan persamaan 2.5, yaitu :



Gambar 2.10 Diagram Transisi Kondisi Complete Sharing Scheme dengan Antrian M/M/n/n untuk Mencari P_{Bv}

Untuk persamaan kesetimbangan diagram transisi diatas sama dengan persamaan complete partitioning untuk sistem antrian M/M/n/n, yaitu pada persamaan 2.1, dengan memasukkan nilai

$$\rho_{GSM} = \frac{\lambda_{GSM} + \lambda_{h,GSM}}{\mu_{GSM}}$$

maka akan didapat harga $\pi_{GSM,n}$:

$$\pi_{GSM,n} = \pi_{GSM,0} \cdot \frac{\rho_{GSM}^n}{n!} \quad \text{utk } n = 1, 2, \dots, N \quad (2.29)$$

dimana harga $\pi_{GSM,0}$:

$$\sum_{n=0}^N \pi_{GSM,n} = \pi_{GSM,0} \left(1 + \rho_{GSM} + \frac{\rho_{GSM}^2}{2!} + \dots + \frac{\rho_{GSM}^N}{N!} \right) = 1 \quad (2.30)$$

$$\pi_{GSM,0} = \left(\sum_{n=0}^N \frac{\rho_{GSM}^n}{n!} \right)^{-1} \quad (2.31)$$

maka akan di dapat nilai P_{Bv} :

$$P_{Bv} = \pi_{GSM,N} = \frac{\rho_{GSM}^N / N!}{\sum_{n=0}^N \frac{\rho_{GSM}^n}{n!}} \quad (2.32)$$

trafik, pengaruhnya terhadap rata-rata *delay* paket menjadi semakin signifikan. Pada tiap-tiap nilai *voice call load* yang diberikan, kenaikan rata-rata *delay* paketnya cenderung sama. Hal ini disebabkan, penggunaan kanal yang terpisah antara trafik suara dan data.

Tabel 3.1. Pengaruh *voice call load* terhadap probabilitas *blocking* paket data (P_B) pada *fixed sharing*.

Voice call load				
20%	40%	60%	80%	100%
4.4637e-137	4.4637e-137	4.4637e-137	4.4637e-137	4.4637e-137
7.4764e-106	7.4764e-106	7.4764e-106	7.4764e-106	7.4764e-106
1.2706e-087	1.2706e-087	1.2706e-087	1.2706e-087	1.2706e-087
1.0337e-074	1.0337e-074	1.0337e-074	1.0337e-074	1.0337e-074
1.0223e-064	1.0223e-064	1.0223e-064	1.0223e-064	1.0223e-064
1.4473e-056	1.4473e-056	1.4473e-056	1.4473e-056	1.4473e-056
1.0932e-049	1.0932e-049	1.0932e-049	1.0932e-049	1.0932e-049
9.6523e-044	9.6523e-044	9.6523e-044	9.6523e-044	9.6523e-044
1.652e-038	1.652e-038	1.652e-038	1.652e-038	1.652e-038
7.7376e-034	7.7376e-034	7.7376e-034	7.7376e-034	7.7376e-034

Dari tabel 3.1 terlihat bahwa kenaikan probabilitas *blocking* paket data pada tiap-tiap nilai *voice call blocking* adalah sama. Jadi, *voice call blocking* tidak mempengaruhi rata-rata *delay* paket maupun probabilitas *blocking* paket data, karena suara dan data menduduki kanal yang berbeda secara terpisah.

Tabel 3.2. Pengaruh *voice call load* terhadap probabilitas *blocking* suara pada *fixed sharing*

Voice call load	P_{Bv}
20%	0.056469
40%	0.22814
60%	0.38221
80%	0.49411
100%	0.57464

Pada tabel 3.2. dapat dilihat bahwa *voice call load* sangat berpengaruh terhadap probabilitas *blocking* suara. Bertambahnya *voice call load* menyebabkan P_{Bv} semakin besar, dimana pada saat *voice call load* mencapai 100%, nilai P_{Bv} yang diperoleh sebesar 57,464%.

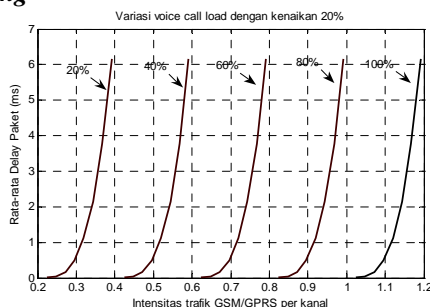
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengaruh *voice call load*

Pada simulasi ini, parameter konstan yang digunakan adalah total kanal $N = 8$, jumlah *buffer* $B = 100$ dan *service rate* GPRS $\mu_{GPRS} = 5,225 \text{ s}^{-1}$. Jumlah kanal GPRS pada *fixed sharing* $N_{GPRS} = 4$. Parameter variabel yang digunakan adalah intensitas trafik GSM, intensitas trafik GPRS, laju kedatangan paket GPRS dan *voice call load* yang divariasikan mulai dari 20% hingga 100%.

Simulasi ini untuk melihat pengaruh *voice call load* terhadap rata-rata *delay* paket. Intensitas trafik GPRS diperoleh dari pembagian laju kedatangan paket GPRS terhadap *service rate* GPRS, sedangkan intensitas trafik GSM diperoleh dari perkalian nilai *voice call load* dengan total kanal yang digunakan. Intensitas trafik GSM/GPRS per kanal yang ditampilkan adalah penjumlahan intensitas trafik GSM dan intensitas trafik GPRS.

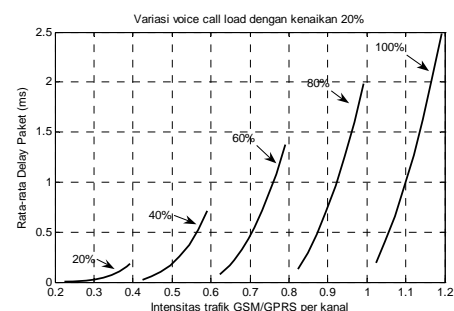
3.1.1. Pengaruh *voice call load* pada *fixed sharing*



Gambar 3.1. Pengaruh *voice call load* terhadap rata-rata *delay* paket pada *fixed sharing*

Dari gambar 3.1 terlihat bahwa pada tiap variasi *voice call load*, seiring dengan kenaikan intensitas

3.1.2. Pengaruh *voice call load* pada *partial sharing*



Gambar 3.2. Pengaruh *voice call load* terhadap rata-rata *delay* paket pada *partial sharing*

Variasi nilai *voice call load* sangat berpengaruh rata-rata *delay* paket pada *partial sharing*, seperti terlihat pada gambar 3.2. Saat nilai *voice call load* 20%, kenaikannya tidak terlalu besar, tapi mulai dari 40%, kenaikannya sangat signifikan.

Tabel 3.3. Pengaruh *voice call load* terhadap probabilitas *blocking* paket data (P_B) pada *partial sharing*

Voice call load				
20%	40%	60%	80%	100%
3.5753e-167	6.4295e-166	2.1829e-165	4.0306e-165	5.7731e-165
1.524e-136	1.9892e-135	6.0701e-135	1.0759e-134	1.4987e-134
1.4637e-118	1.4525e-117	4.0279e-117	6.8452e-117	9.3353e-117
9.0778e-106	7.109e-105	1.8086e-104	2.9574e-104	3.9542e-104
7.9391e-096	5.0582e-095	1.1905e-094	1.8789e-094	2.4663e-094
1.0815e-087	5.7495e-087	1.2612e-086	1.9265e-086	2.4856e-086
8.2794e-081	3.7514e-080	7.7191e-080	1.1441e-079	1.4526e-079
7.6703e-075	3.0159e-074	5.8548e-074	8.4398e-074	1.0555e-073
1.4115e-069	4.8906e-069	9.0037e-069	1.2649e-068	1.5597e-068
7.2405e-065	2.2402e-064	3.9291e-064	5.3892e-064	6.5578e-064

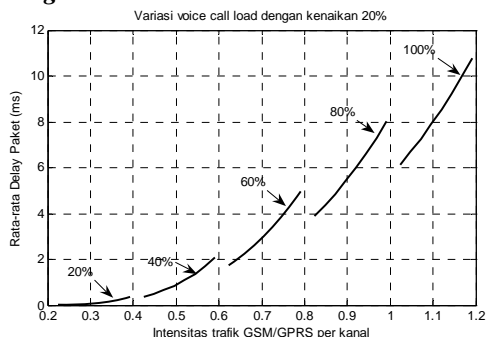
Sama seperti pada rata-rata *delay* paketnya, dari tabel 3.3 terlihat bahwa probabilitas *blocking* paket data (P_B) juga meningkat seiring dengan bertambah besarnya nilai *voice call load* yang diberikan.

Pada tabel 3.4. dapat dilihat bahwa *voice call load* sangat berpengaruh terhadap probabilitas *blocking* suara. Bertambahnya *voice call load* menyebabkan P_{Bv} semakin besar, dimana pada saat *voice call load* mencapai 100%, nilai P_{Bv} yang diperoleh sebesar 30,816%. Nilai P_{Bv} yang diperoleh ini lebih kecil dibandingkan dengan P_{Bv} pada *fixed sharing*.

Tabel 3.4. Pengaruh *voice call load* terhadap probabilitas *blocking* suara pada *complete sharing*

Voice call load	P_{Bv}
20%	0.0010756
40%	0.028265
60%	0.10811
80%	0.21095
100%	0.30816

3.1.3. Pengaruh *voice call load* pada *complete sharing*



Gambar 3.3. Pengaruh *voice call load* terhadap rata-rata *delay* paket pada *complete sharing*

Dari gambar 3.3 terlihat bahwa seiring dengan bertambahnya nilai *voice call load* yang diberikan, rata-rata *delay* juga bertambah, dimana

kenaikan rata-rata *delay*nya sangat signifikan dibandingkan pada *partial sharing*.

Tabel 3.5. Pengaruh *voice call load* terhadap probabilitas *blocking* paket data (P_B) pada *complete sharing*

Voice call load				
20%	40%	60%	80%	100%
3.3452e-166	1.1231e-164	5.3029e-164	1.1803e-163	1.866e-163
7.8888e-136	1.8288e-134	7.3913e-134	1.3948e-133	2.449e-133
5.3364e-118	9.3405e-117	3.451e-116	6.8767e-116	1.0277e-115
2.8002e-105	3.3863e-104	1.1928e-103	2.2633e-103	3.298e-103
2.116e-095	2.1293e-094	6.4366e-094	1.1675e-093	1.6617e-093
2.5793e-087	2.0984e-086	5.8146e-086	1.0118e-085	1.4086e-085
1.808e-080	1.2181e-079	3.1177e-079	5.2206e-079	7.1198e-079
1.5586e-074	8.8738e-074	2.1124e-073	3.4133e-073	4.5661e-073
2.7004e-069	1.3221e-068	2.9447e-068	4.6033e-068	6.0477e-068
1.3156e-064	5.6229e-064	1.1782e-063	1.7863e-063	2.3071e-063

Dari tabel 3.5 terlihat bahwa probabilitas *blocking* paket data (P_B) juga meningkat seiring dengan bertambah besarnya nilai *voice call load* yang diberikan.

Tabel 3.6. Pengaruh *voice call load* terhadap probabilitas *blocking* suara pada *complete sharing*

Voice call load	P_{Bv}
20%	0.00021507
40%	0.01118
60%	0.060917
80%	0.14439
100%	0.23557

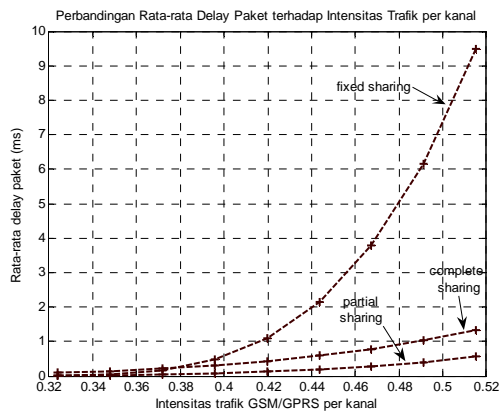
Pada tabel 3.6. dapat dilihat bahwa *voice call load* sangat berpengaruh terhadap probabilitas *blocking* suara. Bertambahnya *voice call load* menyebabkan P_{Bv} semakin besar, dimana pada saat *voice call load* mencapai 100%, nilai P_{Bv} yang diperoleh sebesar 23,557%. Nilai P_{Bv} yang diperoleh ini lebih kecil dibandingkan dengan P_{Bv} pada *fixed sharing* dan *partial sharing*.

Hasil simulasi pengaruh *voice call load* pada ketiga skema *channel sharing* tersebut, diperoleh bahwa *voice call load* sangat berpengaruh pada *partial sharing* dan *complete sharing*. Ini dikarenakan pada kedua *channel sharing* ini terjadi penggunaan bersama kanal antara suara dan data, dimana prioritas pendudukan kanal diberikan untuk trafik suara. Akibatnya, seiring dengan bertambahnya nilai *voice call load*, nilai P_B , rata-rata *delay* paket dan P_{Bv} juga bertambah. Pada ketiga skema tersebut, nilai P_{Bv} melebihi 1% saat *voice call load* mencapai 40% atau lebih. Pada banyak penelitian dan pada profil trafik yang disediakan oleh operator jaringan, nilai *voice call load* yang banyak digunakan adalah 30% dan 40%.

3.2. Perbandingan rata-rata *delay* paket terhadap intensitas trafik GSM/GPRS per kanal

Pada simulasi ini, parameter konstan yang digunakan adalah total kanal $N = 8$, jumlah *buffer* $B = 100$, *service rate* GPRS $\mu_{GPRS} = 5,225 \text{ s}^{-1}$ dan *voice call load* 30%. Jumlah kanal GPRS pada *fixed sharing* $N_{GPRS} = 4$. Pada *complete sharing* dan *partial sharing*, jumlah kanal yang disediakan untuk data GPRS masing-masing adalah $n_{data} = 0$ dan $n_{data} = 1$. Untuk mendapatkan grafik rata-rata *delay* paket terhadap intensitas trafik GSM/GPRS per kanal, parameter variabel yang digunakan adalah intensitas trafik GSM, intensitas trafik GPRS dan laju kedatangan paket GPRS.

Simulasi dilakukan untuk melihat perbandingan rata-rata *delay*, probabilitas *blocking* suara dan probabilitas *blocking* data pada ketiga skema *channel sharing*. Hasil simulasi untuk perbandingan rata-rata *delay* paket dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut :



Gambar 3.4. Perbandingan rata-rata *delay* paket terhadap intensitas trafik GSM/GPRS per kanal

Dari gambar 3.4 terlihat bahwa pada saat intensitas trafik GSM/GPRS per kanal sebesar 0 hingga 0,37177, rata-rata *delay* paket untuk *fixed sharing* lebih kecil daripada *complete sharing* dan *partial sharing*. Selanjutnya, dari intensitas trafik GSM/GPRS sebesar 0,39569 dan seterusnya, rata-rata *delay* paket pada *fixed sharing* terus meningkat melebihi nilai rata-rata *delay* paket pada *partial sharing* dan *complete sharing*.

Dapat dikatakan bahwa *fixed sharing* memiliki kinerja yang lebih baik pada kondisi intensitas trafik yang rendah (dari grafik, saat intensitas trafiknya kurang dari 0,39569) karena memberikan rata-rata *delay* paket yang kecil. Hal ini disebabkan penggunaan kanal untuk data GPRS tidak fleksibel, sehingga pada saat trafik data tinggi dan membutuhkan kanal lebih banyak, *fixed sharing* hanya mampu menyediakan jumlah kanal maksimal setengah dari jumlah total kanal yang tersedia. Akibatnya, makin banyak paket data yang datang saat semua kanal untuk GPRS penuh, maka makin banyak juga paket data yang menunggu di *buffer*, sehingga *delay* yang terjadi makin tinggi. Pada kondisi ini, jika *buffer* akhirnya juga penuh, maka paket data yang datang selanjutnya akan ditolak.

Pada *partial sharing* dan *complete sharing*, kenaikan grafik intensitas trafik GSM/GPRS per kanal tidak signifikan seperti pada *fixed sharing*, karena penggunaan kanal untuk data GPRS lebih fleksibel.

Untuk *complete sharing*, total kanal yang tersedia digunakan bersama antara trafik suara dan paket data. Walaupun prioritas pendudukan kanal diberikan untuk trafik suara, karena waktu pendudukan paket data yang digunakan pada simulasi ini sangat kecil yaitu 0,1914 *second*, maka paket data yang datang dengan cepat dilayani dan antrian yang terjadi tidak banyak. Hasilnya, seperti terlihat pada grafik, rata-rata *delay* paket untuk *complete sharing* jauh lebih kecil dibandingkan dengan *fixed sharing*.

Pada *partial sharing*, selain menggunakan kanal secara bersama antara paket data dan suara, juga disediakan sebanyak n_{data} kanal yang hanya boleh diduduki oleh paket data. Pada beberapa penelitian, n_{data} yang digunakan pada *partial sharing* berjumlah satu kanal, dan pada simulasi ini juga digunakan $n_{data} = 1$. Hasil simulasi pada gambar 3.4 menunjukkan bahwa rata-rata *delay* paket pada *partial sharing* lebih kecil daripada *fixed sharing* dan *complete sharing*. Ini dikarenakan pada *partial sharing* terdapat lebih banyak kanal yang dapat diduduki oleh paket data. Pertama, kanal $n_{data} = 1$ yang khusus melayani paket data. Kedua, sisa kanal $N - n_{data}$ yang digunakan bersama antara suara dan paket data (seperti pada *complete sharing*), walaupun prioritas diberikan pada trafik suara, karena waktu pendudukan paket data yang digunakan pada simulasi ini sangat kecil yaitu 0,1914 *second*, maka paket data yang datang dengan cepat dilayani dan antrian yang terjadi tidak banyak. Oleh sebab itu, dari ketiga skema *channel sharing*, *partial sharing* memberikan rata-rata *delay* paket yang paling kecil nilainya.

3.3. Probabilitas *blocking* paket data

Dari simulasi diperoleh nilai rata-rata *delay* paket dan probabilitas *blocking* data yang diambil dari *workspace* Matlab dan ditampilkan dalam tabel 3.7

Tabel 3.7 Perbandingan *Channel Sharing Scheme*

Intensitas Trafik GSM/GPRS per kanal	Complete Sharing		Partial Sharing		Fixed Sharing	
	E[W] (ms)	P _B	E[W] (ms)	P _B	E[W] (ms)	P _B
0,32392	9,5008E-02	2,8859E-165	7,0421E-03	2,14E-166	2,4365E-03	4,4637E-137
0,34785	1,4590E-01	5,3460E-135	2,0170E-02	7,3905E-136	3,5690E-02	7,4764E-108
0,37177	2,1605E-01	3,0587E-117	4,1992E-02	5,9450E-118	1,6633E-01	1,2706E-87
0,39569	3,0997E-01	1,2987E-104	7,5635E-02	3,1688E-103	4,8686E-01	1,0337E-74
0,41962	4,3264E-01	8,4337E-95	1,2475E-01	2,4318E-95	1,1081	1,0223E-64
0,44354	5,8941E-01	9,0055E-87	1,9351E-01	2,9566E-87	2,1573	1,4475E-56
0,46746	7,8605E-01	5,6183E-80	2,8663E-01	2,0487E-80	3,7814	1,0932E-49
0,49139	1,0287E+00	4,3683E-74	4,0934E-01	1,7383E-74	6,153	9,6523E-44
0,51531	1,3238E+00	6,9028E-69	5,6748E-01	2,9590E-69	9,4939	1,6520E-38
0,53923	1,6784E+00	3,0971E-64	7,6744E-01	1,4161E-64	14,078	7,7376E-34

Dari hasil simulasi yang ditampilkan dalam tabel 3.7, terlihat bahwa dengan semakin bertambahnya intensitas trafik GSM/GPRS per kanal, probabilitas *blocking* paket data (P_B) juga bertambah besar.

Diantara ketiga skema *channel sharing*, *fixed sharing* yang memiliki nilai P_B paling besar dan *partial sharing* nilai P_B -nya paling kecil. Namun jika dilihat rentang nilai P_B ini, sangat kecil sekali yaitu 10^{-166} sampai 10^{-34} , sehingga jika dibuat persentasenya pun kecil sekali. Hal ini terjadi karena waktu pendudukan paket data yang digunakan pada simulasi ini sangat kecil yaitu 0,1914 *second*, maka paket data yang datang dengan cepat dilayani dan antrian yang terjadi tidak banyak. Kemungkinan *buffer* untuk terisi penuh jarang sekali, sehingga sangat sedikit paket data yang ditolak (*blocking*).

3.4. Probabilitas *blocking* suara

Dari simulasi diperoleh nilai probabilitas *blocking* suara yang diambil dari *workspace* Matlab, seperti terlihat pada tabel 3.8 berikut :

Tabel 3.8 *Voice Blocking Probability* untuk Metoda *Channel Sharing* yang berbeda

<i>Channel Sharing</i>	P_{Bv}
<i>Complete Sharing Scheme</i>	0,0024788
<i>Partial Sharing Scheme</i>	0,0082831
<i>Fixed Sharing Scheme</i>	0,1387

Hasil dari tabel 3.8 terlihat bahwa *voice blocking probability* untuk *complete sharing* adalah 0,248%, untuk *partial sharing* adalah 0,828%, dan untuk *fixed sharing* adalah 13,87%. Maka dapat terlihat bahwa untuk *fixed sharing* mempunyai probabilitas *blocking* suara yang tinggi, sedangkan untuk *complete sharing* dan *partial sharing* mempunyai probabilitas *blocking* suara yang kecil (kurang dari 1 %). Hal ini terjadi karena pada *partial sharing* dan *complete sharing*, saat kanal digunakan secara bersama antara suara dan paket data, suara memiliki prioritas lebih tinggi untuk menduduki kanal yang tersedia tersebut. Hasilnya, probabilitas *blocking* suara pada *complete sharing* nilainya paling kecil. Sedangkan pada *fixed sharing*, karena maksimal kanal yang bisa diduduki adalah setengah dari total kanal menyebabkan cukup banyak panggilan suara yang ditolak (*blocking*).

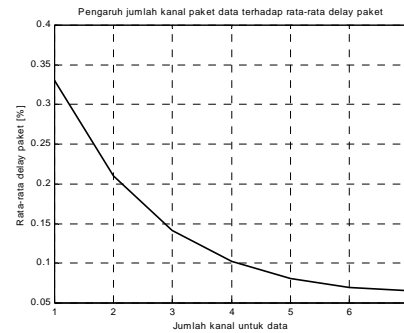
3.5. Pengaruh jumlah kanal data pada *partial sharing*

Pada simulasi ini, parameter konstan yang digunakan adalah total kanal $N = 8$, jumlah *buffer* $B = 100$, *service rate* GPRS $\mu_{GPRS} = 5,225 \text{ s}^{-1}$ dan *voice call load* 30%. Parameter variabel yang digunakan adalah jumlah kanal data n_{data} , yang divariasikan dari 1 hingga 7.

Pada *partial sharing*, disediakan sebanyak n_{data} kanal yang khusus untuk melayani paket data GPRS. Jumlah n_{data} adalah maksimal 7 buah kanal dari total kanal sebanyak 8 kanal. Berarti, sisanya

sebanyak 1 kanal yang akan digunakan secara bergantian oleh suara GSM dan paket data GPRS. Simulasi ini bertujuan untuk melihat bagaimana pengaruh dari jumlah kanal yang disediakan khusus untuk paket data, terhadap probabilitas *blocking* suara dan rata-rata *delay* paket.

Hasil simulasinya dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Pengaruh jumlah kanal data pada *partial sharing*

Dari gambar 3.5 terlihat bahwa semakin banyak kanal yang digunakan khusus untuk paket data menyebabkan rata-rata *delay* paket semakin kecil nilainya. Tetapi ini juga berpengaruh terhadap probabilitas *blocking* suara, seperti ditampilkan pada tabel 3.9 berikut :

Tabel 3.9. Pengaruh n_{data} terhadap P_{Bv}

n_{data}	P_{Bv}
1	0.0083
2	0.0244
3	0.0624
4	0.1387
5	0.2684
6	0.4586
7	0.7089

Walaupun dengan penambahan n_{data} bisa mengurangi rata-rata *delay* paket, namun ini menyebabkan bertambah besarnya nilai P_{Bv} . Dari tabel 4.9 terlihat bahwa hanya pada saat $n_{data} = 1$ diperoleh nilai P_{Bv} kurang dari 1%.

4. KESIMPULAN

1. Dari ketiga *channel sharing*, *partial sharing* memberikan rata-rata *delay* paket yang paling kecil nilainya.
2. Waktu pendudukan paket data GPRS ($1/\mu_{GPRS}$) sangat mempengaruhi rata-rata *delay* paket dan probabilitas *blocking* paket data GPRS.
3. Probabilitas *blocking* suara untuk *complete sharing* adalah 0,248%, 0,828% untuk *partial sharing* dan 13,87% untuk *fixed sharing*. Probabilitas *blocking* suara pada *complete sharing* dan *partial sharing* lebih baik daripada *fixed sharing* karena nilainya kurang dari 1%.

4. *Voice call load* sangat berpengaruh pada *partial sharing* dan *complete sharing*, karena terjadi penggunaan bergantian kanal untuk data dan suara. Agar nilai P_{Bv} tetap dibawah 1%, maka nilai *voice call load* yang digunakan adalah kurang dari 40%.
 5. Untuk metoda *partial sharing*, semakin meningkatnya jumlah kanal yang digunakan untuk trafik data akan menyebabkan rata-rata *delay* paket semakin berkurang tetapi probabilitas *blocking* suara semakin bertambah, hanya pada saat $n_{data} = 1$ diperoleh nilai P_{Bv} kurang dari 1%.
 6. *Partial sharing* dan *complete sharing* lebih tepat diterapkan pada jaringan GSM/GPRS karena memberikan rata-rata *delay* paket dan probabilitas *blocking* paket data yang kecil, serta probabilitas *blocking* suara yang diperoleh kurang dari 1%.
- [12] C. Heng Foh, B. Wydrowski, M. Zukerman, B. Meini, "Modeling and Performance Evaluation of GPRS", IEEE Journal 2003.
- [13] Siemens, "Base Station Subsystem, GPRS/EGPRS Description", PT. Telkomsel.

DAFTAR KEPUSTAKAAN

- [1] M. Ermel, K. Begain, T. Muller, J. Schuler, M. Schweigel, "Analytical Comparison of Different GPRS Introduction Strategies", 2000.
- [2] Xiayon Fang dan Dipak Ghosal, "Analyzing Packet Delay Across A GSM/GPRS Network", IEEE Journal 2003.
- [3] Fernandez, Rudy, "A Studi Kinerja Skema Fixed Sharing pada Jaringan GSM/GPRS dengan Model Antrian Erlang", Jurnal Teknik No.27 Vol. 1 Thn XIV April 2007.
- [4] C. Lindemann dan A. Thummler, "Performance Analysis of General Packet Radio Service", 2001.
- [5] John Scourias, "Overview of the Global System for Mobile Communications", www.shoshin.uwaterloo.ca
- [6] Karam Jinane, Peignot Estelle, Abou Alin Mayssam, "GPRS (General Packet Radio Service) – EDGE (Enhanced Data for GSM Evolution)", GPRS/EDGE presentation – DESS R2M, 2002.
- [7] C. Bettstetter, H.J. Vogel, J. Eberspacher, "GSM Phase 2+, General Packet Radio Service GPRS : Architecture, Protocols, and Air Interface", IEEE Communications Surveys, 1999.
- [8] David C. Reeve, "A New Blueprint for Network QoS", Thesis, 2003.
- [9] L Kleinrock, "Queueing System Theory : Volume I", Wiley-Interscience Pub. 1975.
- [10] H. Araujo, J. Costa, Luis M. Correia, "Analysis of a Traffic Model for GSM/GPRS", IST Lisbon Portugal, 1999.
- [11] M.Ajmone Marsan, P. Laface, M. Meo, "Packet Delay Analysis in GPRS Systems", IEEE Journal 2003.

