

# POLA TRANSMISI PAKET DATA SEDERHANA UNTUK MEMINIMALISASI DAYA PANCAR PADA JARINGAN WIRELESS MELALUI KANAL *FADING NON-SELECTIVE*

Gusti Ngurah Suardika Jaya<sup>1</sup>, R.Rumani M<sup>2</sup>, Ida Wahidah<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Gedung N-203, Departemen Elektro dan Komunikasi,  
Fakultas Teknik - Universitas Telkom

Jln. Telekomunikasi No. 1, Dayeuhkolot, Bandung 40257

<sup>1</sup>jemek@plasa.com, <sup>2</sup>rrm@ittelkom.ac.id, <sup>3</sup>idw@ittelkom.ac.id

## Abstrak

Dalam penelitian ini, disimulasikan perbandingan dua metoda pola transmisi paket data pada kanal *fading non selective* pada jaringan *wireless* yang bertujuan untuk mendapatkan daya transmisi paket yang minimal dengan batasan *delay* dan *packet loss*. Pada *transmitter* terdapat sebuah *server* yang mengatur jumlah paket yang diambil dari *buffer transmitter* dan jumlah paket yang dikirim dengan metoda pola transmisi dan mengirimkannya dengan daya tertentu dengan mengacu pada batasan *delay* dan batasan *packet loss*. Dalam kedua metoda digunakan sebuah aturan daya transmisi minimal yang optimal dengan batasan *delay* dan *packet loss* yang disesuaikan untuk setiap *state* kanal. Pada aturan Optimal dipakai tiga *threshold*  $t_1, t_2, t_3$  sebagai parameter kontrol untuk jumlah paket yang diambil dari *buffer* dan ditransmisikan ke penerima. Sedangkan aturan *Suboptimal* berdasarkan pada tiga parameter kontrol, yaitu *threshold* kondisi kanal  $h_a$ , *threshold* laju transmisi  $r_a$  dan *threshold* ukuran *buffer* transmisi. Dari simulasi didapatkan bahwa daya minimal rata-rata untuk transmisi paket yang optimal dengan aturan *Suboptimal* mendekati aturan *Optimal* dan memenuhi batasan *delay* dan *packet loss* yang diijinkan.

**Kata kunci:** *fading nonselective, buffer, delay, packet loss.*

## 1. Pendahuluan

Salah satu perhatian utama dalam mendukung aplikasi data pada komunikasi *wireless* adalah penghematan penggunaan sumber daya yang salah satunya adalah penggunaan daya transmisi. Terdapat dua metoda untuk meminimalisasi adaya transmisi yang memperhatikan batasan *delay* dan *packet loss*, yaitu aturan Optimal dan Suboptimal. Aturan Optimal mempunyai tiga *threshold*  $t_1, t_2, t_3$  untuk pengambilan paket dari *buffer* dan laju transmisi paket. Sedangkan aturan Suboptimal bergantung pada tiga parameter yaitu ambang batas kanal transmisi ( $\gamma_a$ ), ambang batas laju transmisi ( $r_a$ ) dan ukuran *buffer* ( $L$ ). Dengan parameter-parameter tersebut kedua aturan dapat menentukan daya transmisi minimal dengan untuk mencapai transmisi yang optimal dengan tetap memperhatikan batasan *delay* dan *packet loss*. Kanal dibagi ke dalam delapan blok kanal *fading* dengan level SNR yang berbeda. Dalam kedua sistem akan diteliti tentang hubungan *node* ke *node*, dengan asumsi antara *transmitter* dan *receiver* terdapat informasi yang lengkap tentang kanal yang digunakan.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN)

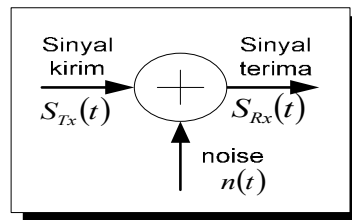
Pada kanal transmisi selalu terdapat penambahan derau (*noise*) yang timbul karena akumulasi derau termal dari perangkat pemancar, kanal transmisi, dan perangkat penerima.

Derau yang menyertai sinyal pada sisi penerima dapat didekati dengan model matematis statistik AWGN [5]. Derau AWGN merupakan gangguan yang bersifat *additive* atau ditambahkan terhadap sinyal transmisi, dimodelkan dalam pola distribusi acak *Gaussian* dengan *mean* ( $m$ ) = 0, standar deviasi ( $\sigma$ ) = 1, *power spectral density* (pdf) =  $N_0/2$  (W/Hz), dan mempunyai rapat spektral daya yang tersebar merata pada lebar pita frekuensi tak berhingga. Distribusi AWGN dengan *probability density function* (pdf) sebagai berikut :

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-(x-m)^2 / 2\sigma^2\right] \quad (2.1) \quad [9]$$

dimana:  $p(x)$  = probabilitas kemunculan derau  
 $\sigma$  = standar deviasi  
 $m$  = rata-rata (*mean*)  
 $x$  = variabel tegangan atau daya sinyal

AWGN merupakan model kanal sederhana dan umum dalam suatu sistem komunikasi. Model kanal ini dapat digambarkan seperti berikut:



**Gambar 1. Model Kanal AWGN [4]**

Jika sinyal yang kirim  $S_{Tx}(t)$ , dan di dalam kanal sinyal dipengaruhi oleh derau  $n(t)$  maka sinyal yang diterima menjadi:

$$S_{Rx}(t) = S_{Tx}(t) + n(t), 0 \leq t \leq T \quad (2.2) \quad [9]$$

## 2.2 Multipath Fading

Dalam sistem komunikasi nirkabel (*wireless*), kondisi lingkungan yang terdiri dari berbagai objek sangat mempengaruhi penjalaran sinyal dari pemancar menuju penerima; akibatnya sinyal yang dipancarkan oleh suatu pemancar akan melewati berbagai lintasan dan mengalami peredaman, penguatan, *scattering*, difraksi dan lain-lain. Di sisi penerima, total sinyal yang diterima adalah sinyal yang telah mengalami variasi amplitudo dan fasa. Efek seperti ini dikenal sebagai *multipath propagation* atau *multipath fading*. [4]

Secara umum *fading* dipisahkan menjadi *Large Scale Fading* dan *Small Scale Fading*. *Large Scalle Fading* didefinisikan sebagai rata-rata daya yang hilang akibat transmisi sinyal pada jarak jauh. Fenomena ini disebabkan oleh kondisi lingkungan yang ada antara pemancar dan penerima seperti pohon, bangunan bertingkat, pegunungan, dan lain-lain. Sedangkan *Small Scale Fading* atau *short term fading* (*fading* cepat) terjadi karena amplituda suatu sinyal yang diterima, berfluktuasi sangat cepat dalam interval waktu yang singkat. [7]

## 3. Pemodelan Sistem Dan Simulasi

### 3.1 Blok Kanal Fading.

Pada umumnya untuk sistem kecepatan data tinggi digunakan model kanal blok interferensi untuk mengkarakterisasi kanal *wireless*. Satu blok kanal berisi beberapa simbol dan setiap simbol mengalami kondisi kanal yang sama. Sehingga *Signal to Noise Ratio* (SNR)

yang diterima, konstan untuk durasi sebuah blok (ditunjukkan dengan  $\Delta t$ ) [8]. Dalam setiap blok, kanal dimodelkan sebagai sebuah kanal AWGN, sebagai berikut :

$$y = \sqrt{h}x + n \quad (3.1)$$

dimana  $x$  adalah sinyal masukan,  $y$  adalah sinyal keluaran,  $n$  adalah *noise*, dan  $h$  adalah *fading factor*. Normal *pathloss* adalah 1, pada kanal *fading* Rayleigh,  $h$  berdistribusi secara eksponensial dengan *pdf*

$$f_h(x) = e^{-x}, \quad x \geq 0, \quad (3.2)$$

Urutan *threshold* awal  $0 = h^{(0)} < h^{(1)} \dots < h^{(K)} = \infty$ , membagi faktor *fading*  $h$  ke dalam sejumlah interval terbatas. Kanal dikatakan dalam *state*  $s^{(k)}$  jika  $h \in [h^{(k)}, h^{(k+1)})$ ,  $k = 0, 1, \dots, K-1$ .

Jika sejumlah  $R$  paket data dikodekan dan ditransmisikan dalam satu blok dengan daya  $P$  pada kondisi kanal memenuhi, pemilihan nilai yang optimal dari  $P$  dan  $R$  bergantung pada batasan komunikasi dan kompleksitas. Diasumsikan bahwa *transmitter* menggunakan pola modulasi / *coding* khusus yang dapat mengubah kecepatan dan daya transmisi. Dalam penelitian ini digunakan modulasi M-QAM dan formula kapasitas AWGN; daya pancar minimal yang dibutuhkan dalam penerimaan data pada *receiver* yang bebas *error*, adalah sebagai berikut [2] :

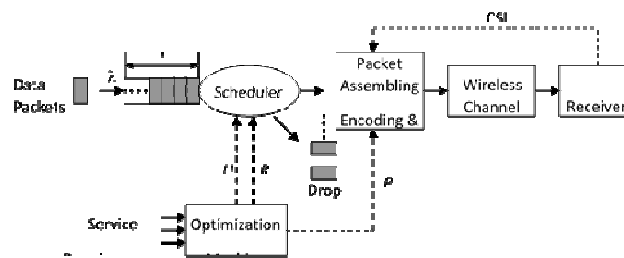
$$P_m(s^{(k)}, R) = \frac{1}{h^{(k)}} (2^{\frac{S_p R}{S_b}} - 1) \quad (3.3)$$

dengan  $s^{(k)} : h \in [h^{(k)}, h^{(k+1)})$ .  $S_p$  adalah ukuran paket dalam bit dan  $S_b$  adalah jumlah simbol kanal yang ditransmisikan pada satu blok. Tanpa *loss*, secara umum, diasumsikan bahwa rasio  $S_b/S_p$  adalah integer. Di asumsikan pula, antara *transmitter* dan *receiver* terdapat informasi kondisi kanal yang lengkap (sempurna), agar ambang batas terbawah  $h^{(k)}$  dari interval kuantisasi dapat digunakan untuk menentukan daya pancar minimal.

### 3.2 Model Komunikasi

Model sistem komunikasi ditunjukkan pada gambar 2. Diperkirakan waktu  $t$  dikuantisasi oleh durasi blok  $\Delta t$ . Parameter  $\lambda$  menunjukkan laju rata-rata kedatangan paket (paket per blok), dan terdapat sebuah *buffer* transmisi dengan ukuran terbatas untuk menampung kedatangan paket. Jumlah kedatangan paket tiap blok  $[t_i, t_{i+1})$  ditunjukkan oleh  $\theta_i$ , diasumsikan berdistribusi *i.i.d* (*independent and identically distributed*) [8].

Pada suatu saat  $t_i$ , *transmitter* mengambil  $U_i$  paket dari *buffer*, tetapi hanya mengirimkan  $R_i$  paket ( $R_i \leq U_i$ ) pada blok kanal *wireless* ini dengan daya  $P_i$ . besarnya  $U_i, R_i$  dan  $P_i$  ditentukan oleh sebuah aturan tertentu. Tiap paket akan dapat diterima dengan benar jika  $P_i \geq P_m(s_i, R_i)$  bisa dicapai.



Gambar 2. Model komunikasi [8]

Ketika *buffer* sudah penuh, maka paket yang datang distop dan tidak bisa dikembalikan ke pengirim. Jadi jika ada paket yang hilang, maka ada tiga kemungkinan terjadinya hal tersebut, yaitu paket dibuang oleh *transmitter*, rusak di kanal udara, atau diblok saat *buffer* dalam keadaan penuh [3].

Dalam penelitian ini, diasumsikan proses yang terjadi di kanal adalah proses fluktuasi sinyal (selama proses propagasi) yang disebabkan oleh *fading* dengan penambahan *noise* yang diasumsikan terdistribusi Normal / Gaussian (AWGN).

### 3.3 Aturan Optimal.

Aturan optimal adalah aturan yang bertujuan untuk meminimalisasi rata-rata daya transmisi dengan batasan pada rata-rata *delay* dan batasan *packetloss*. Pada aturan ini setiap waktu tertentu  $t_i$ , ditentukan laju pengambilan paket  $U_i$  dari *buffer*, laju transmisi  $R_i$  dan daya transmisi  $P_i$  untuk blok  $[t_i, t_{i+1})$ . Dengan mempertimbangkan batasan *delay* dan *packetloss*,  $U_i$ ,  $R_i$  dan  $P_i$  ditentukan berdasarkan pada kondisi kanal  $s_i$  dan juga panjang antrian  $x_i$ . Didefinisikan ruang lingkup kondisi sistem  $v = (x, s)$  dimana  $x \in X$  dan  $s \in H$ , dengan himpunan  $X = \{0, 1, \dots, L\}$  dan himpunan  $H = \{s^{(0)}, s^{(1)}, \dots, s^{(K-1)}\}$  [1].

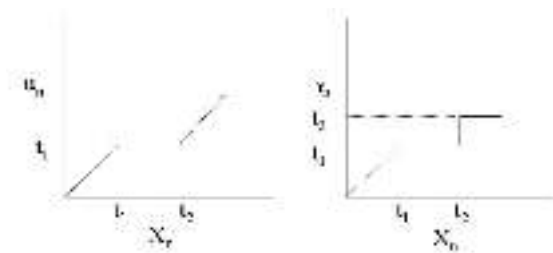
Dengan asumsi sistem berada pada *state*  $v_i$  pada waktu  $t_i$ , ditentukan tiga fungsi sebagai berikut  $U_i = u_i(v_i)$ ,  $R_i = r_i(v_i)$  dan  $P_i = p_i(v_i)$ , dimana  $u_i, r_i : X \times H \rightarrow \{0, \mathbf{Z}^+\}$  dan  $p_i : X \times H \rightarrow \{0, \mathbf{R}^+\}$ ;  $\mathbf{Z}^+$  adalah bilangan bulat positif dan  $\mathbf{R}^+$  menyatakan bilangan riil. Sebuah aturan kontrol  $\pi$  didefinisikan sebagai sebuah urutan dari tiga vektor  $[u_i, p_i, r_i]$ , yakni  $\pi = \{[u_0, r_0, p_0], [u_1, r_1, p_1] \dots [u_i, r_i, p_i] \dots\}$ . Untuk rata-rata *cost* dengan sebuah *state* yang terbatas dengan ruang lingkup kontrol tertentu, diperlukan adanya sebuah aturan yang tak berubah (*stationary*) yang optimal. Untuk itu didefinisikan aturan kontrol  $\pi$  yang tidak bergantung pada waktu sistem [8].

Sehingga fungsi di atas menjadi  $U_i = u(v_i)$ ,  $R_i = r(v_i)$  dan  $P_i = p(v_i)$ . Untuk aturan  $\pi$  yang diberikan, parameter  $\omega(v)$  ditetapkan sebagai probabilitas steady state pada *state*  $v$ .

Struktur dari aturan Optimal untuk laju pengambilan data dari *buffer* dan besar paket yang ditransmisikan, adalah sebagai berikut :

$$u_n = \begin{cases} x_n & \text{jika } x_n \leq t_1 \\ t_1 & \text{jika } t_1 < x_n \leq t_2 \\ x_n - t_2 + t_1 & \text{jika } t_2 < x_n \end{cases} \quad (3.4)$$

$$r_n = \begin{cases} x_n & \text{jika } x_n \leq t_1 \\ t_1 & \text{jika } t_1 < x_n \leq t_2 \\ t_3 & \text{jika } t_2 < x_n \end{cases} \quad (3.5)$$



Gambar 3. Struktur Aturan Optimal [1]

### 3.4 Pola Suboptimal Control Sederhana

Sebelumnya telah ditetapkan sebuah aturan optimal untuk menentukan besar  $R$ ,  $U$  dan  $P$  yang meminimalkan rata-rata daya transmisi dibawah batasan rata-rata *delay* dan *packetloss* [6].

Dalam penelitian ini sebuah aturan yang lebih sederhana sebagai pembanding aturan optimal yang disebut pola kontrol suboptimal sederhana atau disingkat aturan sederhana,  $\pi_s$  untuk mengatasi kekurangan yang terdapat pada hasil yang menggunakan aturan Optimal [8].

Pertama-tama ditentukan 3 parameter, yaitu sebuah *threshold* untuk kondisi kanal *fading*  $h_a$ , yang merupakan salah satu dari *threshold*  $h^{(k)}$ ,  $k = 0, 1, \dots, K-1$ , sebuah *threshold* laju transmisi  $r_a$ , dan sebuah *threshold* panjang antrian untuk *dropping* data pada *buffer*. Kapasitas *buffer* diasumsikan  $L$  paket data. Pada setiap kondisi kanal  $\mathbf{v}=(x, s)$ , ditentukan sebuah aturan  $\pi_s$  demikian pula dengan fungsi kecepatan transmisi  $r_s(\mathbf{v}=(x, s^{(k)})) = \min\{x, r_a\}$  jika  $h^{(k+1)} \geq h_a$  dan sebaliknya  $r_s(\mathbf{v}) = 0$ .

$$r_s(\mathbf{v}=(x, s^{(k)})) = \begin{cases} 0, & h^{(k+1)} < h_a; \\ x, & h^{(k+1)} \geq h_a, \text{ dan } x \leq r_a; \\ r_a, & h^{(k+1)} \geq h_a, \text{ dan } x \geq r_a \end{cases} \quad (3.6)$$

*Transmitter* hanya mengirim data, jika kanal dalam keadaan bebas, yakni  $h \geq h_a$ . Jika terdapat sedikit data dalam *buffer* ( $x \leq r_a$ ) maka *transmitter* akan mengirimkan seluruh data, tetapi jika jumlah data melebihi nilai  $r_a$  maka *transmitter* hanya mengirimkan sebesar  $r_a$  data. Selanjutnya untuk pengambilan paket didefinisikan sebagai berikut :

$$u_s(\mathbf{v}) = \begin{cases} r_s(\mathbf{v}), \dots, x < x_L; \\ x + r_a - x_L, \dots, x > x_L \end{cases} \quad (3.7)$$

dimana  $x$  adalah panjang antrian dan  $x_L$  adalah sebuah *threshold* panjang antrian untuk *dropping* data, dengan kondisi yang dipilih,  $x_L \geq r_a$ . Jika pada  $u_s$  terdapat paket lebih dari  $x_L$  maka *transmitter* akan mengambil paket sebanyak  $u_i + r_a - x_L$ . Jika  $x_{i+}$  menunjukkan jumlah paket pada saat  $t_{i+}$ , yaitu waktu setelah menjalankan aturan sederhana, maka

$$x_{i+} = x_i - u_i = x_L - r_a \quad (3.8)$$

Persamaan 3.8 menunjukkan bahwa dengan menjalankan aturan sederhana yaitu ketika melakukan pengambilan data dari *buffer*  $u_i$  yaitu sebesar  $x - (x_L - r_a)$  maka paket sisa pada *buffer* adalah  $(x_L - r_a)$ . Diasumsikan tidak ada perbedaan prioritas data dalam pengambilan paket dari *buffer*. Aturan sederhana hanya bergantung pada tiga parameter,  $h_a$ ,  $r_a$  dan  $L$ , jadi mudah untuk diimplementasikan; Paket yang dibuang pada *transmitter* dianggap tidak ada sehingga perhitungan *delay* pada *buffer* dapat dilakukan dengan menggunakan teorema Little. Paket yang hilang dikendalikan hanya melalui kapasitas *buffer*  $L$ .

Besarnya rata-rata daya minimum dengan aturan sederhana  $\pi_s$  adalah sebagai berikut:

$$\min_{h_a, r_a, L} \bar{P} \text{ mengacu ke } \bar{D} \leq D_{avg} \text{ dan } P_B \leq \eta \quad (3.9)$$

dimana  $\bar{D}$  dan  $P_B$  menunjukkan rata-rata delay *buffer* dan besarnya paket yang hilang.

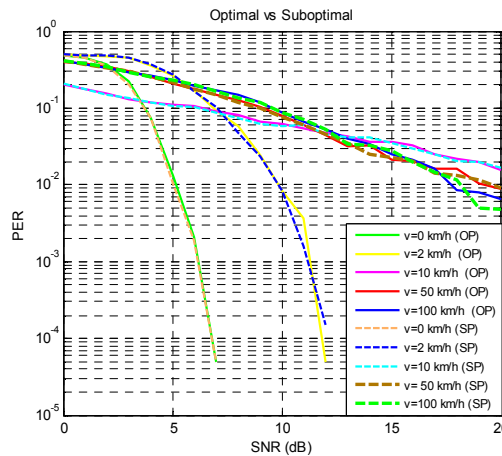
### 3.5 Parameter-parameter pada aturan Optimal dan aturan Suboptimal

Untuk mengilustrasikan performansi dari aturan optimal dan aturan sederhana dalam simulasi diasumsikan jumlah dari kedatangan paket mematuhi distribusi Poisson [1]. Diasumsikan aliran paket dengan kecepatan rata-rata 500 kb/s dan ukuran paket  $S_p = 100$  bits. Diasumsikan durasi blok adalah 1 ms dan ukuran blok  $S_b = 2000$  bit/blok. Sebuah model kanal *fading* blok delapan *state* digunakan dengan membagi kanal ke dalam interval *signal to noise ratio* (SNR) dengan probabilitas yang sama, yaitu  $S^{(0)}=(18,22\text{dB})$ ,  $S^{(1)}=[15\text{dB},18\text{dB})$ ,  $S^{(2)}=(11\text{dB},15\text{dB})$ ,  $S^{(3)}=(8\text{dB},11\text{dB})$ ,  $S^{(4)}=(4\text{dB},8\text{dB})$ ,  $S^{(5)}=(1\text{dB},4\text{dB})$ ,  $S^{(6)}=(-1\text{dB},1\text{dB})$ , dan  $S^{(7)}=(-2\text{dB},1)$ .

## 4. Hasil Simulasi

### 4.1 Analisis Kinerja Aturan Optimal dan Suboptimal pada Kecepatan *User* yang berbeda-beda

Kecepatan *user* merupakan parameter yang sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem transmisi *mobile wireless*. Semakin cepat pergerakan *user*, maka semakin tinggi frekuensi Doppler maksimal dan semakin cepat perubahan kondisi fluktuasi kanal, sehingga dapat menyebabkan kinerja sistem semakin buruk. Di bawah ini ditunjukkan kinerja aturan Optimal dan Suboptimal pada kecepatan *user* yang berbeda-beda.



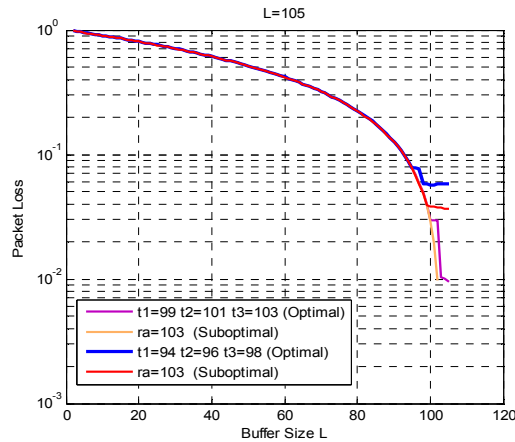
**Gambar 4. Aturan Optimal dan Suboptimal pada kecepatan *user* yang berbeda-beda.**

Dari gambar 4. diatas terlihat bahwa dengan kecepatan *user* 0 km/jam (diam) pada SNR 7 dB, PER (*packet error rate*) kedua aturan yang dicapai adalah  $10^{-4}$ , berada di bawah *threshold* paket *loss*  $10^{-3}$ . Untuk kecepatan *user* 2 km/jam pada SNR 12 dB aturan Suboptimal hampir mencapai PER  $10^{-4}$ , sedangkan aturan Optimal mampu mencapai PER  $10^{-4}$ . Untuk kecepatan 10 km/jam, 50 km/jam dan 100 km/jam hanya mampu mencapai *packet error rate*  $10^{-2}$  pada SNR  $\pm 20$  dB.

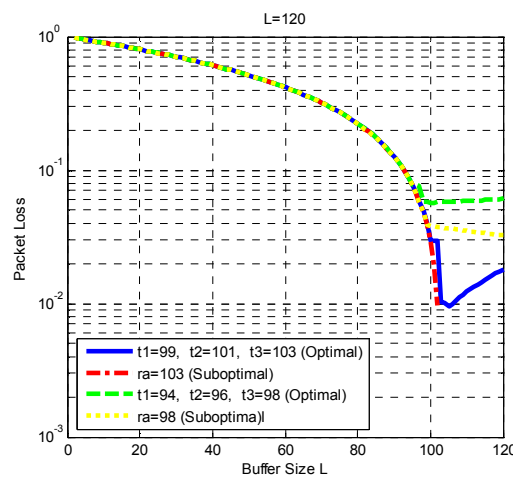
### 4.2 Analisis pengaruh Ukuran *Buffer* terhadap Besar Paket *Loss*

Simulasi ini menunjukkan bahwa semakin besar ukuran *buffer* akan semakin kecil *packet loss* dan dengan memakai *threshold* laju transmisi yang berbeda akan menghasilkan *packet loss* yang berbeda pula.

Kedua gambar dibawah ini menunjukkan perbandingan aturan Optimal (laju kedatangan paket per blok  $\lambda=20$ , *threshold* laju transmisi  $t_1=16$ ,  $t_2=18$ ,  $t_3=20$ ) dengan aturan Suboptimal (laju kedatangan paket per blok  $\lambda=20$ , laju transmisi  $r_a=98$ ) pada ukuran *buffer* maksimal  $L=105$  dan  $L=120$



**Gambar 5. Packetloss pada aturan Optimal dan Suboptimal dengan  $L_{maks}=105$**



**Gambar 6. Packetloss pada aturan Optimal dan Suboptimal dengan  $L_{maks}=120$**

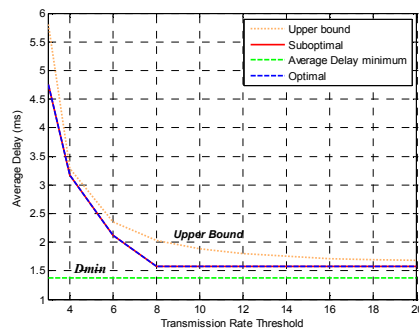
Dari kedua gambar 5 dan 6 diatas terlihat bahwa pada aturan Optimal, semakin besar nilai *threshold* laju transmisi ( $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ) maka semakin kecil *packet loss*, begitu pula untuk aturan Suboptimal semakin besar *threshold* laju transmisi  $r_a$  akan menghasilkan *packet loss* yang semakin kecil. Terlihat pula, bahwa dengan ukuran *buffer* dan jumlah kedatangan paket yang sama, jumlah *packet loss* untuk aturan Suboptimal lebih kecil daripada aturan Optimal.

Dari kedua gambar diatas juga terlihat bahwa pada aturan Optimal, semakin besar ukuran *buffer*, *packet loss* semakin kecil. Tetapi ketika ukuran *buffer* terlalu besar dibandingkan dengan jumlah paket yang masuk kedalam *buffer*, *packet loss* menjadi semakin besar. Dengan demikian, terdapat titik balik jumlah *packet loss*. Pada aturan Suboptimal, jika ukuran *buffer* terus diperbesar, *packet loss* tidak bertambah besar karena tidak diijinkan terjadi *dropping* paket pada *transmitter* (setiap *state* punya aturan untuk jumlah antrian di *buffer*  $x_L$  dan *threshold* laju transmisi  $r_a$  untuk meniadakan paket *dropping*) dan paket hanya dikirimkan pada kondisi kanal yang bagus ( $h \geq h_a$ ), yang merupakan jaminan tidak akan ada paket yang dibuang sebagai *packet loss*, dengan kata lain, *packet loss* hanya dihitung dari

paket blok Dengan demikian, *packet loss* pada aturan Suboptimal dapat dikontrol melalui kapasitas *buffer*.

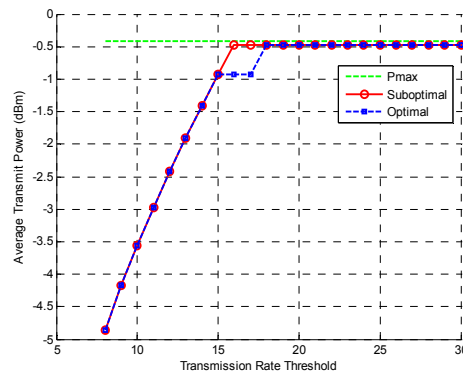
#### 4.3 Analisis pengaruh *Threshold* Laju Transmisi terhadap *Delay* Transmisi dan *Average Transmit Power* pada Aturan Optimal dan Suboptimal

Pada bagian ini akan ditunjukkan pengaruh *threshold* laju transmisi terhadap *delay* transmisi dan *average transmit power* pada aturan **Optimal** dan **Suboptimal** dimana untuk kedua aturan dapat dilihat bahwa semakin besar *threshold* laju transmisi maka *delay* transmisi akan semakin kecil. Sedangkan jika semakin besar *threshold* laju transmisi, maka *average transmit power* akan semakin besar pula.



Gambar 7. *Average delay* pada aturan Optimal dan Suboptimal ( $h_a=h^3$ )

Dari gambar 7 diatas terlihat bahwa aturan **Optimal** dan **Suboptimal** mempunyai nilai rata-rata *delay* yang sama. Berada di atas *delay minimum* (*delay* paling kecil yang dicapai ketika *transmission rate threshold* paling tinggi dan ukuran *buffer* paling kecil) dan dibawah *upper bound* dari *average delay*



Gambar 8. Pengaruh *transmission rate threshold* terhadap *average transmission power* pada aturan Optimal dan Suboptimal

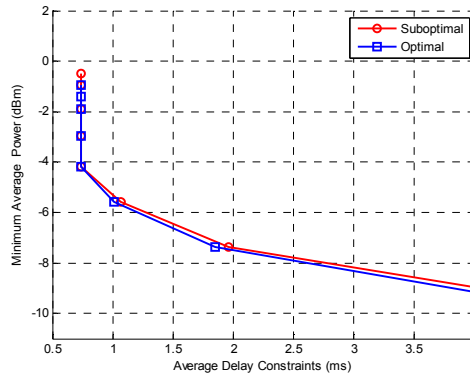
Dari gambar 8. di atas terlihat bahwa aturan Suboptimal memerlukan *average transmit power* yang hampir sama dengan aturan Optimal. Juga terlihat bahwa *average transmit power* dapat mencapai batas maksimal sesuai dengan *power* maksimal yang dipakai pada tiap *state* walaupun *threshold* laju transmisi diperbesar.

#### 4.4 Analisis pengaruh *Average Delay Constraints* terhadap *Minimum Average Power*

Dari gambar 9. dibawah dapat dilihat bahwa semakin besar *average delay constraints* maka semakin kecil *minimum average power* pada kedua aturan. Dengan *delay constraints*



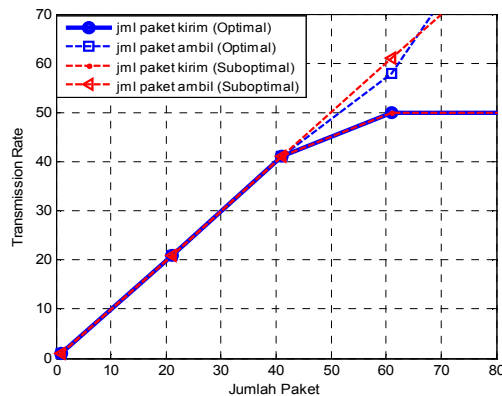
yang semakin besar, *delay* yang diperlukan untuk mengirim paket dapat diperbesar, sehingga laju transmisi dapat diperkecil. Laju transmisi yang kecil memerlukan *power* yang kecil juga untuk mengirimkan data.



**Gambar 9. Minimum average power pada average delay constraints yang berbeda-beda pada aturan Optimal dan Suboptimal**

Dari gambar 9. di atas terlihat bahwa aturan Optimal memerlukan *average transmit power* yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan aturan Suboptimal.

#### 4.5 Analisis pengaruh Jumlah Paket terhadap Laju Transmisi



**Gambar 10. Laju transmisi pada threshold laju transmisi pada aturan Optimal dan Suboptimal**

Dari gambar 10. di atas dapat dilihat bahwa semakin besar laju kedatangan paket maka semakin besar pula laju transmisinya. Tetapi apabila laju pengambilan paket dari *buffer* telah melewati *threshold*, laju transmisi paket tetap sebesar *threshold* laju transmisi walaupun laju kedatangan paket semakin besar. Dari gambar dapat dilihat pula, bahwa laju transmisi Optimal sama dengan laju transmisi Suboptimal, tetapi dalam laju pengambilan paket dari *buffer* untuk aturan Suboptimal sedikit lebih besar dari aturan Optimal, sehingga dalam aturan Suboptimal memerlukan daya (*power*) transmisi yang lebih besar.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis terhadap pola transmisi paket untuk meminimalisasi daya pancar tersebut diatas, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada semua *state* dengan pola transmisi paket dan kondisi kanal tetap, *user* diam menghasilkan grafik yang paling baik (daya pancar minimal), tetapi dengan semakin besarnya kecepatan *user* yaitu dari 2 km/jam, 10 km/jam, 50 km/jam dan 100 km/jam akan semakin tinggi frekuensi Doppler maksimal dan semakin cepat perubahan fluktuasi kanal yang menyebabkan kinerja sistem menurun (*threshold packetloss*  $10^{-3}$  tidak tercapai)
2. Dalam rangka meminimalisasi daya pancar, pada Aturan Optimal perlu disesuaikan ukuran *buffer* dengan *transmission rate threshold* dan *power* transmisi karena jika ukuran *buffer* terlalu besar dapat terjadi kenaikan nilai *packetloss*.
3. *Average transmit power* maksimal dicapai ketika *average delay* paling kecil yang berarti laju transmisi paling besar sehingga seluruh paket pada *buffer* dapat dikirimkan dengan cepat.
4. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam rangka meminimalisasi daya pancar, kinerja aturan Suboptimal dibandingkan dengan aturan Optimal tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan.

## 5.2 Saran

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut untuk kondisi antrian paket di *buffer*, dalam rangka meminimalisasi daya pancar, dikaitkan dengan pola transmisi paket yang digunakan.
2. Perlu dikembangkan aturan yang diperlukan, untuk bentuk pola transmisi dalam rangka meminimalisasi daya pancar, jika terdapat interferensi dari banyak *user*.
3. Dalam perhitungan *Packet Error Rate* (PER) dikaitkan dengan pola transmisi paket data, untuk penelitian selanjutnya dapat diuji dengan menggunakan teknik perhitungan melalui *convolutional codes* yang digabungkan dengan *Viterbi decoder*.

## Referensi

- [1] B.E Collins dan R.L. Cruz., 1999, *Transmission Policies for Time Varying Channels with Delay Average Constraints*, Proceedings Allerton Conference in Communication, Control, & Computing.
- [2] Gozali, Lutfi A., 2006, *Analisis Performansi dan Simulasi Estimasi Kanal pada WCDMA dengan Algoritma Predefine Phase*, IT Telkom : Bandung
- [3] H. Wang, N. Moayeri, 1995, *Finite State Markov Channel - a Useful Model for Radio Communication Channels*, IEEE Transactions in Vehicular Technology.
- [4] Ismail, N., 1998, *Kanal Rayleigh Fading pada Komunikasi CDMA* (Online).
- [5] Khalili, R., 2004, *A new Analytic Approach to Evaluation of Packet Error Rate in Wireless Network* (Online).
- [6] Rajan, D., Sabharawal, A. and Aazhang, B., 2001, *Transmission Policies for Bursty Traffic Sources on Wireless Channels*, . 35<sup>th</sup> Annual Conference on Information Sciences and Systems, Baltimore.
- [7] Rappaport, T.S., 2002, *Wireless Communications Principles and Practice*. (2<sup>nd</sup>): Prentice Hall PTR.
- [8] Wang, H. and N.B. Mandayam., 2004, *Simple Packet Transmission Scheme for Wireless Data Over Fading Channels*, IEEE Transactions in Information Theory.
- [9] Y.L Guan, L.F. Turner., 1999, *Generalized FSMC Model for Radio Channels with Correlated Fading*, IEEE Proceedings in Communications.