



Algoritma adaptif untuk hubungan virtual pada kontrol aliran yang berbasis umpan balik di WAN-ATM

F. Ahmadi Djajasugita¹, Rendy Munadi²

¹Jurusan Teknik Elektro ITB, ²Jurusan Teknik Elektro STT Telkom, Bandung

Masuk: Januari 1998 ; revisi masuk: September 1998 ; diterima: September 1998

Sari

Algoritma pengendalian aliran yang bersifat adaptif dapat diterapkan pada jaringan ATM wilayah luas guna mengalokasikan kebutuhan lebar pita pada hubungan virtual. Pengendalian aliran menggunakan mekanisme kontrol lup tertutup, yaitu suatu mekanisme kontrol yang bersifat reaktif dan secara dinamis, mengatur kecepatan transmisi sel yang diizinkan untuk setiap hubungan virtual dengan menggunakan informasi umpan balik dari jaringan. Informasi umpan balik berupa bit yang dapat mengidentifikasi apakah panjang antrian di *buffer* berada di atas atau di bawah batas ambang yang diberikan. Dengan bit indikasi ini kecepatan sumber pengiriman dapat dikendalikan. Penelitian yang telah dilakukan sebelumnya terbatas pada jumlah hubungan sebanyak 24 VC dan kecepatan transmisi 155 Mbps dengan batas ambang *buffer* 6.5 sel. Karena itu, dilakukan penelitian jika jumlah hubungan bertambah hingga 100 VC dan kecepatan transmisi 600 Mbps dengan batas ambang *buffer* dalam rentang yang lebar. Hasil simulasi algoritma adaptif menunjukkan bahwa dengan menggunakan kriteria kestabilan terhadap hubungan virtual tunggal akan diketahui rentang penggunaan parameter rasio penguatan terhadap peredaman yang tepat sehingga untuk hubungan virtual banyak akan lebih mudah ditunjukkan sifat keadilan terhadap setiap hubungan. Sifat kekokohan ditunjukkan melalui simulasi, yaitu dengan menambah jumlah hubungan yang mungkin dapat dilayani. Dari respon kecepatan *aggregate* terlihat bahwa terjadi penurunan pemanfaatan lebar pita jaringan (<90%). Keadaan ini dapat diatasi dengan memperbesar kecepatan transmisi, menambah waktu *update*, dan menambah panjang ambang batas antrian di *buffer*.

Kata kunci: *Adaptif, virtual connection, feedback, gain dan damping, saturasi, fairness, robustness*

Abstract

Adaptive algorithm for virtual connection on feedback-based flow control in WAN-ATM network

Adaptive flow control Algorithm can be applied into wide area ATM network to allocate lebar pita to virtual connection. Flow control uses closed loop control mechanism, i.e, a reactive control mechanism which dynamically controls permissible transmission speed for any virtual connection by using feedback information of the network. Information of the network is in the form of bit that can identify whether a queue length in buffer is above or below a given threshold. By this indication bit the source of cell sending can be controlled. The earlier investigation was limited to 24 VC connection and in 155 Mbps transmission speed with 6.5 cells buffer threshold. Considering that it was not enough, a further investigation was carried out with increasing connection up to 100 VC, 600 Mbps transmission speed, and buffer threshold in a wide range. Adaptive algorithm simulation results showed that by using stability criterion on single virtual connection we found the range of gain ratio parameter used on proper damping, hence, fairness can be made easier in multiple virtual connections. There are two parameters – each is important for every virtual connection, i.e minimum bandwidth parameter and weight factor to gain bandwidth share that provided by the network. Proper selection on the two parameters gives different service. Aggregate speed response showed that there is degradation of network bandwidth use (<90%). This situation can be overcome by increasing the transmission speed, lengthening update time, and enlarging the buffer threshold.

Key words: *Adaptive, virtual connection, feedback, gain and damping, saturation, fairness, robustness*

1 Pendahuluan

Salah satu keuntungan utama teknologi *Asynchronous Transfer Mode* (ATM) adalah kemampuan untuk menangani beragam jenis trafik dengan beberapa permintaan tingkat layanan (*Quality of Service - QoS*) dalam lingkungan *Local Area Network* (LAN) dan *Wide*

Area Network (WAN). Kemampuan ini dapat dicapai dengan mekanisme manajemen trafik yang menyediakan suatu operasi jaringan ATM yang efisien dan stabil. Aliran trafik ATM dapat didekati dengan model fluida, yaitu dengan *overhead traffic*; dalam hal ini terdapat *Resource Management cells* (RM sel) yang berfungsi mengangkut informasi kongesti di *node* (jaringan) ke

sumber pengirim. RM sel dapat dikirim secara periodik dengan periode yang ditentukan oleh jauhnya hubungan virtual (secara geografis). RM sel dikirim untuk setiap N data sel terkirim.

Berdasarkan jenis layanan sebuah hubungan, dua kontrol kongesti telah dikembangkan untuk jaringan ATM, yaitu mekanisme kontrol kongesti lup terbuka dan mekanisme kontrol kongesti lup tertutup. Pada komunikasi data, permintaan lebar pita biasanya tidak diketahui pada saat awal hubungan, hal ini menyebabkan mekanisme lup terbuka tidak sesuai untuk jenis layanan ini. Terlebih lagi kecepatan puncak yang telah dinegosiasikan tidak dapat dicapai, meskipun jaringan berada dalam kondisi "beban rendah" (*low load*). Hal ini menyebabkan penggunaan sumber daya jaringan menjadi tidak efisien karena untuk aplikasi komunikasi data kecepatan transmisi sel harus disesuaikan dengan keadaan kongesti di jaringan.

Alasan-alasan ini menghasilkan suatu definisi jenis layanan lain yang ditujukan untuk mendukung jenis layanan komunikasi data, yang dikenal dengan layanan *Available Bit Rate* (ABR). Untuk mendukung layanan ABR, dipergunakan mekanisme kontrol lup tertutup, yaitu mekanisme kontrol yang bersifat reaktif dan secara dinamis mengatur kecepatan transmisi sel yang diizinkan untuk setiap hubungan ABR dengan menggunakan informasi umpan balik dari jaringan⁽¹⁾.

Salah satu mekanisme kontrol lup tertutup adalah sistem kontrol aliran (pada WAN-ATM *Network*) yang memanfaatkan informasi umpan balik dari jaringan guna mengatur kecepatan sumber dalam mengirimkan sel-sel ATM, sehingga lebar pita yang disediakan oleh jaringan dapat dimanfaatkan secara maksimal oleh pemakai. Sistem ini bersifat adaptif karena pemakai umumnya tidak berada pada tempat dan waktu aktif yang sama⁽²⁾.

2 Mekanisme kontrol kecepatan

Sasaran mekanisme ini adalah menjamin bahwa *Quality of Service* (QoS) yang disetujui pada penetapan hubungan dapat dicapai. Di samping itu, diizinkan juga untuk hubungan yang melebihi batas kecepatan dan toleransi *burst*, jika tersedia kapasitas di jaringan yang belum terpakai.

Mekanisme ini memanfaatkan informasi umpan balik guna mengatur dan memberdayakan kecepatan hubungan. Keadaan kongesti ditentukan secara lokal di tiap-tiap *intermediate node* dengan membandingkan kedalaman rata-rata antrian di *link internodal* terhadap ambang kongesti. Aliran sel memasuki jaringan diatur oleh *Source End System* (SES) seperti gambar 1 yang didasarkan pada umpan balik dari jaringan.

Mekanisme kontrol ini menggunakan *state* dari *Explicit Forward Congestion Indication* (EFCI) yang ada di

header sel data. Bila SES membangkitkan sebuah sel, maka *state* EFCI diset ke kondisi "kongesti tidak dialami". Kemudian, jika sel melewati jaringan (dengan *intermediate node* dalam keadaan kongesti), maka *state* EFCI berubah ke kondisi "kongesti dialami". Jika sel sampai di DES (*Destination End System*) dengan *state* EFCI yang tidak berubah, maka hal ini menunjukkan bahwa paling sedikit satu link antar-node sepanjang jalur hubungan terganggu. Selanjutnya, DES akan mengirim sel kontrol ke SES, sehingga isi informasinya akan dikenali oleh lapisan adaptasi ATM (*ATM adaptation layer - AAL*).

State kongesti ditentukan oleh panjang antrian rata-rata dari antrian link antar-node. Bila panjang antrian rata-rata mencapai batas ambang, maka sel yang lewat melalui antrian akan mempunyai *state* EFCI yang menandakan telah terjadi kongesti.

Pada interval yang tetap, SES mengatur kecepatannya dengan menggunakan kenaikan secara penambahan, dan penurunan secara perkalian. Maka, untuk sumber yang aktif melakukan hubungan, kecepatannya dapat didekati secara matematis seperti di bawah ini.

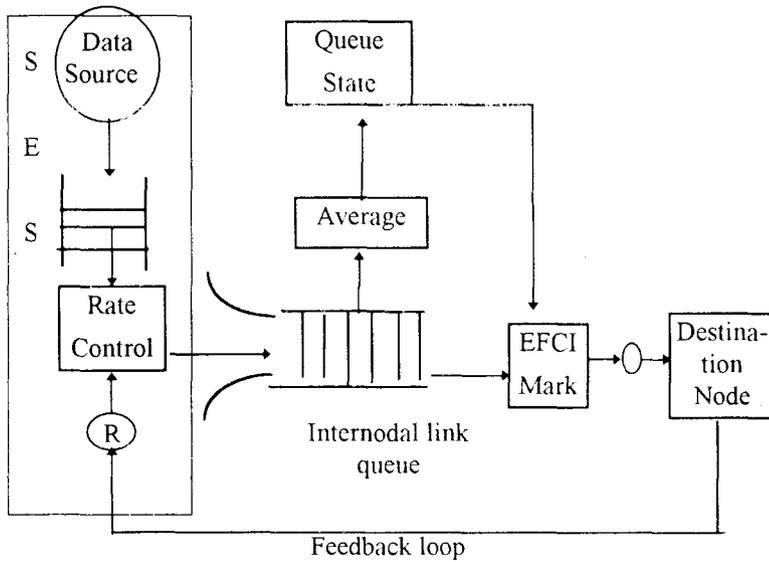
$$R_n = R_{n-1} + b \quad \text{dan} \quad R_n = d R_{n-1} \quad 0 < d < 1 \quad (1)$$

dengan b (faktor penambahan) dan d (faktor perkalian), serta n adalah tingkat interval ($d = 0.875$, $b = 0.166 R_s$). Satuan kecepatan di sini adalah Mbps, waktu dalam detik, sedangkan panjang antrian dalam bit atau sel.

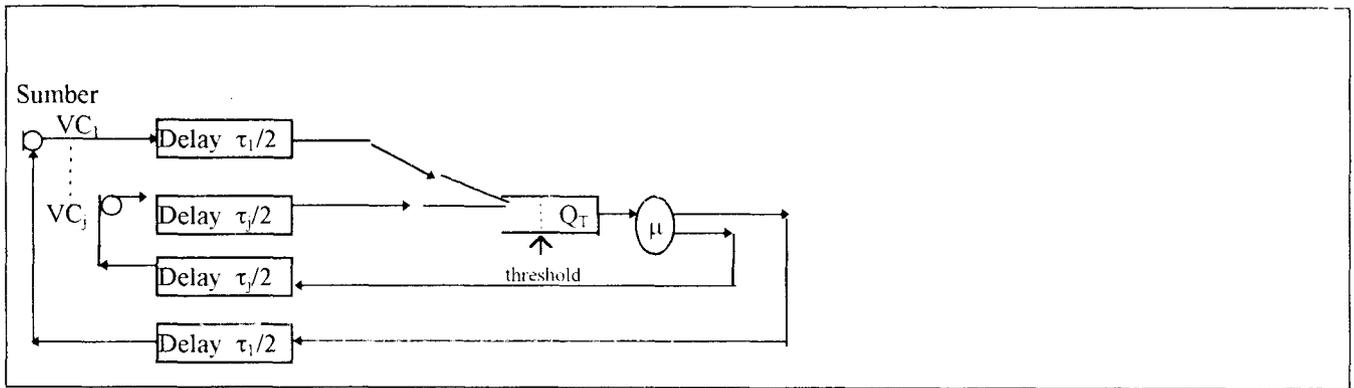
Andaikanlah ada 3 sumber; sumber-1 memulai mengirim data dan sumber lain tidak. Di sini sumber-1 dapat menambah kecepatannya melebihi link lebar pita sehingga menyebabkan panjang antrian rata-rata bertambah melebihi ambang. Setelah SES menerima informasi umpan balik, maka kecepatan pengiriman data pada sumber-1 diturunkan. Sebelum sumber-2 dan sumber-3 menjadi aktif, sumber-1 menempati lebar pita seluruh link antar-node. Ketika sumber-2 dan sumber-3 mulai mengirim data, sumber-1 menurunkan kecepatannya dan melepaskan lebar pitanya sampai semua sumber mencapai kondisi seimbang dicapai, dengan tiap hubungan harus membagi lebar pitanya secara adil. Misalnya, bentuk *lebar pita bersama* untuk sumber-1, 2 dan 3 masing-masing adalah 0,2, 0,4 dan 0,4.

3 Model jaringan kontrol aliran berbasis umpan balik

Gambar 2 memperlihatkan model jaringan yang terdiri atas *switch* tunggal dan terhubung ke banyak VC (VC_i) dengan *delay* propagasi yang bervariasi (sumber dapat ditempatkan pada lokasi yang berbeda) dan dilayani dengan kecepatan layanan yang konstan.



Gambar 1 Mekanisme kontrol kecepatan ⁽³⁾



Gambar 2 Model jaringan *single bottle-neck* ⁽²⁾
 μ : Kecepatan pelayanan di jaringan
 Q_T : Nilai ambang antrian di *buffer switch*

Tiap VC mempunyai dua parameter *non-negative* yang berhubungan dengan penempatan lebar pita, yaitu v_j dan σ_j untuk hubungan virtual J.

- Dengan v_j : Minimum lebar pita
- σ_j : Bobot positif diberikan dalam menentukan pembagian lebar pita yang tidak disepakati sebelumnya

3.1 Model sistem hubungan tunggal (*single connection*)

Model fluida didekati dengan persamaan *deferensial* sistem yang menyatakan perubahan kecepatan aliran terhadap waktu, yaitu

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = \begin{cases} -\Gamma^+ [\phi(t) - v] + A^+ u(t), & \text{jika } u(t) > 0 \\ -\Gamma^- [\phi(t) - v] + A^- u(t), & \text{jika } u(t) < 0 \end{cases} \quad (2a)$$

dengan sifat-sifat dasar tertentu yang harus ditetapkan, dengan

- $\phi(t)$: kecepatan aliran di sumber pengirim
- v : lebar pita minimum
- $\Gamma^+, \Gamma^-, A^+, A^-$: parameter peredaman dan parameter penguatan yang tidak berharga negatif.
- $u(t)$: kontrol umpan balik, $u(t) \in (+1, -1)$
- $u(t)$: $\text{sgn} [Q_T - Q(t-\tau/2)]$

Parameter peredaman (Γ) dan parameter penguatan (A) bertanda +, artinya bahwa panjang ambang batas antrian di *switch* belum dilampaui dan bertanda - jika terjadi sebaliknya. Penetapan dalam praktek ditentukan berdasarkan harga rasio (A/Γ) yang merupakan besaran

kecepatan (dengan menganggap salah satu berharga konstan) dan berhubungan dengan kecepatan layanan yang disediakan oleh jaringan.

Perubahan panjang antrian di *buffer switch* terhadap waktu dinyatakan oleh:

$$\frac{dQ(t)}{dt} = \begin{cases} [\phi(t - \tau/2) - \mu]^- , & \text{jika } Q(t) > 0 \\ [\phi(t - \tau/2) - \mu]^+ , & \text{jika } Q(t) = 0 \end{cases} \quad (2b)$$

dengan

- $Q(t)$: Panjang antrian di *buffer switch*
- $\tau/2$: *Delay* propagasi sumber ke *switch*
- μ : Kecepatan pelayanan di jaringan
- Q_T : Nilai ambang antrian di *buffer*
- $[x]^+ : \max [x, 0]$

Kedua bentuk pers (2a dan 2b) merupakan bentuk persamaan lup tertutup dengan elemen umpan balik ($u(t)$) yang saling mempengaruhi. Pada pers (2b) besaran $\tau/2$ sebagai *delay* propagasi antara sumber ke *switch*, yang secara tidak langsung akan mempengaruhi harga $u(t)$. Simbol $\phi(t)$ merupakan kecepatan aliran di sumber pengirim dan menyatakan aproksimasi fluida terhadap *throughput* lokal dari paket atau sel. $Q(t)$ merupakan aproksimasi terhadap antrian paket atau sel di *buffer switch*. Sifat dinamis *nonlinier* pada pers (2b) merefleksikan fakta bahwa panjang antrian tidak pernah negatif, artinya $Q(t) \geq 0$.

Untuk meninjau apakah sistem berada dalam daerah saturasi atau tidak saturasi terhadap model yang diberikan, diperlukan beberapa proposisi yang meliputi solusi stasioner dan solusi yang tidak stasioner atau dinamis.

Solusi stasioner dipenuhi jika:

$$d\phi(t)/dt = dQ(t)/dt = 0,$$

Persamaan di atas akan menghasilkan:

$$\begin{aligned} \phi &= v + A^+/\Gamma^+ & \text{untuk } u &= +1 \\ \phi &= v - A^-/\Gamma^- & \text{untuk } u &= -1 \end{aligned}$$

dengan syarat bahwa harga: $(v + A^+/\Gamma^+) < \mu$

Parameter kontrol ($u = +1$) artinya bahwa panjang antrian di *buffer* lebih kecil daripada nilai ambang yang diberikan ($Q(t-\tau/2) < Q_T$) sedangkan untuk ($u = -1$) artinya panjang antrian di *buffer* telah melampaui nilai ambangnya ($Q(t-\tau/2) > Q_T$).

Definisi:

Jika : $(v + A^+/\Gamma^+) < \mu$, maka sistem dalam kondisi **tidak saturasi**

Jika : $(v + A^+/\Gamma^+) > \mu$, maka sistem kondisi **saturasi**

Untuk melihat apakah solusi yang dipakai stasioner atau dinamik, ada beberapa proposisi, antara lain sebagai berikut. ⁽²⁾

Proposisi 1

(1.1) Jika sistem tidak saturasi, ada solusi stasioner:

$$\phi = v + A^+/\Gamma^+, \quad Q = 0$$

(1.2) Jika sistem saturasi, tidak ada solusi stasioner

Proposisi 2

Proposisi ini hanya untuk sistem yang tidak stasioner dan merupakan solusi dinamis dari sistem.

(2.1) $\phi(t) \leq v + A^+/\Gamma^+$ untuk semua $t \geq t_1$. Jika $\phi(t_0) > v + A^+/\Gamma^+$, dengan $(t_1 > t_0)$, maka $\phi(t)$ akan berkurang secara monoton di (t_0, t_1) dan $\phi(t_1) = v + A^+/\Gamma^+$

(2.2) Jika ada t_2 sehingga $t \geq t_2$, maka: $Q(t) < Q_T$ dan $u(t) = 1$ dan solusi dinamik dari model hubungan tunggal adalah:

$$\phi(t) = v + (A^+/\Gamma^+) + e^{-\Gamma^+(t-t_2)} [\phi(t_2) - v - (A^+/\Gamma^+)] \quad (3)$$

Jika kita tidak meninjau apakah sistem itu saturasi atau tidak, kita dapat mendekati dengan harga *damping* yang merata dan mungkin bersifat *asimetris*, yaitu

$$\Gamma_M = \min(\Gamma^+, \Gamma^-) > 0 \quad (4)$$

Proposisi 3

Pandang sistem dengan *damping* yang seragam dan $A_M = \max(A^+, A^-)$, maka untuk tiap t_0 dan $t > t_0$ akan didapatkan solusi dinamis, yaitu:

$$|\phi(t) - v| \leq (A_M/\Gamma_M) + e^{-\Gamma_M(t-t_0)} \{|\phi(t_0) - v| - (A_M/\Gamma_M)\} \quad (5)$$

3.2 Model sistem hubungan banyak (*multiple connection*)

Dalam model ini, parameter $[\Gamma_j^+, \Gamma_j^-, A_j^+, A_j^-]$ diambil yang berhubungan dengan VC_j untuk $j = 1, 2, \dots, J$. Perubahan kecepatan aliran terhadap waktu dan perubahan panjang antrian terhadap waktu masing-masing dapat diungkapkan seperti persamaan di bawah ini.

$$\frac{d\phi_j(t)}{dt} = \begin{cases} -\Gamma_j^+ [\phi_j(t) - v_j] + A_j^+ u_j(t), & \text{jika } u_j(t) > 0 \\ -\Gamma_j^- [\phi_j(t) - v_j] + A_j^- u_j(t), & \text{jika } u_j(t) < 0 \end{cases} \quad (6a)$$

$$\frac{dQ_j(t)}{dt} = \begin{cases} \sum_{j=1}^J [\phi_j(t - \tau_j/2) - \mu]^- , & \text{jika } Q(t) > 0 \\ \sum_{j=1}^J [\phi_j(t - \tau_j/2) - \mu]^+ , & \text{jika } Q(t) = 0 \end{cases} \quad (6b)$$

Sistem hubungan banyak dikatakan berada pada daerah saturasi ataupun tidak saturasi sesuai dengan apakah

$$\sum_{j=1}^J [v_j + (A_j^+ / \Gamma_j^+)] \text{ lebih besar atau lebih kecil dari } \mu.$$

Proposisi 1. Berlaku juga untuk sistem hubungan banyak.

Proposisi 2. Sifat-sifat dinamis tiap solusi stasioner didekati dengan harga kondisi awal jika sistem tidak saturasi.

Proposisi 3. Untuk membatasi sifat-sifat dinamis seperti terjadinya osilasi pada daerah saturasi.

Jika sistem berada di daerah tidak saturasi, kita harus dapat menentukan berapa besarnya lebar pita yang tak

termanfaatkan, yaitu $\left\{ \mu - \sum_{j=1}^J [v_j + (A_j^+ / \Gamma_j^+)] \right\} > 0$, yang

merupakan kekuatan insentif untuk bekerja di daerah saturasi.

Dalam skala waktu yang panjang, jumlah VC atau J akan bervariasi. Misalnya, dengan jumlah J yang kecil, sistem masih di daerah tidak saturasi; begitu J bertambah besar, sistem sudah bekerja di daerah saturasi.

3.3 Sifat keadilan (fairness)

Tiap VC mempunyai dua parameter yang akan digunakan untuk mengalokasikan lebar pitanya, yaitu v_j dan σ_j .

Di sini terdapat lebar pita yang direalisasikan untuk setiap VC j , sebut misalnya ϕ_j , diinginkan bahwa $\phi_j > v_j$ untuk semua j dan harus dipenuhi pula hubungan:

$$\frac{\phi_j - v_j}{\sigma_j} = \frac{\phi_{j'} - v_{j'}}{\sigma_{j'}} \text{ untuk semua pasangan } (j, j') \quad (7)$$

dengan

σ_j : bobot relatif dan jumlahnya tidak harus sama dengan 1.

Terdapat hubungan antara jumlah semua kebutuhan lebar pita minimum dengan lebar pita dari jaringan itu sendiri, yaitu

$$\sum_{j=1}^J v_j < \rho \mu \quad \text{untuk } j = 1, 2, 3, \dots, J \quad (8)$$

dengan

μ : Lebar pita di jaringan

ρ : Faktor utilitas ($0.8 < \rho < 0.98$)

Hubungan tersebut secara administratif dilakukan oleh *Admission Control*, sedangkan jika $v_j = 0$, hal ini tidak dilakukan. Dalam memperlihatkan sifat keadilan, ada beberapa kelas layanan khusus yang cukup menarik untuk dipelajari, yaitu:

- Best Effort, $v_j = 0, \sigma_j = \sigma > 0$.

- Best Effort with *Minimum Bandwidth*: $v_j > 0, \sigma_j = \sigma > 0$.

3.4 Sifat kekokohan (robustness)

Sifat kekokohan dapat menggambarkan rentang parameter yang cukup lebar dan dapat menentukan derajat kesaturasian serta efisiensi penggunaan lebar pita di jaringan. Salah satu parameter adalah jumlah hubungan virtual (VC). Misalkan sejumlah kelompok VC membuat grup yang masing-masing sepatok untuk mematuhi ketentuan sifat keadilan sehingga grup total menunjukkan kemampuan layanan jaringan terhadap pemakai.

Pada hubungan grup dipastikan kondisi yang terjadi adalah saturasi sehingga perlu didefinisikan i batas bawah dan batas atas dari kecepatan grupnya, yaitu

$$\text{Sat}_j(x) = \begin{cases} x, & \text{jika } v_j \leq x \leq R_{\text{ceil}} \\ v_j, & \text{jika } x < v_j \\ R_{\text{ceil}}, & \text{jika } x > R_{\text{ceil}} \end{cases} \quad (9)$$

dengan R_{ceil} sebagai batas atas kecepatan pada hubungan banyak.

Persamaan (9) berguna untuk kondisi *start up* di samping dapat mencegah terjadinya kejutan panjang *buffer* terhadap sejumlah hubungan virtual yang dilakukan pada saat yang sama.

Dari definisi : $\theta_j(t) = \phi_j(t + \tau_j/2) - v_j$

Kecepatan grup total merupakan kecepatan *agregat*nya, yaitu

$$\theta(t) = \sum_{j=1}^J \theta_j(t) \quad (10)$$

Pemanfaatan terhadap penggunaan lebar pita di jaringan oleh sejumlah pemakai didekati dengan persamaan:

$$\text{Efisiensi} = (\theta(t)/\mu) \times 100\% \quad (11)$$

3.5 Kebutuhan akan waktu respons dan panjang buffer

3.5.1 Waktu respons

Terdapat berbagai aplikasi sesuai dengan kebutuhan terhadap waktu respons yang diperlukan guna mendapatkan gambaran yang jelas akan relevansi perancangan dalam simulasi. Di bawah ini diberikan tabel 1 mengenai waktu respons yang bergantung pada aplikasi yang digunakan.

Tabel 1 Waktu respons dan lebar pita untuk berbagai aplikasi komunikasi komputer⁽⁴⁾

Aplikasi	Waktu respons	Lebar pita (Mbps)
Information retrieval	1-10 sec	1-10
File transfer	1-10 sec	1-10
Video	0.1-1 sec	150
Computer graphics	0.1-0.5 sec	1-10
Animated graphics	30-100 ms	1-5
LAN interconnect	10-50 ms	1-140
Distributed processing	1-10 ms	50-100
Diskless workstations	1-10 ms	50-100
Remote process control	0.1-1 ms	0.064-1

3.5.2 Panjang buffer

Penentuan kebutuhan ukuran *buffer* sangat mempengaruhi aplikasi komunikasi data yang sensitif terhadap *delay* dan juga pada terpeliharanya sifat keadilan.

Kebutuhan ukuran *buffer* akan semakin berkurang jika level aktivitas dan rasio kecepatan *trunk* (CL) terhadap kecepatan akses (Ca) bertambah (seperti pada tabel .2).

Tabel 2 Ukuran *buffer* sebagai fungsi dari tingkat aktivitas.⁽⁵⁾

Access speed (Ca) (b/s)	Trunk speed (CL) (b/s)	Per Vc Activity level α		
		0.05	0.25	0.5
		Buffer (kB)	Buffer (kB)	Buffer (kB)
16k	1.54 M	404	81	40
64k	1.54 M	192	38	19
1.54 M	1.54 M	124	25	12.4
1.54 M	45 M	2841	568	284

4 Hasil simulasi dan analisis

4.1 Batasan simulasi

Simulasi dari Algoritma Adaptif ditunjukkan guna mengilustrasikan, baik secara kualitatif juga secara kuantitatif, beberapa hal yang telah diutarakan. Model aliran fluida yang berdasarkan sistem orde-1 persamaan diferensial delay dapat merefleksikan adanya *delay* propagasi sepanjang jaringan. Dalam simulasi ini, mengingat sistem WAN-ATM bersifat diskret, maka perlu adanya aproksimasi terhadap persamaan tersebut dengan membuat interval tetap antara memperbaharui (*update*) kecepatan VC_j. Waktu interval *update* yang diambil jauh melebihi liarga *delay* propagasi akan berimplikasi terhadap kondisi saturasi yang sulit dicapai. Simulasi ini menggunakan *software* yang diprogram dengan Bahasa C, yang dapat menggambarkan unjuk kerja pada Jaringan Antrian.

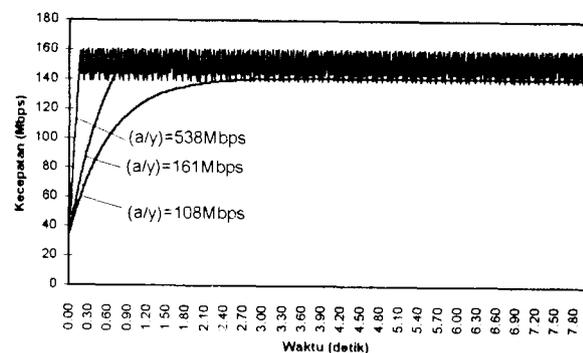
Kami membatasi pembahasan mengenai simulasi ini terhadap:

- Pengendalian aliran yang berbasis kecepatan
- Sumber data tak terbatas dalam arti bahwa pertama kali sumber aktif, VC terus menerus menghasilkan trafik pada kecepatan yang terkontrol
- Interval update berkisar dari 0.5τ s/d 2.0τ , sedangkan τ (delay propagasi perjalanan memutar) di banyak aplikasi komunikasi data dipakai antara 10ms hingga 100ms.
- Satu titik dari kongesti atau antrian dikarakteristikan melalui disiplin pelayanan FCFS. Overflow dari buffer tidak dimodelkan.
- Ukuran paket tetap 53 *byte* sebagai ukuran sel ATM standar, sedangkan kecepatan transmisi bisa dari 45 Mbps, 155 Mbps atau 600 Mbps. Simulasi dilakukan dengan parameter yang disesuaikan dengan kebutuhan jaringan ATM.

4.2 Pengaruh penguatan dan peredaman terhadap respons kecepatan

Pada bagian ini kita mengamati pengaruh parameter penguatan ($A = a$) dan konstanta peredaman ($\Gamma = \gamma$) terhadap sifat-sifat keadaan mantap (*steady state*) dan keadaan sesaat (*transient state*) dari kecepatan pengiriman oleh sumber; dalam hal ini diwakili oleh hubungan virtual (VC).

Parameter gambar 3	
$\mu = 155$ Mbps	$\nu = 34$ Mbps
$Q_T = 10$ sel	$\sigma = 1$
$\tau = 0.010$ detik	$\Delta = 0.005$ detik



Gambar 3 Respons kecepatan untuk hubungan virtual tunggal (1VC)

Tabel 3 Pengaruh (A/I) pada hubungan virtual tunggal (1VC)

A/I	108	161	538
Item	Mbps	Mbps	Mbps
t_r (detik)	1.2	0.68	0.15
t_s (detik)	3.23	1.0	0.19
$\Delta\phi_{ss}$ (Mbps)	-	6.0	20

Pada gambar 3 ($j=1$) untuk hubungan *virtual* tunggal, kecepatan sumber ditentukan melalui algoritma adaptif, dengan konstanta peredaman (Γ) dibuat pada harga yang tetap, sedangkan harga penguatan (A) bervariasi. Dengan demikian, akan mudah dikenali daerah tidak saturasi dan daerah saturasi dari sistem (berdasarkan hasil pengeplotan kecepatan) dan menentukan t_r yang kecil.

Jadi, secara keseluruhan dikehendaki agar sistem bekerja di daerah saturasi yang memberikan sifat kestabilan, yaitu *bounded input bounded output*; dengan waktu naik (*rise time* - $t_r < 1$ detik) dan *throughput* keadaan mantap maksimal ($\approx \phi_{ss}$) dengan amplitudo osilasi ($\Delta\phi_{ss} < 5\%$ dari harga lebar pita yang disediakan jaringan)⁽⁶⁾.

Dari spesifikasi yang dikehendaki seperti di atas, kurva dengan $(A/\Gamma) + v \approx 1.5 \mu$ sebagai batas atas masih bisa diizinkan.

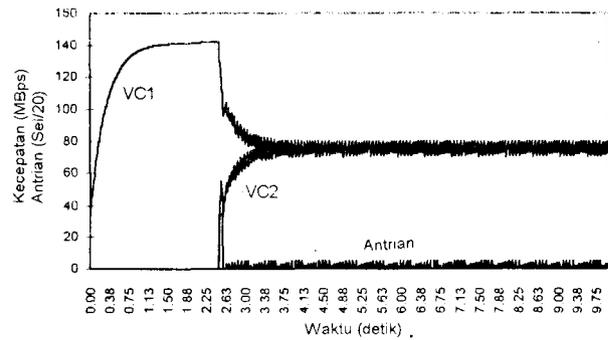
4.3 Sifat keadilan dalam hubungan virtual banyak

Sifat keadilan dari hubungan virtual ini harus memenuhi aturan yang berlaku. Untuk memudahkan, kita masukkan jumlah hubungan virtual sebanyak 2 VC. Sifat keadilan bisa dilihat ketika VC ke-2 mulai aktif dan VC pertama telah memanfaatkan hampir semua lebar pita jaringan; apakah pembagian lebar pita dapat dicapai secara adil (masing-masing VC mendapatkan setengah lebar pita yang disediakan jaringan) ?

Parameter gambar 4 ($j=1,2$)		
$\mu = 155$ Mbps;	$v_j = 34$ Mbps;	$A_j \cdot \Delta_j = 1.72$ Mbps
$\tau_j = 0.010$ det;	$\sigma_j = 1$	$\Gamma_j \cdot \Delta_j = 0.016$
	$\Delta_j = 0.005$ det	

Tabel 4 Pengaruh perubahan Q_T terhadap hubungan virtual 2VC

Item	10 sel	100 sel
t_s (detik)	3.57	3.72
ϕ_{ss} (Mbps)	75	74
$\Delta\phi_{ss}$ (Mbps)	7	10
Q_{ss} (Sel)	100	225
Q_T (Sel)	500	500



Gambar 4 Respons kecepatan dan panjang antrian untuk hubungan 2VC pada $Q_T = 10$ sel

Kita perhatikan, $j = 1$ untuk $t < 2.5$ detik dan $j = 2$ untuk $t \geq 2.5$ detik ambil $\mu = 155$ Mbps, $v \approx \mu/4$. Pakai prinsip aturan design untuk *pointwise fairing*, yaitu:

$$\Gamma_j = \Gamma ; A_j = \sigma_j A ; \sigma_1 = \sigma_2 = 1 \quad (j = 1,2).$$

maka ,

$$\begin{aligned} \sum \{ (A_j/\Gamma_j) + v_j \} &= 142 \text{ Mbps untuk } t < 2.5 \text{ detik} \\ &= 284 \text{ Mbps untuk } t \geq 2.5 \text{ detik.} \end{aligned}$$

Jadi, untuk $t < 2.5$ detik sistem belum mencapai kondisi saturasi, sedangkan untuk $t \geq 2.5$ detik sistem sudah mencapai saturasi.

Untuk $t < 2.5$ detik, pendekatan keadaan mantap tidak memperlihatkan terjadinya osilasi dan antrian masih kosong. Tetapi, setelah $t = 2.5$ detik, terjadi puncak antrian ketika VC2 aktif, sedangkan terhadap VC1 seakan tidak cukup terhadap lebar pita yang diberikan. Setelah $t > 2.5$ detik, antrian ada dan osilasi di kecepatan terjadi, tapi tidak berlebihan.

Hasil yang penting diharapkan adalah lebih cepatnya tercapai keadaan mantap, terjadi penyamaan (*overlap perfectly*) kecepatan secepatnya (anggap sebagai *settling time* - t_s dari hubungan 2 VC) dan osilasi kecil.

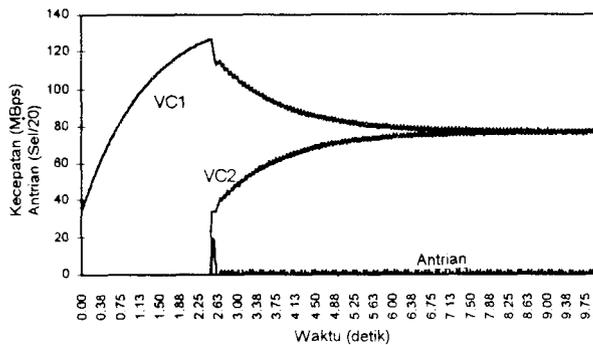
Kita tinjau sekarang akibat dari berubahnya batas ambang antrian (Q_T). Dari gambar 4 terlihat bahwa kecepatan keadaan mantap (ϕ_{ss}) berharga di sekitar 75 Mbps, sedangkan dari hasil perhitungan, untuk sistem dalam kondisi saturasi adalah = 77.5 Mbps.

Pengaruh penambahan batas *ambang* (Q_T) dari 10 sel ke 100 sel akan terlihat pada peningkatan jumlah besarnya sel yang antri (Q_{ss}), sedangkan jumlah sel yang antri pada keadaan *transient* (Q_t) relatif tidak banyak berubah.

Dari konfigurasi yang diberikan dengan parameter yang telah memenuhi spesifikasi stabilitas terlihat pada hubungan 2 VC bahwa jaringan mampu mengatur *lebar pita* yang tersedia dan prinsip sifat keadilan terpenuhi,

sehingga masing-masing VC (*user*) mendapatkan layanan dengan tercapainya keadaan keseimbangan dalam waktu yang relatif singkat ($t_s = 3.57$ s/d 3.72 detik)

Parameter gambar 5 ($j=1,2$)		
$\mu = 155$ Mbps;	$v_j = 34$ Mbps;	$\Delta_j = 0.005$ det
$\tau_j = 0.010$ det;	$\sigma_j = 1$	$\Gamma_j \cdot \Delta_j = 0.004$
$A_j \cdot \Delta_j = 0.43$ Mbps		



Gambar 5 Respons kecepatan dan panjang antrian untuk hubungan 2 VC dengan $Q_T = 10$ sel

Tabel 5 Pengaruh perubahan Q_T terhadap hubungan virtual 2VC dengan $0.25(A/T)$

Item	Q_T	
	10 sel	100 sel
t_s (detik)	9.0	9.45
ϕ_{ss} (Mbps)	74	78
$\Delta\phi_{oss}$ (Mbps)	2.85	4.6
Q_{ss} (Sel)	20	100
Q_T (Sel)	400	500

Dengan parameter yang sama seperti pada gambar 4, kecuali besaran penguatan dan peredaman yang diperkecil seperempat kalinya (gambar 5) terlihat waktu respons yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan keseimbangan (t_s) semakin lama, yaitu 9 detik. Sementara itu amplitudo osilasi ($\Delta\phi_{oss}$) semakin mengecil di bawah 5% dari harga ϕ_{ss} , demikian pula jumlah sel yang antri relatif sedikit dan kondisi *transient* sel yang antri relatif kecil (perhatikan tabel 5).

Untuk hubungan 2 VC dengan menggunakan parameter non-negatif tersebut hasil simulasi dari kecepatan masing-masing VC pada keadaan keseimbangan dicapai adalah 78 Mbps (pada batas *ambang* 100 sel) dan ini ternyata mendekati harga dari perhitungan, yaitu 77.5 Mbps. Jadi, dari hasil simulasi untuk hubungan 2 VC ada hal yang paling penting untuk dipertimbangkan, yaitu waktu

respons dan besarnya amplitudo osilasi yang terjadi. Jika kita menghendaki respons yang cepat, kita harus memilih parameter yang sesuai dengan gambar 4, sedangkan jika kita menghendaki osilasi amplitudo sekecil mungkin agar jaringan sangat efisien, kita harus memakai parameter seperti gambar 5.

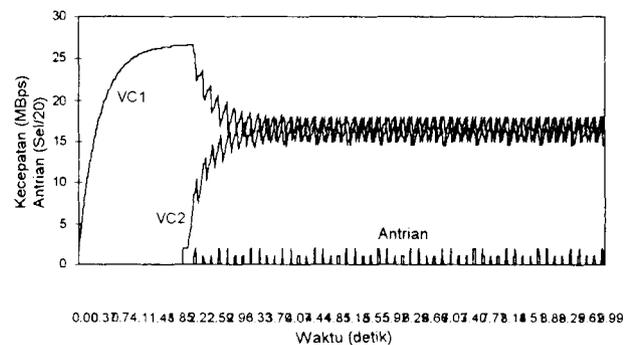
4.4 Variasi waktu tunda (*delay*) propagasi

Jaringan akses untuk *Wide Area Network* biasanya beroperasi pada kecepatan transmisi (μ) 34 Mbps atau 45 Mbps. Dalam simulasi ini akan dilihat pengaruh *delay* propagasi dari masing-masing hubungan virtual (VC) jika diberikan $\tau_1 = 10$ ms dan $\tau_2 = 100$ ms, terhadap respons kecepatan pengiriman dari sumber dan panjang antrian yang terjadi di *buffer switch* untuk kedua kecepatan tersebut.

Parameter penguatan dan peredaman diambil pada daerah analisa kestabilan, sedangkan kebutuhan minimum lebar pita (v_j) = 2 Mbps ini disesuaikan dengan aplikasi, misalnya untuk akses pengiriman file atau juga untuk akses basis data jarak jauh.

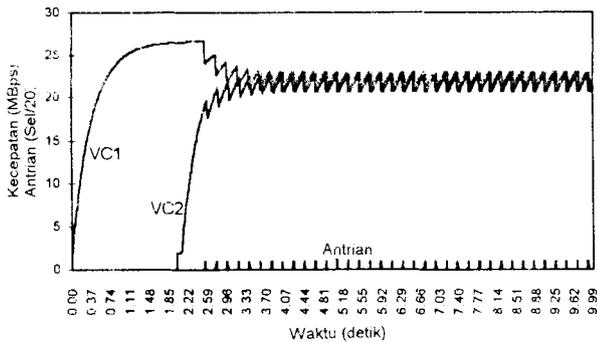
Hasil dari simulasi dengan parameter yang diberikan dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.

Parameter gambar 6 dan 7 ($j = 1, 2$)		
$Q_T = 10$ Sel	$\tau_1 = 0.010$ detik	$\tau_2 = 0.100$ detik
$v_j = 2$ Mbps	$\sigma_j = 1$	$\Delta_j = 0.005$ detik
$A_1 \Delta_1 = A_2 \Delta_2 = 0.32$ Mbps $\Gamma_1 \Delta_1 = \Gamma_2 \Delta_2 = 0.013$		



Gambar 6 Respons kecepatan dan panjang antrian untuk hubungan 2 VC dengan *delay* yang berbeda pada $\mu = 34$ Mbps.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa harga kecepatan setelah keadaan seimbang dicapai (ϕ_{ss}) sesuai dengan harga perhitungan untuk dua hubungan virtual, yaitu 17 Mbps (pada $\mu = 34$ Mbps) dan 22.5 Mbps (pada $\mu = 45$ Mbps). Hal ini terjadi karena prinsip keadilan dalam mendapatkan pembagian lebar pita di jaringan dipergunakan selama hubungan berlangsung.



Gambar 7 Respons kecepatan dan panjang antrian untuk hubungan 2 VC dengan delay yang berbeda pada $\mu = 45$ Mbps.

Tabel 6 Pengaruh perubahan μ terhadap hubungan 2VC pada $Q_T = 10$ sel

μ	34 Mbps	45 Mbps
item		
t_s (detik)	4	3.95
ϕ_{ss} (Mbps)	17	22.5
$\Delta\phi_{ss}$ (Mbps)	3.2	2.27
Q_{ss} (Sel)	38	20

Panjang antrian yang terjadi relatif kecil dan kondisi *transient* tidak terjadi sehingga ukuran *buffer* di *switch* tidak besar. Dari gambar 6 terlihat bahwa kurva respons VC1 mendahului kurva respons VC2 sebesar setengah *round trip time*, dengan kata lain, antara dua kurva terjadi pergeseran. Kedua kurva akan mengalami *overlap* yang sempurna (menyatu) jika masing-masing digeser $\tau_1/2$ untuk respons VC1 dan $\tau_2/2$ untuk respons VC2.

Dari analisa berdasarkan waktu respons yang dispesifikasikan sesuai dengan implementasi, dapat dikatakan bahwa waktu respons dari kecepatan untuk hubungan dua VC ternyata sangat baik ($\ll 10$ detik) sehingga sangat cocok untuk pengiriman data, misalnya berupa *transfer file*.

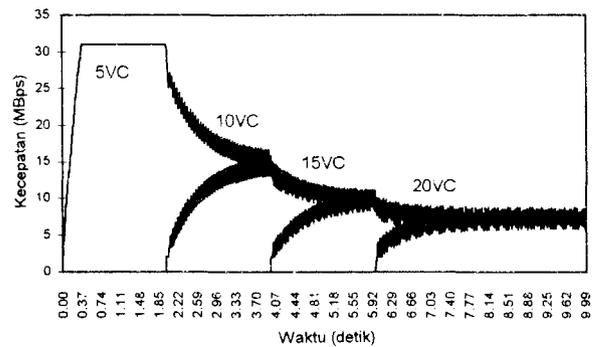
4.5 Sifat kekokohan (*robustness*)

Sifat *robustness* dalam algoritma ini akan diperlihatkan melalui bertambahnya jumlah hubungan virtual untuk mendapatkan lebar pita di *node* tunggal. Pengamatan dilakukan dengan melihat pengaruh bertambahnya j terhadap karakteristik keadaan sesaat dan keadaan mantap.

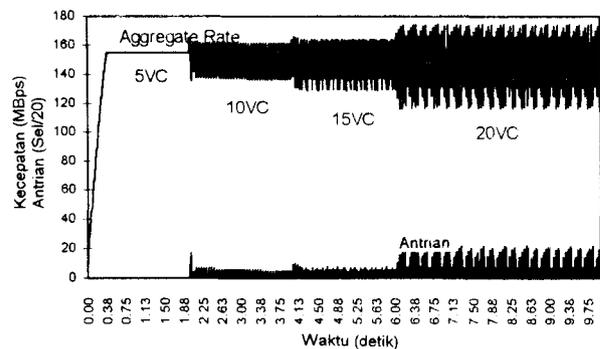
Gambar 8a menunjukkan grup dari 5VC masing-masing aktif pada waktu 0, 2, 4 dan 6 detik. Sebelum waktu 2 detik, sistem tidak mencapai daerah saturasi, tetapi setelah 2 detik, begitu grup-2 mulai aktif, maka sistem saturasi

dan derajat kesaturasian akan bertambah pada detik keempat dan seterusnya.

Parameter gambar 8		
$(j = 1,2,\dots,20)$		
$\mu = 155$ Mbps	$\tau_i = 10$ detik	$v_j = 2$ Mbps;
$R_{ceil} = 31$ Mbps		
$\sigma_j = 1$	$A_j \cdot \Delta_j = 0.86$	$\Gamma_j \cdot \Delta_j = 0.008$



Gambar 8a Respons kecepatan group untuk hubungan virtual (total 20VC) pada $Q_T = 10$ sel dan $\Delta_j = 5$ detik.



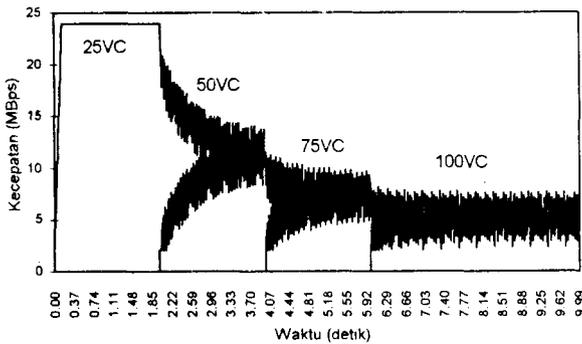
Gambar 8b Respons kecepatan *aggregate* dan panjang antrian untuk hubungan virtual (total 20VC) pada $Q_T = 10$ sel dan $\Delta_j = 5$ detik.

Kecepatan grup VC melalui simulasi tampak pada gambar 4.8a. Tampak bahwa waktu respons sangat singkat ($t_s = 2$ detik) sehingga sistem mencapai keseimbangan. Demikian pula fluktuasi kecepatan yang terjadi cukup lambat dengan amplitudo osilasi yang relatif kecil. Panjang antrian dan *aggregate rate* tampak pada gambar 8b.

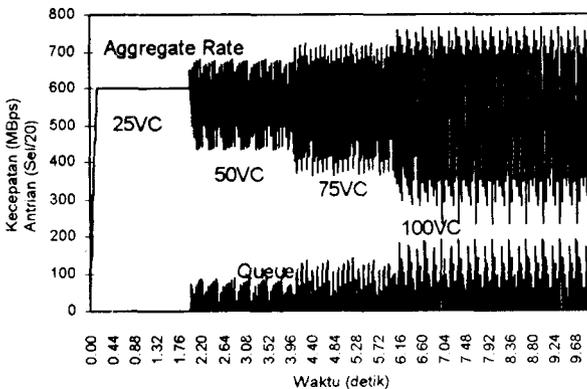
Panjang antrian sesaat (Q_T) maupun panjang antrian keadaan seimbang (Q_{ss}) tidak begitu besar mengingat kecepatan transmisi ($\mu = 155$ Mbps). Pemanfaatan lebar pita jaringan masih cukup tinggi ($>90\%$) pada hubungan virtual sebanyak 20 buah.

Selanjutnya kita tinjau jika kecepatan transmisi beroperasi pada kecepatan 600 Mbps, batas ambang ($Q_T = 10$ sel), waktu *update* ($\Delta_j = 5$ ms), untuk jumlah hubungan berturut turut 25 VC, 50 VC, 75 VC dan 100 VC yang masing-masing aktif pada 0, 2,4 dan 6 detik (gambar 9).

Parameter gambar 9		
(j = 1,2,3.....100)		
$\Delta_j = 0.005$ s	$Q_T = 10$ sel	
$R_{ceil}^j = 24$ Mbps	$\tau_j = 0.010$ detik	$v_j = 2$ Mbps
$\sigma_j = 1$	$A_j \Delta_j = 0.860$ Mbps	$\Gamma_j \Delta_j = 0.008$



Gambar 9a Respons kecepatan grup untuk hubungan virtual (total 100VC) pada $\mu = 600$ Mbps, $Q_T = 10$ sel dan $\Delta_j = 0.005$ detik.



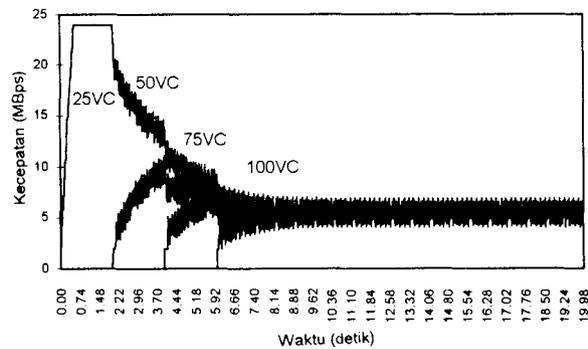
Gambar 9b Respons kecepatan aggregate dan panjang antrian untuk hubungan virtual (total 100VC) pada $\mu = 600$ Mbps, $Q_T = 10$ sel dan $\Delta_j = 0.005$ detik

Keadaan yang sama dialami seperti pada kecepatan transmisi $\mu = 155$ Mbps, tetapi fluktuasi kecepatan cukup singkat dengan amplitudo osilasi yang relatif besar (gambar 9a). Panjang antrian sesaat dan panjang antrian

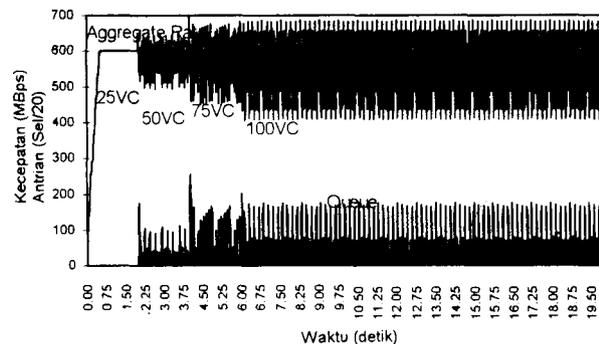
keadaan mantap juga sangat besar. Demikian pula pemanfaatan lebar pita jaringan mulai menurun ($< 90\%$) untuk hubungan dengan 75VC dan 100VC. Jadi, dengan mempertahankan batas ambang di *buffer switch* yang relatif kecil dan juga waktu *update* yang relatif singkat jika kita gunakan $\mu = 600$ Mbps, dapat disimpulkan bahwa jumlah hubungan sangat terbatas (dengan memperhatikan performansi) maksimum adalah 50VC.

Memperbaiki performansi dilakukan dengan menambahkan batas ambang dari panjang antrian di *buffer switch*, yaitu $Q_T = 100$ sel, dan juga waktu *update* ($\Delta_j = 0.010$ detik).

Parameter dari gambar 10	
(J = 1,2,3.....100)	
$\mu = 600$ Mbps	$\tau_j = 0.010$ detik $v_j = 2$ Mbps
$\sigma_j = 0.6$	$Q_T = 100$ sel $R_{ceil}^j = 24$ Mbps
$\Delta_j = 0.010$ detik	$A_j \Delta_j = 0.86$ Mbps $\Gamma_j \Delta_j = 0.008$



Gambar 10a Respons kecepatan grup untuk hubungan virtual (total 100VC) pada $\mu = 600$ Mbps, $Q_T = 100$ sel dan $\Delta_j = 0.010$ detik



Gambar 10b Respons kecepatan aggregate dan panjang antrian untuk hubungan virtual (total 100VC) pada $\mu = 600$ Mbps, $Q_T = 100$ sel dan $\Delta_j = 0.010$ detik

Dengan parameter seperti di atas, dihasilkan simulasi dari kecepatan pengiriman sumber dan panjang antrian di *buffer* seperti pada gambar 10a dan gambar 10b.

Keseimbangan pada kecepatan dengan jumlah total hubungan sebanyak 100VC menghasilkan waktu respons yang relatif lama ($t_s \approx 9.75$ detik); perhatikan tabel 7, dibandingkan dengan kondisi sebelumnya ($\Delta_j = 0.005$ detik, $Q_T=10$ sel). Akan tetapi, fluktuasi kecepatan yang terjadi cukup lambat, demikian pula besarnya amplitudo osilasi relatif kecil

Tabel 7 Pengaruh perubahan μ , Δ_j dan Q_T

parameter \ item	$\mu = 155$ Mbps $\Delta_j = 0.005$ detik $Q_T = 10$ sel	$\mu = 600$ Mbps $\Delta_j = 0.005$ detik $Q_T = 10$ sel	$\mu = 600$ Mbps $\Delta_j = 0.010$ detik $Q_T = 100$ sel
t_s	8.5 detik	7.43 detik	9.75 detik
Σj	20 VC	100 VC	100 VC
Efisiensi	93 %	83%	92 %
Q_i	~ 400 sel	~ 3000 sel	~ 1500 sel

Kecepatan *aggregate* dan panjang antrian (gambar 10b) ternyata lebih baik. Pemanfaatan lebar pita di jaringan masih tinggi (>90%) hingga jumlah hubungan sebanyak 100VC dan panjang antrian yang terjadi masih relevan pada kecepatan transmisi ($\mu = 600$ Mbps). Perhatikan tabel 7.

5 Kesimpulan

Setelah dilakukan simulasi dengan beberapa parameter yang digunakan, ada beberapa hal yang dapat disimpulkan.

1. Algoritma adaptif dapat digunakan untuk mengendalikan kecepatan sumber pengiriman berupa sel-sel ATM ke *node* tunggal yang berkonfigurasi *single bottle-neck* dengan cara pemilihan parameter-parameter penguatan dan peredaman sehingga karakteristik *transient* dari respons kecepatan dapat memenuhi kriteria kestabilan dan efisiensi lebar pita yang disediakan jaringan.
2. Sifat adil dalam hubungan banyak untuk pembagian lebar pita yang disediakan oleh jaringan ditentukan oleh besarnya bobot positif dan lebar pita minimum yang diberikan pada tiap VC, dengan mengubah rasio penguatan terhadap peredaman dihasilkan waktu respon yang memenuhi untuk aplikasi *transfer file*.

3. Variasi *delay* propagasi untuk hubungan virtual pada jaringan akses menghasilkan pergeseran kurva respons masing-masing VC sebesar setengah *round trip time* dan dapat mengeliminasi terjadinya panjang antrian sesaat.
4. Sifat kekokohan dalam simulasi dapat diperlihatkan dengan bertambahnya jumlah hubungan virtual (lebar pita minimum untuk masing-masing VC adalah 2 Mbps) dengan mempertahankan pemanfaatan lebar pita di jaringan di atas 90%. Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah:

- kecepatan transmisi jaringan menentukan kemampuan jumlah hubungan *virtual* yang dapat ditangani (155 Mbps untuk 20VC dan 600 Mbps untuk 100VC).
- penambahan waktu *update* dan batas ambang panjang antrian akan memperbaiki kemampuan jumlah hubungan virtual yang dapat ditangani oleh jaringan.

6 Daftar pustaka

1. Rajesh. P and Rajeev. A, Feedback Based Flow Control of B-ISDN/ ATM Network, *IEEE Journal on Selected Area in Communication*, Vol 13, No 7, p 1252-1266, (September 1995).
2. F.Bonomi and J.B. Seery, Adaptive Algoritma for Feedback-Based Flow Control in High-Speed, Wide-Area ATM Network, *IEEE Journal on Selected Area in Communications*, Vol 13, No 7, p 1267-1283, (September 1995).
3. N.YIN and M.G. HLUCHYJ, *On Closed Loop Rate Control for ATM Cell Relay Networks*, IEEE INFOCOM'94, Toronto, p.99-108, (1994).
4. Alcatel, Product Description SI 3BP00052FBAA TQZZAA Ed 01, *Evolution*, p 1-6, (1996).
5. Bharat. Doshi and Han Q.Nguyen, Congestion Control in ISDN Frame Relay Network, *AT&T Technical Journal*. Vol 67, p 35-46, (Nopember- December 1988).
6. Ogata. K, *Modern Control Engineering*, Prentice -Hall of India, New Delhi, (1980).