

Kestabilan Sistem dalam Skema AQM Aliran TCP pada Suatu Router

Adiwijaya

Program Perkuliahan Dasar dan Umum -- STT Telkom Bandung
Jl. Telekomunikasi no. 1 Dayeuh Kolot Bandung 40257
email: adw@sttelkom.ac.id

Abstrak

Pada pembangunan suatu jaringan komputer senantiasa disertai dengan beberapa permasalahan. Salah satunya adalah masalah kongesti. *Active Queue Management (AQM)* merupakan sebuah mekanisme yang digunakan dalam menghindari kongesti. Makalah ini membahas tentang kestabilan suatu sistem lup tertutup aliran TCP dengan menggunakan skema AQM. Langkah pertama yang dilakukan adalah memandang skema AQM sebagai masalah kontrol umpan balik. Akhirnya, makalah ini akan membandingkan antara pengontrol PI dan pengontrol PID sebagai suatu pengontrol AQM. Masalah kontrol umpan balik tersebut disimulasikan dengan menggunakan MATLAB 6.5, sehingga diperoleh suatu pengontrol AQM yang memiliki batas kestabilan yang besar.

Abstract

On developing computer networks, it is followed by several problems. Among the problems is congestion. *Active Queue Management (AQM)* is a mechanism for congestion avoidance. This paper focused on stability margin of closed loop system of TCP flows using AQM scheme. The first step was considering AQM problem as feedback control problem. Finally, this paper compares PI controller and PID controller as an AQM controller. The feedback control problem was simulated using MATLAB 6.5, therefore an AQM controller with large stability margin was found.

Keywords: AQM, TCP flows, link capacity, PI controller, PID controller

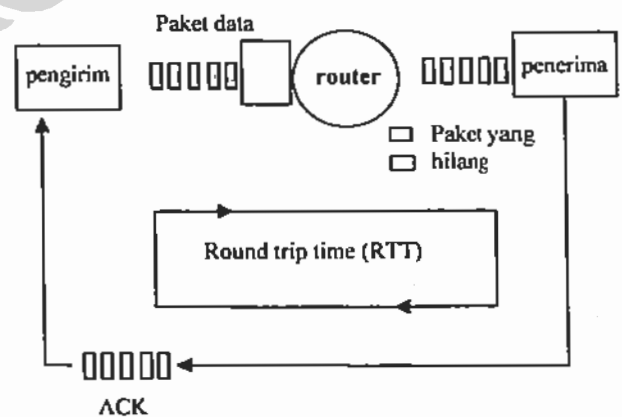
1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan komputer saat ini, komunikasi antar komputer yang berdiri sendiri telah melahirkan teknologi jaringan komputer. Router merupakan perlengkapan jaringan yang digunakan untuk menghubungkan antar jaringan yang berbeda [1]. Tugas utama router adalah *switching* paket dari pengirim ke penerima (gambar 1).

Ketika paket yang masuk memiliki kecepatan yang lebih besar daripada kemampuan router untuk meneruskan pada *output link*, ukuran antrian akan naik sehingga melebihi kapasitas *buffer*, ini mengakibatkan terjadi kehilangan paket. Fenomena ini dinamakan kongesti. *Transmission Control Protocol (TCP)* merupakan protokol (media pengirim paket) yang dapat mendeteksi kehilangan paket. Kehilangan paket ini diinterpretasikan sebagai indikasi telah terjadi kongesti pada router.

Setiap paket yang hilang akan diberi tanda, kemudian penerima mengirimkan *acknowledgment (ACK)* kepada pengirim. Setelah pengirim menerima ACK sebagai konfirmasi penerimaan paket, jika ada

paket hilang (bertanda) maka pengirim akan mengirimkan kembali paket bertanda tersebut. Aliran TCP didefinisikan sebagai hasil skema pengklasifikasian dari suatu paket informasi yang dikirim, sehingga paket tersebut akan menuju pada *node* tertentu dalam router tersebut [3].



Gambar 1. Ilustrasi pengiriman paket pada router [2].

AQM merupakan mekanisme pembuangan paket untuk antrian yang mendukung mekanisme kontrol kongesti *end-to-end* (seperti TCP) pada suatu jaringan komputer [4]. Pada ilustrasi diatas, *round-trip time* (RTT) merupakan sebuah ukuran waktu tunda sehingga pengirim menerima ACK (respon yang dikirim penerima untuk mengindikasikan kesuksesan penerimaan paket informasi). Dengan demikian, waktu saat pengirim mendeteksi adanya paket yang hilang adalah berbeda dengan waktu saat kehilangan terjadi sebenarnya. Perbedaan waktu inilah yang dinamakan waktu tunda.

Suatu skema AQM harus memelihara kestabilan sistem lup tertutup dalam menghadapi kondisi jaringan yang bermacam-macam. Kondisi jaringan tersebut diantaranya berupa variasi dalam jumlah aliran TCP dan kapasitas *link router*. Kedua parameter ini mempunyai dampak langsung pada kestabilan dan performansi *steady-state*. Hal inilah yang melatarbelakangi penggunaan beberapa pengontrol klasik sebagai pengontrol AQM dalam menghindari kongesti.

Pada makalah ini, seperti pada referensi [2], [5], dan [6], perilaku aliran TCP dibangun seperti model aliran fluida. Langkah pertama dilakukan adalah memandang perilaku aliran TCP yang melalui suatu router, sebagai sebuah sistem umpan balik. Selanjutnya, mendesain pengontrol Proporsional-Integral (PI), dan pengontrol Proporsional-Integral-Derivatif (PID) sebagai pengontrol AQM yang menstabilkan plant nominal. Akhirnya, kami akan menganalisis kestabilan sistem lup tertutup terhadap perubahan parameter jumlah aliran TCP dan kapasitas *link router*.

2. SISTEM UMPAN BALIK ALIRAN TCP

Kami memisalkan sebuah hubungan pengirim dan penerima melewati sebuah *bottleneck router*. Telah dijelaskan pada [5], dinamik ukuran *window* W dan panjang antrian q dapat ditulis bentuk :

$$\dot{W}(t) = \frac{1}{R(t)} - \frac{W(t)W(t-R(t))}{2R(t-R(t))} p(t-R(t))$$

$$\dot{q}(t) = \begin{cases} -C + N \frac{W(t)}{R(t)} & \text{jika } q > 0 \\ \max \left\{ 0, -C + N \frac{W(t)}{R(t)} \right\} & \text{jika } q = 0 \end{cases} \quad (1)$$

dimana:

- W = Rata-rata ukuran *TCP window* (paket)
- Q = Rata-rata panjang antrian (paket)
- $R(t)$ = Round Trip Time (detik)

- C = Kapasitas *link* (paket/detik)
- N = Jumlah aliran TCP
- P = peluang kehilangan paket

Dengan *small-signal linearization* [7], persamaan tersebut dihipotesis dalam bentuk linear. Seperti telah dijelaskan pada [2], bentuk pelinearan disekitar titik kesetimbangan (W_0, q_0, p_0) ditulis dalam bentuk:

$$\delta \dot{W}(t) = -\frac{N}{R_0^2 C} (\delta W(t) + \delta W(t-R_0)) - \frac{1}{R_0^2 C} (\delta q(t) - \delta q(t-R_0)) - \frac{R_0 C^2}{2N^2} \delta p(t-R_0) \quad (2)$$

$$\delta \dot{q}(t) = \frac{N}{R_0} \delta W(t) - \frac{1}{R_0} \delta q(t),$$

dimana δW , δq , dan δp merupakan perubahan ukuran *window*, perubahan panjang antrian, dan perubahan peluang kehilangan disekitar titik kesetimbangan.

Berikutnya, kami akan membawa persamaan (2) pada domain frekuensi. Dengan menggunakan transformasi Laplace, persamaan tersebut dapat ditulis menjadi:

$$s \delta W = -\frac{N}{R_0^2 C} (\delta W + \delta W e^{-R_0 s}) - \frac{1}{R_0^2 C} (\delta q - \delta q e^{-R_0 s}) - \frac{R_0 C^2}{2N^2} \delta p e^{-R_0 s} \quad (3)$$

$$s \delta q = \frac{N}{R_0} \delta W - \frac{1}{R_0} \delta q,$$

dimana $s = \omega i$.

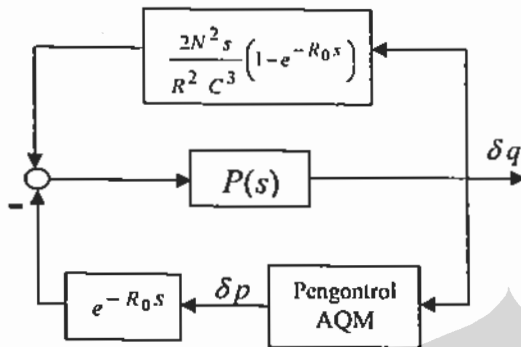
Seperti telah dijelaskan pada [2], misalkan:

$$P(s) = \frac{\frac{C^2}{2N}}{\left(s + \frac{2N}{R_0^2 C} \right) \left(s + \frac{1}{R_0} \right)} \quad (4)$$

sebagai plant nominal bagi sistem umpan balik. Dengan sedikit manipulasi, persamaan (3) dapat digambarkan dalam bentuk diagram blok seperti dibawah ini.

Waktu tunda $e^{-R_0 s}$ pada plant nominal dihipotesis dengan hampiran Padé [2]. Hampiran ini mengakibatkan fungsi *delay* tersebut mempunyai *magnitude* sama dengan satu. Sedangkan pengontrol yang akan digunakan pada sistem kontrol umpan balik sebagai pengontrol AQM adalah pengontrol

Proporsional-Integral (PI) dan pengontrol Proporsional-Integral-Derivatif (PID) (gambar 2).



Gambar 2. Sistem kontrol umpan balik.

3. KESTABILAN SISTEM

Pada bagian ini, kami akan menganalisis kestabilan sistem lup tertutup dengan menggunakan dua pengontrol AQM yang berbeda. Pengontrol tersebut adalah pengontrol PI dan pengontrol PID. Misalkan:

$$V(s) = \frac{P(s)}{1 + P(s)C(s)e^{-R_0s}} \quad (5)$$

dimana $P(s)$ adalah plant nominal dan $C(s)$ merupakan fungsi transfer bagi pengontrol AQM. Proposisi berikut merupakan alat untuk menunjukkan kestabilan bagi sistem lup tertutup diatas.

Proposisi :

Diberikan parameter jaringan $\eta = (N, C, T_p)$ dan titik kesetimbangan (W_0, q_0, p_0) , sistem kontrol AQM pada gambar 2 adalah stabil jika:

- (i) $C(s)$ menstabilkan plant nominal tunda $P(s)e^{-sR_0}$
- (ii) $\Delta(s) = \frac{2N^2s}{R_0^2C^3}(1 - e^{-R_0s})$ merupakan gain stabil, yaitu : $|\Delta(s)l'(s)| < 1$. untuk setiap $\omega > 0$,

bukti pada [1].

Fungsi transfer pengontrol AQM yang digunakan adalah :

a. Pengontrol PI, berbentuk :

$$C_{PI}(s) = K \left(\frac{R_0^2C}{2N} + \frac{1}{s} \right) \quad (6)$$

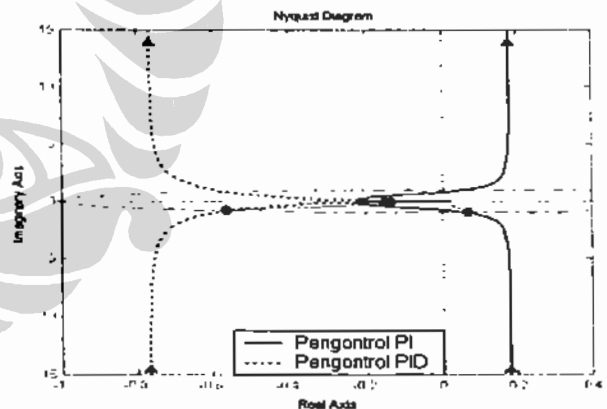
b. Pengontrol PID, berbentuk:

$$C_{PID}(s) = K \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (7)$$

Untuk keperluan simulasi, parameter jaringan yang digunakan (sebagian diambil dari [5]) adalah :

- Kapasitas link (C) : 3750 pk/dtk
- Waktu tunda awal (R₀) : 0,246 detik
- Jumlah aliran TCP (N) : 120 aliran
- Waktu integral (T_i) : 0,5 detik
- Waktu turunan (T_d) : 0,01 detik
- Proportional Gain (K) : 2,96 x 10⁻⁵

Untuk melihat kestabilan dari plant nominal tunda, dapat ditunjukkan oleh diagram *nyquist* di gambar 3.



Gambar 3. Diagram nyquist plant nominal tunda.

Dengan memperhatikan diagram *nyquist* [8], setiap pengontrol AQM memberikan plant nominal tunda yang stabil. Hal ini menunjukkan bahwa syarat proposisi kestabilan bagian pertama telah terpenuhi oleh setiap pengontrol AQM.

Gambar 4 menunjukkan respon frekuensi dari $|\Delta(s)l'(s)|$ untuk setiap pengontrol. Dari gambar tersebut, kita dapat melihat bahwa syarat kedua dari

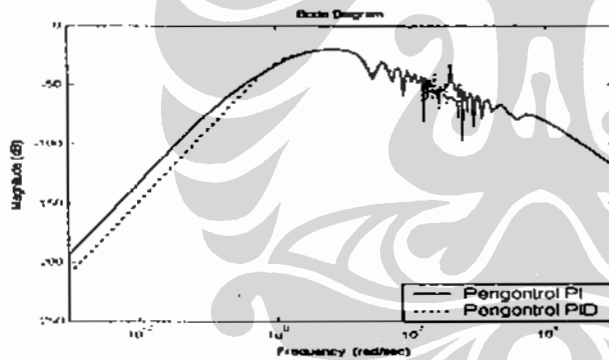
proposisi kestabilan yaitu $|\Delta(s)V(s)| < 1$, telah terpenuhi untuk setiap pengontrol.

Selanjutnya, table 1 merepresentasikan perubahan batas kestabilan bagi setiap pengontrol sesuai dengan

perubahan parameter yang terjadi (data diperoleh dengan bantuan MATLAB 6.5).

Tabel 1. Batas magnitude dan phase untuk setiap pengontrol AQM.

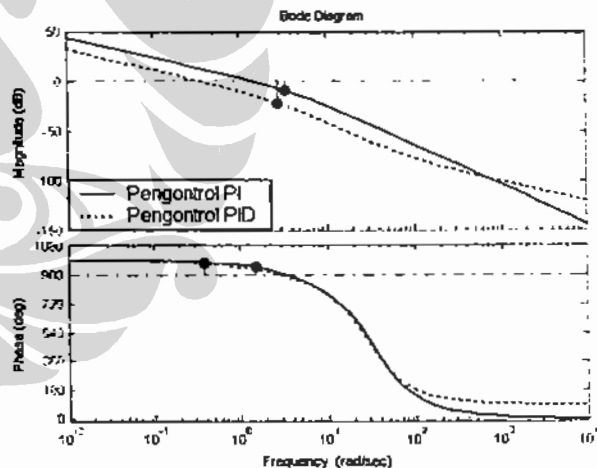
| Parameter tetap | Pengontrol AQM | Perubahan Parameter | Batas (<i>margin</i>) (magnitude ; phase) |
|----------------------|----------------|---------------------|--|
| C = 3750 paket/detik | PI | N= 60 aliran | (21,4 ; 95,7) |
| | | N= 120 aliran | (16,5 ; 93,8) |
| | | N= 180 aliran | (12,7 ; 76,5) |
| | PID | N= 60 aliran | (22,3 ; 72,5) |
| | | N= 120 aliran | (17,4 ; 55,8) |
| | | N= 180 aliran | (13,4 ; 40,3) |
| N = 120 aliran | PI | C=2750 paket/detik | (9,03 ; 97,5) |
| | | C=3750 paket/detik | (16,5 ; 93,8) |
| | | C=4750 paket/detik | (21,3 ; 47,9) |
| | PID | C=2750 paket/detik | (22,3 ; 72,5) |
| | | C=3750 paket/detik | (17,4 ; 55,8) |
| | | C=4750 paket/detik | (13,4 ; 40,3) |



Gambar 4. Respon frekuensi $|\Delta(s)V(s)|$.

Terlihat bahwa dengan pengontrol PID dalam skema AQM memiliki batas *magnitude* dan *phase* yang sama, meskipun parameter berubah. Lain halnya dengan pengontrol PI, saat sistem lup tertutup menggunakannya, sistem memiliki batas *magnitude* dan *phase* yang berbeda untuk setiap parameter yang berbeda.

Hal lain yang cukup menarik, saat sistem dengan parameter kapasitas *link router* yang kecil, batas kestabilan sistem jauh lebih besar saat sistem menggunakan pengontrol PID daripada pengontrol PI. Hal ini diilustrasi pada gambar 5, yaitu saat C = 2750 paket/detik dan N = 120 aliran.



Gambar 5. Batas kestabilan sistem

5. KESIMPULAN

Pengontrol PI dan pengontrol PID, keduanya dapat digunakan dalam skema AQM, hal ini ditunjukkan dengan terpenuhinya proposisi kestabilan untuk setiap pengontrol tersebut. Skema AQM aliran TCP pada sebuah *router* dengan menggunakan pengontrol PID memiliki kestabilan yang lebih kokoh (*robust*) terhadap perubahan parameter.

DAFTAR ACUAN

- [1] K. Pentikousis, *Principles of Network System Design*, [www.acm.org / crossroads / columns/ connector/ may2001.html](http://www.acm.org/crossroads/columns/connector/may2001.html).
- [2] Adiwijaya, R. Saragih, dan B. Riyanto T., *Sistem Kontrol Umpan Balik untuk Aliran TCP pada Router Suatu Jaringan Komputer*, Jurnal Telekomunikasi, Vol. 8 no. 2, Desember 2003
- [3] D. E. Comer, *Internetworking with TCP/IP: Principle, Protocols, and Architectures*, Ed. 4, Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2000, Vol. 1
- [4] K. Pentikousis, *Active Queue Management*, diperoleh dari : [http://www.acm.org/ crossroads/columns//connector /july2001.html](http://www.acm.org/crossroads/columns/connector/july2001.html).
- [5] C.V. Hollot, V. Misra, D.Towsley, dan W.B. Gong, *Analysis and Design of Controllers for AQM Routers Supporting TCP Flows*, IEEE Transaction on Automatic Control, Vol 47 no. 6, pp945 – 961, Juni, 2002.
- [6] V. Misra, W .B. Gong, dan D.Towsley, *Fluid-based Analysis of a Network of AQM routers Supporting TCP Flows with an Application to RED*, Proceeding of ACM/SIGCOMM, 2000.
- [7] G. F. Franklin, J.D. Powell, dan A. E. Naeini, *Feedback Control of Dynamic Systems*, 4th ed., Prentice-Hall, New Jersey, 2002.
- [8] K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 3rd ed., Prentice-Hall, New Jersey, 1997.