OPTIMALISASI VIDEO STREAMING DENGAN MENGGUNAKAN TEKNOLOGI ADAPTIVE MEDIA PLAYOUT, PACKETS SCHEDULING DAN CHANNEL-ADAPTIVE

Oleh :

Agustini Rodiah Machdi

Abstrak

Video streaming adalah interaksi memutar file video antara 2 atau lebih, di dalamnya terdapat server sebagai pemutar *video* dan *client* sebagai pemirsa atau yang menonton video tersebut, dimana data video tersebut mengalami proses kompresi (*encode* dan *stream*).

Kemajuan terbaru dalam teknologi *video streaming* adalah teknologi *channel-adaptive*. *Adaptive* media *playout* di sisi client dapat digunakan untuk mengurangi *buffering* dan mengurangi nilai rata-rata *latency*, serta memberikan batasan tingkat *skalabilitas*. *Rate-distorsi* dioptimalkan melalui penjadwalan paket, dengan menentukan paket terbaik untuk dikirim sehingga mengurangi *distorsi* terkait dengan pengiriman paket tersebut, *dependensi interpacket*, dan keberhasilan transmisi data yang sebelumnya.

Channel-adaptive paket sangat tergantung pada kontrol sehingga meningkatkan ketahanan terhadap kesalahan *streaming video* dan mengurangi atau menghilangkan terjadinya transmisi ulang paket.

Kata kunci : *streaming, media server, encoder, kompresi, dekompressi, channel-adaptive, rate-distortion, packets-scheduling, video, audio, packet-loss, retransmission, error robustness, adaptive media playout.*

1. PENDAHULUAN

Video streaming merupakan konten yang dikirim dalam bentuk terkompresi (*encode* dan *stream*) melalui Internet dan ditampilkan oleh penampil secara *real time*. Dengan streaming video atau media *streaming*, pengguna *Web* tidak harus menunggu untuk *mendownload file* untuk melihat konten video. Sebaliknya, media dikirim dalam data stream secara kontinyu dan instan.

Pengguna membutuhkan player yang merupakan program khusus yang dengan fungsi *decopmpressi* dan mengirimkan data video dengan tampilan dan data *audio* ke *speaker*.

Video streaming biasanya dikirim dari file video rekaman ataupun secara *live*, dan dapat didistribusikan sebagai bagian dari feeding siaran langsung. Dalam siaran langsung, *sinyal video* diubah menjadi sinyal digital dekompresi (*encode* dan *stream*) dan dikirim dari *server Web* khusus yang mampu melakukan *multicast*, berupa *server* yang berkemampuan melakukan pengiriman file sama untuk beberapa pengguna pada waktu bersamaan.

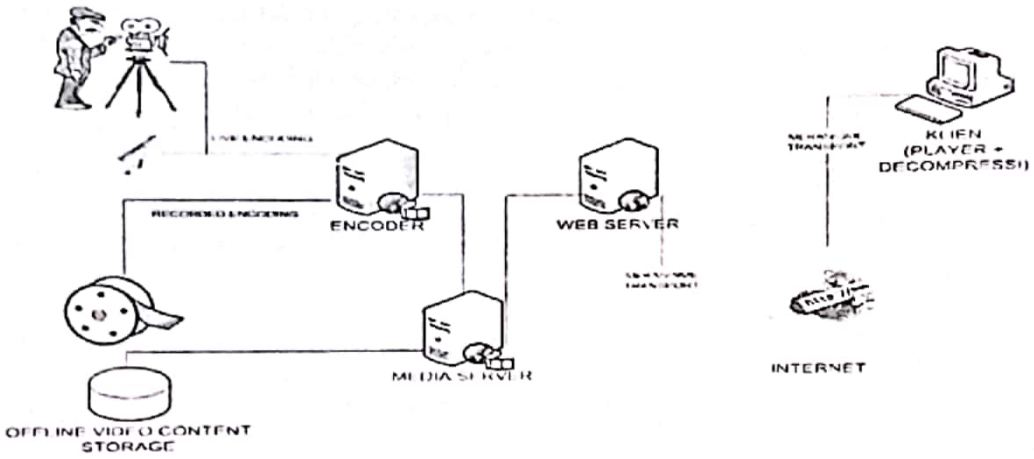
Contoh pemakaian adalah *youtube*, situs yang terkenal didunia dimana ada jutaan bahkan lebih video didalamnya.namun sistem yang dipakai oleh *youtube* adalah *VIDEO ON DEMAN* bukan *LIVE VIDEO STREAMING*. Jadi video hanya tersimpan di mesin server

Scanned with CamScanner

dan apabila ada permintaan pemutaran video akan otomatis terputar di *www.youtube.com*.

Sebuah sistem *video streaming* memiliki empat komponen utama, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1, yaitu :

1) Aplikasi *encoder* (sering disebut "produser" dalam system komersial) yang memampatkan sinyal video dan audio dan meng-upload–nya ke media server.
2) Media server yang menyimpan dekompresimedia stream dan mengirimkan berdasar pada permintaan, media *server* ini harus mampu melayani ratusan stream secara bersamaan.
3) Mekanisme transportasi yang mengirimkan paket dari media server ke client untuk layanan *video* yang terbaik bagi para klien.
4) Dekompresi pada aplikasi client dapat merender paket *video* dan *audio* dan menerapkan control *interaktif* bagi klien. Untuk kinerja end-to-end terbaik, komponen ini harus dirancang dan dioptimalkan.



Gambar 1. Komponen Video Streaming

Sejak tahun 1995, internet *video streaming* telah mengalami pertumbuhan yang *fenomenal*. Lebih dari satu juta jam *content media streaming* yang diproduksi setiap bulan dilayani oleh ratusan ribu streaming *media server*.

Web browser merupakan player media streaming nomor satu yang memiliki lebih dari 250 juta pengguna yang terdaftar, dengan lebih dari 200.000 pengguna dengan instalasi baru setiap harinya. Hal ini terjadi meskipun terdapat kesulitan dalam *mentransmisikan* data paket melalui Internet, karena adanya *variabilitas di throughput, delay* dan rugi-rugi.

Makalah ini membahas metode baru dalam *video streaming* yang bertujuan untuk mengurangi *latency* yang melekat pada sistem media stream *packetized* melalui jaringan *paket switching*.

Tidaklah mengherankan bahwa tantangan ini telah menarik upaya penelitian yang cukup besar, khususnya diarahkan pada efisiensi , daya tahan dan pengkodean *scalable video* dan transmisi data [1] [2].

Klien *video streaming* biasanya menerapkan deteksi *error* dan teknik penyembunyian untuk mengurangi dampak paket yang hilang [3]. Kecuali dipaksa oleh *firewall*, sistem *streaming* media tidak mengandalkan TCP

Scanned with CamScanner

untuk menpangkut media tetapi menerapkan level aplikasi sendiri sebagai mekanisme transport untuk memberikan yang terbaik pengiriman paket *end-to-endsaat* harus beradaptasi dengan kondisi jaringan berubah. Isu umum termasuk *retransmisi* dan *buffering* paket [4], membangkitkan paket *paritycek* [5], rate control TCP-friendly [6], dan *adaptasi receiver-driven* untuk *multicasting* [7]. Arsitektur jaringanbaru, seperti *DiffServ* [8] dan transmisi keragaman pathdalam jaringan paket [9], juga termasuk dalam kategori ini.

Media *server* dapat membantu menerapkan mekanisme transport yang cerdas,dengan mengirimkan paket yang tepat pada waktu yang tepat, tetapi jumlah perhitungan yang dapat dilakukan setiap jalur media sangat terbatas karena banyaknya aliran yang akan dilayani secara bersamaan.

Sebagian besar beban terdapat pada sistem transmisi yang efisien dan kuat, oleh karena itu pada aplikasi *encoder* ditambahkan *fitur* agar dapat beradaptasi dengan berbagai kondisi saluran sehingga tidak mengandalkan pada media *server*. Representasi yang memungkinkan nilai *skalabilitas* sangat penting untuk dapat beradaptasi dengan berbagai *throughput* jaringan tanpa memerlukan perhitungan pada *server* media.

Teknik *multipel representasi redun a*dalah cara mudah untuk mencapai kinerja ini, dan teknik ini secara luas digunakan dalam sistem komersial [4]. Merakit dikompresi *dynamic bit-stream* tanpa terjadinya *drift*. *S-frame* [10] dan *SP-frame* [11] telah diusulkan. Representasi *embedded scalable video* seperti FGS [12] sangat baik dalam tingkat adaptasi, namun masih sangat kurang efisien, terutama ada *bit rate* rendah.

Representasi *embedded scalable* merupakan kasus khusus dari multiple deskripsi *coding* dari *video* dikombinasikan dengan *packet path diversity* [9] [13]. Pada akhirnya *source coder* bisa melakukan *trade-off* dengan beberapa efisiensi kompresi untuk meningkatkan daya tahan terhadap kesalahan [14]. Untuk *encoding live video streaming*, umpan balik informasi dapat digunakan untuk beradaptasi terhadap daya tahan kesalahan, menghasilkan pengertian tentang channel-*adaptive source coding*. Seperti skema telah terbukti memiliki kinerja *superior* [15]. Untuk *precompressed video* yang disimpan di media server, teknik *channel-adaptive source coding* dapat dilakukan melalui urutan perakitan paket secara *on the fly*.

Baru baru ini kemajuan yang paling menarik dalam teknologi video streaming adalah adanya anggapan bahwa beberapa komponen system bersama-sama dan bereaksi terhadap packet loss dan delay, sehingga melakukan channel-adaptive streaming. Dalam makalah ini, akan ditinjau beberapakemajuan terbaru dalam channel-adaptive streaming.

Sebagai contoh suatu teknik baru yang berbasis receiver, yang selanjutnya akan dibahas pada bagian 2, untuk mengurangi delay yang ditunjukkan dengan adanya *buffer* pada kliendan memberikan tingkat *skalabilitas* dalam nilai rentang kecil.

Kemudian di Bagian 3 dibahas mengenai peninjauan atas optimalisasi rate-distortion pada penjadwalan paket sebagai bagian yang paling penting dalam mekanisme transportasi.

Sebuah contoh suatu teknik *encoder-server channel-adaptive* yang dibahas adalah ide tetang ketergantungan kontrol paket untuk mencapai *latency* sangat rendah yang diuraikan dalam Bagian 4.

Semua teknik ini berlaku untuk *wireline* serta jaringan *nirkabel*.

2. *ADAPTIVE MEDIA PLAYOUT* (AMP)

AMP adalah variasi control kecepatan *play out* media yang dikendalikan klien. Hal ini memungkinkan klien menyesuaikan *data rate* tanpa keterlibatan langsung dari *server*. Sebuah AMP-enabled klien mengontrol tingkat *playout video* sesuai dengan skala durasi *framevideo* yang ditampilkan[8].

Untuk sinyal audio, pengolahan teknik seperti enhanced waveform similarityoverlap-add (WSOLA) *time-scale modification algorithm* [4] memungkinkan *latency* bernilai rendah,

Scanned with CamScanner

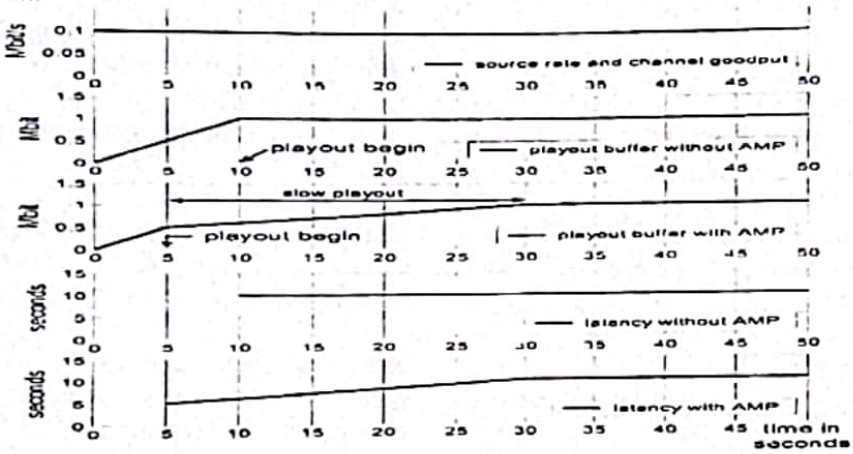
perubahanpaket-by-paket dalam kecepatan play out sambil menjaga pitchasliaudio.
Seperti yang diamati dalam [10], AMP dapat digunakan langsung sebagai bentuk dari *skalabilitassource-rate*. Ketika sebuah program media yang tersimpan di-*encode* pada tingkat resolusi yang lebih tinggi dari pada koneksi pengguna, klien bisa memperlambat laju *playout* sehingga hanya mengkonsumsi data pada tingkat resolusi yang sesuai dengan saluran *bandwidth* yang dimiliki klien.

Dalam pembahasan berikut lebih terokus pada kasus dimana tingkat *fluktuasi* saluran transmisi hanya cukup untukstream yang diinginkan sumber, tapi *buffering* harus mampu menyerap dips jangka pendek sesuai kapasita saluran.

Dalam hal ini, kualitas video sangat tergantung pada ukuran *buffer* dan keseuaian *delay*. Ada dua *buffering delay* yang dialami oleh pengguna yaitu : *prerolldelay* dan *viewing latency*.

Prerolldelay adalah waktu yang digunakan untuk proses buffering pada klien untuk menujuk kondisi yang diinginkan sehingga *playout* dapat dimulai sesuai permintaan *streaming* pengguna.

Viewinglatency, lebih terlihat dalam kasus *live streaming*, merupakan interval waktu memisahkan acara *live* danwaktu tayang pada klien.



Gambar 2. AMP-*initial*.

Untuk *Preroll delay* rendah, *playout* dimulai setelah sejumlah kecil jumlah *frame buffer* pada klien. *Slow playout* memungkinkan buffer untuk melaju ke tingkat target yang lebih aman untuk melakukan *playout* yang terjadi dari waktu ke waktu. Dalam contoh ini, *Frame Periode* membentang sebesar 20% selama periode *playout* lambat.

Gambar. 2 menggambarkan AMP-initial. Plot grafik paling atas pada Gambar. 2 menunjukkan asumsi *source rate* dan *channel good put* sebagai fungsi dari waktu. Untuk tujuan ilustrasi, *source rate, channel goodput.* dan tingkat konsumsi dari proses playout dikecepatan normal *playout* adalah 0,1Mbps.

Plot grafik kedua di Gambar. 2 menunjukkan isian buffer klien sebagai fungsi dari waktu untuk kasus playout non *adaptive.*

Diasumsikan tingkat target *buffer* adalah 1Mb, menghasilkan waktu preroll 10 detik pada contoh ini.

Plot grafik yang ketiga menggambarkan isian buffer klien untuk skema AMP-initial dimana playout dimulai ketika isi sanbuffer hanya setengah tingkat dari target.

Dalam contoh ini terjadi setelah 5 second. Klien pada tahap awal mengalami slowplayout untuk meningkatkan isian buffer

Scanned with CamScanner

seiring waktu hingga mencapai target total tingkat buffer 30 second tercapai.

Dua grafik plot terbawah pada gambar. 2 menunjukkan viewing latency untuk kasus non adaptive dan adaptif. Untuk kasus non adaptive latency tetap konstan, untuk skema AMP meningkatkan latency darl 5 second pada tahap awalnya dan 10 second ketika target *levelbuffer* tercapai.

3. *RATE-DISTORTION (R-D)OPTIMIZED PACKET SCHEDULING*

Kemajuan kedua yang akan dibahas dalam adalah sebuah **teknik transportasi.** Karena *buffer playout* terbatas, dan karena ada kendala pada keterbatasan tingkat kecepatan *transmisi* yang diijinkan, pengiriman ulang paket yang hilang merupakan upaya untuk mengalihkan masuknya transmisidari paket selanjutnya dan mengurangi jumlah waktu bagi paket yang berikutnya yang harus berhasil melintasi saluran.

Sistem media *streaming* harus dapat membuat keputusan, dan karena itu, yang mengatur bagaimana mengalokasikan sumber daya transmisi antar paket adalah tugas media streaming.

Baru-baru ini karya **Chou et a**l. menyediakan kerangka kerja fleksibel untuk memungkinkan tingkat-*distorsi optimalisasi kontrol transmisi paket*[19] [20]. Sistem ini dapat mengalokasikan sumber daya waktu dan *bandwidth* antara paket dengan cara meminimalkan nilai fungsi laju *Lagrangian* dan *distorsi*. Sebagai contoh, suatu skenario di *manaframe* media berukuran seragam ditempatkan dalam paket individu, dan satu paket ditransmisikan per interval *transmisi diskrit*.

Tingkat-distorsi sistem *streaming* dioptimal - kan dengan cara memutuskan paket mana yang harus ditransmisikanpada setiap kesempatan berdasarkan tenggat waktu paket, sesuai urut-urutan transmisi, statistik saluran, informasi umpan balik, *packets interdependencies*, dan pengurangan distorsi dihasilkan oleh masing-masing paket jika berhasil diterima dan diterjemahkan.

Kerangka kerja ini dikemukakan dalam [19] merupakan *framework* yang *fleksibel*.

Menggunakan kerangka kerja,jadwal paket yang dioptimalkan dapat dihitung di sisi pengirimatau penerima.

Rendahnya *kompleksitas* penting untuk *implementasi streaming* berbasis *server*. sedangkan ketahanan terhadap distorsi penting untuk *implementasi* berbasis *receiver*. Fungsi *framework* disisi *adaptive* media playout, setiap penjadwalan paket bisa dioptimalkan, direkomendasikan bersamaan dengan *playout individu deadline*. Untuk itu, ukuran distorsi diperluas dengan istilah penalizes time-scale modification and delay [18].

4. *CHANNEL-ADAPTIVE PACKET DEPENDENCY CONTROL*

Untuk transmisi suara melalui *Internet latency* di bawah 100 ms sudah dapat terpenuhi, tetapi untuk *streaming video* biasa nya latency jauh lebih tinggi, walaupun teknik seperti adaptive media playout dan R-D *optimized packet scheduling* digunakan. Ini merupakan hasil dari ketergantungan antar paket karena *prediksi interframe*.

Jika sebuah isi paket, katakanlah, satu frame hilang, semua frame berikutnya yang akan *di-decoding* tergantung pada *frame* yang hilang tadi.Oleh karena itu, dalam sistem komersial. waktu dan upaya untuk pengiriman ulang paket tetap disediakan untuk menjamin penerimaan bebas kesalahan pada setiap frame, sehingga *latency* menjadi lebih tinggi.

Kontrol dependensi paket telah diakui merupakan cara yang ampuh sebagai alat untuk meningkatkan ketahanan terhadap paket error (*error-robustness*).

Dalam rangka meningkatkan *error-robustness* dan menghilangkan transmisi ulang, beberapa representasiframe tertentu telah tersimpan di *server streaming* sehingga representasi dapat dipilih yang hanya menggunakan *frame* sebelumnya sebagai acuan yang dapat diterima dengan *probabilitas* sangat tinggi.

Scanned with CamScanner

Dengan anggapan ketergantungan di seluruh paket dan kontrol dinamis ini mampu beradaptasi dengan kondisi saluran yang berbeda-beda. Dengan peningkatan *error-robustness*, kebutuhan akan transmisi ulang dapat dihilangkan. *Buffering* diperlukan hanya untuk menyerap *delay jitter* paket, sehingga waktu *buffering* dapat direduksi menjadi beberapa ratus mili detik.

Karena *trade-off* antara kesalahan-ketahanan dan efisiensi coding, di makalah ini menerapkan optimal *picture type selection* (OPTS) dalam framework Rate-Distorsion (RD), mengingat konten video, probabilitas rugi saluran dan umpan balik saluran (misalnya ACK,NACK, atau TIME-OUT). Hal ini berlaku untuk kedua *pre-encoding video offline* dan *assembling bitstreams* selama streaming.

Dalam *coding* setiap *frame*, beberapa percobaan dibuat, termasuk menggunakan I-FRAME serta *Inter-kode frame* menggunakan bingkai acuan yang berbeda dalammemori jangka panjang. *rate distortion* yang terait diperoleh dan diharapkan untuk dapat menghitung nilai untuk percobaan tertentu melalui formulasi *Lagrangian*.

Distorsi diperoleh melalui *accurate binary tree modeling* berdasar pada *channel loss rate* dan kesalahan propagasi.Jenis gambar yang optimal dipilih sedemikian rupa sehingga nilai RD minimal bisa tercapai. Bahkan tanpa retransmisi, kualitas yang baik masih bisa dipertahankan untuk *sequence video* yang dikirim melalui saluran lossy [27]. Dengan demikian *error-robustness* yang sangat baik dicapai melalui packet-dependency control yang digunakan untuk mengurangi atau bahkan sepenuhnya menghilangkan retransmission, sehingga nilai *latency* mendekati transmisi suara melalui Internet.

5. KESIMPULAN

Tiga teknologi tersebut yaitu *Adaptive Media Playout, Packets Scheduling* dan *Channel-Adaptive* yang digunakan pada *video streaming* mampu menghilangkan *packet retransmission* yang dikenal merupakan penyebab *latency* pada video *streaming*, sehingga *latency* ter-reduksi menjadi < 10 second.

Penggunaan ke tiga teknologi itu juga mampu mengurangi error dan distorsi pada transmisi video *streaming*, dengan adanya *error-robustness* yang juga mampu menghilangkan *packet retransmission*.

Yang terjadi pada *video streaming* melalui internet ini kini mampu mempunyai nilai *latency* yang sama dengan *latency* dari transmisi *voice streaming*, walaupun diakses oleh klien dengan kondisi saluran internet yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

1) M. R. Civanlar, A. Luthra, S. Wenger, and W. Zhu (eds.), *Special Issue on Streaming Video*, IEEE Trans. CSVT,vol. 11, no. 3, Mar. 2001.
2) C. W. Chen, P. Cosman, N. Kingsbury, J. Liang, and J. W. Modestino (eds.), *Special Issue on Error Resilient Imageand Video Transmission. IEEE* Journal on Selected Areain Communications, vol. 18, no. 6, June 2001.
3) Y. Wang, and Q. Zhu, "*Error control and concealment forvideo communication: a review*," Proceedings of the IEEE,vol. 86:5, p. 974-97, May 1998.
4) G. J. Conklin, G. S. Greenbaum, K. O. Lillevold, A. F. Lippman,and Y. A. Reznik, "*Video coding for streaming mediadelivery on the Internet*," IEEE Trans. CSVT, vol. 11, no. 3,pp. 269-81, Mar. 2001.
5) W. Tan, and A. Zakhor, "*Video multicast using layered FECand scalable compression*," IEEE Trans. CSVT, vol. 11, no. 3,pp. 373-87, Mar. 2001.
6) W. Tan, and A. Zakhor, "*Real-time Internet video using errorresilient scalable compression and TCP-friendly transportprotocol*," IEEE Trans. Multimedia. vol. 1, no. 2, pp. 172-86,June 1999.

Scanned with CamScanner

7) McCanne, M. Vetterli, and V. Jacobson, "*Low-complexityvideo coding for receiver-driven layered multicast*," IEEEJournal on Selected Areas in Communications, vol. 15, no. 6,pp. 983-1001, Aug. 1997.

8) J. Shin, J. Kim, and C.-C. J. Kuo, "*Quality-of-service mapping mechanism for packet video in differentiated services network*," IEEE Transactions on Multimedia, vol.3, no.2,pp.219-31, June 2001.

9) J. Apostolopoulos, T. Wong, W. Tan, and S. Wee, "*On multiple description streaming with content delivery networks*,"IEEE Infocom, July 2002.

10) N. Färber, and B. Girod, "*Robust H.263 Compatible Video Transmission for Mobile Access to Video Servers*," ProceedingsICIP 97, vol. 2, pp. 73-76, Santa Barbara, Oct. 1997.

11) M. Karczewicz, and R. Kurceren, "*A proposal for SPframes*," Proposal to H.26L, Jan. 01.

12) M. van der Schaar, and H. Radha, "*A hybrid temporal-SNRfine-granular scalability for Internet video*," IEEE Trans.CSVT, vol. 11, no. 3, pp. 318-31, Mar. 2001.

13) Y. Wang, M. Orchard, V. Vaishampayan, and A. R. Reibman, "*Multiple description coding using pairwise correlatingtransforms*," to appear in IEEE Trans. Image Processing.

14) R. Zhang, S. L. Regunathan, and K. Rose, "*Video codingwith optimal inter/intra-mode switching for packet loss resilience*," IEEE Journal on Selected Areas in Communications,vol. 18, no. 6, pp. 966-76, June 2000.

15) B. Girod, and N. Färber, "*Wireless video*," in A. Reibman,M.-T.Sun (eds.), Compressed Video over Networks, MarcelDekker, 2000.

16) Y. J. Liang, N. Färber, and B. Girod, "*Adaptive playoutscheduling using time-scale modification in packet voice communication*," Proc. ICASSP '01, Salt Lake City, May2001.

17) E. G. Steinbach, N. Färber, and B. Girod, "*Adaptive playoutfor low Latency video streaming*," Proc. International Conference on Image Processing (ICIP-01), Thessaloniki, Greece, Oct. 2001.

18) M. Kalman, E. Steinbach, and B. Girod, "*R-D Optimized Media Streaming Enhanced With Adaptive Media Playout*"in Proc. Int'l Conf. Multimedia and Exhibition, Lausanne, Switzerland, Aug. 2002.

19) P. A. Chou and Z. Miao, "Rate-distortion optimizedstreaming of packetized media," IEEE Transactionson Multimedia, February 2001. Submitted. http://research.microsoft.com/pachou

20) P. A. Chou and A. Sehgal, "*Rate-distortion optimizedreceiver-driven streaming over best-effort networks*," PacketVideo Workshop, Pittsburg, PA, April 2002.

21) T. Wiegand, N. Färber, and B. Girod, "*Error-resilient videotransmission using long-term memory motion-compensatedprediction*," Journal on Selected Areas in Communications,vol. 18, no. 6, pp. 1050–1062, June 2000.

22) ITU-T Recommendation H.263 Version 2 (H.263+), Videocoding for low bitrate communication, Jan. 1998.

23) ITU-T Video Coding Expert Group, H.26L Test ModelLong Term Number 8, July 2001, online available atftp://standard.pictel.com/video-site/h26L/tml8.doc.

24) S. Wenger, G. D. Knorr, J. Ott, and F. Kossentini, "*Errorresilience support in h.263+*," *IEEE Journal on Circuits and Systems for Video* Technology, vol. 8, no. 7, pp. 867–877,Nov. 1998.

25) S. Lin, S. Mao, Y. Wang, and S. Panwar, "*A reference pictureselection scheme for video transmission over ad-hoc networksusing multiple paths*," Proc. of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), Aug. 2001.

26) Y. J. Liang, E. G. Steinbach, and B. Girod, "Real-time voice communication over the Internet using packet path diversity,"Proceedings ACM Multimedia 2001, Oct. 2001, pp. 431–440, Ottawa, Canada.

Scanned with CamScanner

27) Y. J. Liang and B. Girod, "*Rate-distortion optimized low latency video streaming using channel-adaptive bitstream assembly*," accepted by IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Aug. 2002.

28) S. Cen, P. C. Cosman, and G. M. Voelker, "*End-to-end differentiation of congestion and wireless losses*," SPIE Multimedia Computing and Networking (MMCN2002), San Jose,CA, Jan 18-25, 2002.

29) N. Farber, B. Girod, and J. Villasenor, "Extensions of the ITU-T *Recommendation H.324 for error resilient video transmission*," IEEE Communications Magazine, vol. 36, no 6, pp. 120-128, June 1998.

PENULIS

Agustini Rodiah Machdi, ST. Staf Pengajar Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan, Bogor.

Scanned with CamScanner