

3.3.2 PM

Jaringan Aktif: Masa Depan Jaringan Komputer dan Komunikasi ?

Riri Fitri Sari
Jurusan Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta - Indonesia
School of Computing, University of Leeds

Abstrak

Makalah ini membahas tentang paradigma baru dalam jaringan komputer dan komunikasi yang disebut dengan Jaringan Aktif (*Active Networks*). Pembahasan mengenai inisiasi ide tentang Jaringan Aktif ini lima tahun yang lalu, hingga ke perluasan, diterimanya ide tersebut untuk dikembangkan oleh masyarakat komputasi jaringan komputer, dan perkembangannya dibahas dalam makalah ini. Tujuan dari penulisan makalah ini adalah membahas fakta bahwa perkembangan teknologi komputer dan komunikasi berjalan sangat cepat dan mempunyai karakteristik kemajuan yang sangat berbeda dengan ilmu-ilmu yang sudah memiliki metodologi penelitian yang mapan seperti Teknik Sipil, Ilmu Bahan, Kedokteran, Ilmu-Ilmu Sosial Ekonomi, dan ilmu lainnya. Karakteristik perkembangan ilmu pengetahuan di bidang yang telah membawa revolusi besar bagi peradaban umat manusia ini, yang menjadikan Internet sebagai tulang punggung perkembangan ekonomi, perlu di evaluasi, untuk menjadi pertimbangan bagi kebijakan Riset dan Teknologi di Indonesia.

Dari makalah ini dapat disimpulkan bahwa karakteristik dari perkembangan suatu bidang penelitian dalam bidang komputasi sangat berbeda dengan karakteristik sejarah perkembangan ilmu pengetahuan bidang-bidang lainnya.

1. Pendahuluan

Sejak awal dekade 1990an, teknologi Internet telah mengalami perubahan dari bentuk medium riset menjadi alat untuk perdagangan dan penyebaran informasi global. Dengan berkembangnya peralatan komunikasi yang menyediakan akses teks, video, dan suara, maka peranan hubungan fisik antar komputer semakin meningkat dan senantiasa mengalami perubahan. Saat ini pengembangan dan implementasi aplikasi tingkat lanjut diatas Internet bukanlah sesuatu yang mudah untuk dilakukan. Proses penerapan protokol baru dari bentuk prototype hasil riset menjadi produk komersial membutuhkan waktu lebih kurang delapan tahun. Usaha untuk menjadikan jaringan komputer lebih fleksibel diharapkan dapat mempercepat terjadinya inovasi pada teknologi jaringan komputer. Salah satu ide yang berkembang dalam kurun waktu lima tahun terakhir ini adalah paradigma Jaringan Aktif.

Jaringan Aktif adalah teknologi yang memungkinkan pemakai individu atau kelompok pemakai untuk memasukkan programnya ke titik perantara (node) pada jaringan. Arsitektur 'aktif' ini memungkinkan terjadinya komputasi pada jaringan komputer [1]. Berbeda dengan jaringan tradisional dimana data dipindahkan dari ujung ke ujung sistem tanpa modifikasi, pada teknologi jaringan aktif, komputasi dapat dilakukan pada data pemakai yang sesuai dengan kebutuhannya masing-masing. Pada jaringan komputer tradisional, yang dipindahkan adalah paket-paket data pasif dengan format paket standar dan komputasi tertentu, sedangkan pada jaringan aktif terjadi perpindahan 'kapsul' aktif pada lingkungan komputasi dan program enkoding yang telah disepakati.

Salah satu keuntungan Jaringan aktif adalah kemampuannya untuk memungkinkan terjadinya pertukaran kode yang membentuk dasar protokol adaptif. Dengan demikian dimungkinkan interaksi yang lebih kaya dibandingkan dengan pertukaran format data yang sudah tertentu sebelumnya. Kapsul (paket aktif) memungkinkan implementasi fungsi aplikasi tertentu pada titik strategis jaringan. Abstraksi pemrograman memungkinkan pemakai mengatur infrastruktur dan membuat layanan baru yang dapat lebih cepat diaplikasikan karena tidak harus melalui proses standarisasi seperti yang selama ini harus dilalui vendor peralatan jaringan komputer.

2. Jaringan Aktif

Teknologi jaringan aktif dimaksudkan untuk memanfaatkan penggunaan lebar pita (*bandwidth*) jaringan komunikasi agar menjadi lebih efisien dan pintar. Suatu jaringan disebut aktif jika memiliki inteligensia berbentuk program kecil dalam infrastruktur jaringan atau paket yang dikirimkan, yang berisi informasi bagaimana seharusnya jaringan menangani data tersebut. Jaringan aktif dapat memodifikasi, menyimpan, atau meneruskan data, sehingga dapat menggantikan jaringan tradisional yang pasif.

Teknologi Jaringan aktif memungkinkan kemudahan implementasi kemampuan jaringan komputer yang baru, karena berbasis perangkat lunak. Suatu layanan baru dapat langsung diprogram kedalam node jaringan atau paket data. Seperti diketahui, saat ini inovasi jaringan komputer sangat tergantung pada pengembangan teknologi dan standar berbasis perangkat keras yang relatif sulit mengikuti laju perkembangan kebutuhan peningkatan kemampuan jaringan. Keuntungan lainnya dengan dimungkinkannya komputasi oleh paket 'pintar' atau node aktif pada jaringan aktif adalah kemampuannya mengurangi lalu lintas data pada bagian jaringan yang padat.

Namun demikian dalam perjalanannya banyak ditemui kekurangan dan penghalang implementasi paradigma baru ini. Diantaranya adalah masalah keamanan, kinerja, interoperabilitas, dan sumberdaya [2]. Masalah keamanan adalah masalah yang sangat sulit dipecahkan pada paradigma jaringan aktif ini, terutama jika yang diinginkan adalah kemampuan untuk memungkinkan semua pemakai untuk menyisipkan kode apa saja kedalam router. Pemecahan masalah keamanan ini kemungkinan dapat menunda adopsi paradigma Jaringan Aktif oleh pasar. Masalah lainnya adalah bahwa jaringan komputer membutuhkan infrastruktur yang dapat mendukung layanan aktif. Jaringan aktif juga membutuhkan metode transportasi dan penyampaian kode bergerak yang efisien dan efektif. Jaringan aktif menyediakan cara yang konsisten dan terdefinisi baik bagi pemakai untuk mengontrol dan berinteraksi dengan jaringan melalui cara yang lebih umum dibanding dengan cara yang biasa dilakukan saat ini.

Seorang pemakai dapat membuat jaringan menjadi aktif dengan menempelkan fungsi aplikasi tertentu dalam bentuk metode pada node atau paket. Metode pada jaringan aktif ini mirip dengan metode pada pemrograman berorientasi objek, keduanya adalah prosedur yang dapat dieksekusi dan dilekatkan pada objek. Pemakai dapat memprogram node jaringan tertentu, seperti router, sesuai dengan keinginannya, sebelum menjalankan aplikasi. Pemrogram juga dapat memprogram paket data, yang mampu memindahkan kode ke node sepanjang perjalanan ketujuannya. Kode dapat mengkonfigurasi jaringan agar sesuai dengan kebutuhan aplikasi yang dibentuk paket.

Jaringan aktif meliputi komponen antara lain ekstensi kode aktif, mekanisme penyampaian untuk komponen jaringan aktif, mekanisme keamanan untuk autentifikasi perangkat lunak jaringan, mekanisme eksekusi perangkat lunak, dan sistem manajemen komponen jaringan aktif. Ekstensi aktif adalah sepotong program (kode) yang menjelaskan bagaimana memproses sebuah paket dengan tipe tertentu. Kode ini bisa berupa aturan penyaringan sederhana atau berupa pengolahan paket secara lebih rumit, tergantung tipe aplikasinya. Sistem penyampaiannya mendefinisikan metode pertukaran dengan cara mendefinisikan metode pengiriman informasi dari sumber sistem ke node tujuan pada jaringan. Ekstensi aktif ini terenkapsulasi pada paket aktif. Sistem penyampaian ini dikenal sebagai Protokol Enkapsulasi Jaringan Aktif (ANEP) dan yang dapat bekerja diatas IPv4 atau IPv6. ANEP menjelaskan tipe ekstensi aktif untuk disampaikan baik sebagai sertifikasi keamanan, instruksi penanganan kesalahan, atau instruksi penanganan bagian paket ketika paket melalui pipa jaringan yang lebih sempit.

Lingkungan Eksekusi (*Execution Environment*) dapat mengakses komponen jaringan aktif dan mengeksekusi kode secara lokal pada router [3], dan menambahkannya ke pengolahan paket jaringan dalam jangka panjang. Bahasa pemrograman Java adalah kandidat kuat untuk digunakan pada jaringan aktif, karena portabilitas, ketidaktergantungan pada platform, keamanan, dan model eksekusi mesin semunya. Akan tetapi secara umum teknologi jaringan aktif ini bersifat netral dalam penentuan bagaimana menerapkan lingkungan pemrograman.

Bagian lain dari jaringan aktif yang penting adalah sistem manajemennya, yang bertanggung jawab mengontrol perilaku semua node jaringan. Node harus dapat menerima dan mengolah kode jaringan aktif secara aman. Sementara itu sistem manajemen harus dapat memastikan bahwa hal ini dapat terjadi.

Salah satu pendekatan yang digunakan pada jaringan aktif adalah ANTS (*Active Networks Transport System*) yang dibuat oleh David Wetheral dari MIT, yang merupakan fasilitas untuk memindahkan dan meng-cache kode. ANTS dapat disebut sebagai sistem pemrograman terdistribusi karena menyediakan layanan pada lapisan jaringan hingga aplikasi. ANTS terbukti dapat mempercepat pengolahan data berbasis kapsul tanpa pengaruh yang signifikan pada kinerja jaringan data non-aktif.

3. Tinjauan Historis Perkembangan Paradigma Jaringan Aktif

Teknologi jaringan aktif adalah konsep yang berkembang dari diskusi komunitas riset di DARPA (Badan Proyek Riset Tingkat Lanjut untuk Pertahanan) Amerika Serikat pada tahun 1994. Terminologi Jaringan Aktif pertama kali diperkenalkan oleh David Tennenhouse, seorang akademisi dari MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) tahun 1996. Sejak saat itu Teknologi Jaringan Aktif diangkat menjadi topik khusus penelitian, yang dibiayai oleh DARPA.

Sebenarnya prototipe pertama konsep Jaringan Aktif ini telah dikembangkan di Swedia disekitar tahun 1980-an, walaupun tidak menggunakan terminologi yang sama. Namun sejak diangkat menjadi topik penelitian di

MIT sekitar 4 tahun yang lalu, topik ini lalu berkembang menjadi topik hangat riset ilmuwan terkemuka di bidang Jaringan Komputer. DARPA Amerika Serikat yang telah membiayai perkembangan jaringan TCP/IP hingga berkembang menjadi Internet seperti sekarang ini, juga adalah badan yang telah mengorganisir dan membiayai riset dibidang Teknologi Jaringan Aktif ini. DARPA menitikberatkan bahwa fungsi utama dari Jaringan aktif adalah membentuk fasilitas komunikasi jaringan komputer, dan tidak digunakan sebagai sistem komputer berfungsi umum. Walaupun jaringan aktif ini melakukan komputasi lalu lintas komunikasi pada jaringan, dan tidak seharusnya digunakan sebagai lingkungan komputasi tersebar.

Diterimanya konsep ini sebagai solusi yang menarik terhadap masalah keterbatasan lebar pita jaringan komputer dan masalah fleksibilitas jaringan komputer oleh banyak periset terkemuka dibidang Jaringan Komputer terlihat dari antusias dan banyaknya konsep, prototipe, pendekatan, protokol, lingkungan eksekusi, sistem operasi node, dan aplikasi aktif yang diperkenalkan dalam proceedings seminar dan simposium ilmiah dibidang Jaringan Komputer, seperti pada Konferensi *INFOCOM*, *OPENARCH*, *IWAN*, dan sebagainya. Terbukti teknologi Jaringan Aktif menjadi bagian dari topik hangat jaringan komputer dapat terlihat dari sub topik banyak sekali konferensi jaringan komputer yang mengundang makalah dalam bidang ini. Sementara itu Jurnal dan majalah ilmiah kelas satu dibidang teknik komputer juga banyak memuat topik tentang jaringan aktif sebagai topik utamanya, misalnya pada *IEEE Computer*, *IEEE Networks*, *ACM Communications Review*, dan sebagainya. Malah sering topik ini menjadi topik utama dalam suatu penerbitan.

Diseminasi informasi hasil penelitian juga berjalan dengan sangat cepat, karena kebanyakan periset menyediakan tulisan hasil penelitiannya, juga bahkan prototipenya untuk diuji oleh periset lain, secara *on-line* di *web-pagenya* masing-masing. Kecenderungan ini terlihat dengan banyaknya makalah yang sedang dalam review untuk diterima pada konferensi internasional atau jurnal ilmiah telah dipublikasi langsung, dan dijadikan bahan referensi oleh periset lainnya, tanpa harus menunggu konfirmasi resmi publikasi tersebut. Penyebarluasan informasi berlangsung dalam waktu yang sangat cepat, bahkan hari itu juga makalah selesai, makalah tersebut langsung diumumkan di daftar surat elektronik dan dapat diakses langsung oleh semua pihak.

Hal ini dapat dilakukan karena secara teoritis para periset yang sebagian besar berdomisili di Amerika Serikat ini memang mendapat dana yang cukup besar untuk mewujudkan proposal penelitian di bidang Jaringan Aktif yang telah dibuatnya. Publikasi adalah bagian yang sangat perlu dilakukan secepat mungkin, untuk memastikan bahwa ide dan hasil penelitian tersebut dapat diterima dan dikembangkan oleh publik.

4. Jaringan Aktif sebagai Kandidat Teknologi Jaringan Komputer Masa Depan

Jaringan aktif adalah teknologi dasar yang memungkinkan aplikasi baru berjalan diatasnya. Implementasi dari paradigma ini memungkinkan pengembang perangkat lunak memperkenalkan layanan bernilai tambah bagi peralatannya yang akan meningkatkan nilai peralatan komunikasi. Berbagai perkembangan baru pada industri yang mendukung konsep jaringan aktif ini misalnya adalah produk Cisco yang berupa mesin cache dan pengatur pendistribusian berupa router yang mengakses lalu lintas web dan meneruskannya ke sebuah cache untuk mengurangi kemacetan pada jaringan. Hal ini memperlihatkan bahwa terdapat kebutuhan layanan jaringan yang tidak ada dapat diakomodasi jaringan tradisional biasa.

Terdapat beberapa contoh aplikasi teknologi jaringan aktif yang sedang dalam pengembangan saat ini. Diantaranya adalah protokol aktif misalnya protokol multicast/multimedia dan protokol pensinyalan; Manajemen jaringan aktif berupa instrumentasi aktif untuk pemantauan, analisa, dan manajemen konfigurasi; Keamanan Jaringan aktif, misalnya filter firewall aktif, proxy aktif; lapisan aplikasi aktif, misalnya router lapisan aplikasi, server cache, pemfilteran/kompresi/pengkodean, telepon/video aktif. Selain itu, terdapat beberapa aplikasi yang memotivasi jaringan aktif ini, diantaranya adalah *Firewalls*, *Web Proxies*, Komputasi Bergerak, dan Komunikasi banyak titik [5].

Konsep jaringan aktif ini sangat menarik dan sedang menunggu dukungan dari berbagai vendor komersial. Ide ini secara substantif dapat merubah struktur dasar jaringan komputer. Jaringan aktif dapat mengurangi kebutuhan peremajaan jaringan komputer secara manual yang rumit dan mahal. Teknologi ini secara fundamental mengubah struktur router dan perangkat keras jaringan komputer, sehingga tepat untuk diterapkan secara bertahap. Untuk dapat sukses dipasaran, jaringan aktif harus mampu menawarkan kinerja yang kompetitif dibanding aplikasi jaringan tradisional dalam mewujudkan evolusi berbagai jaringan baru.

Jaringan aktif dapat mempercepat penerapan Protokol Internet Versi 6 (IPv6) yang dapat mengarahkan lalu lintas melalui Internet, dan memungkinkan perbaikan jaringan komputer lainnya. Ketika IPv6 dengan ruang alamat 128-bit mulai diterapkan, teknologi jaringan aktif dapat diterapkan secara bertahap pada Internet. Bagi manajer jaringan komputer, jaringan aktif dapat mempermudah dan mempermudah peremajaan infrastruktur perangkat keras. Disamping itu juga mempermudah pengaturan dan penyampaian aplikasi-aplikasi baru. Untuk pengembang perangkat lunak, jaringan aktif memberikan cara untuk menciptakan aplikasi secara

cepat. Bagi pemakai biasa, jaringan aktif memungkinkan layanan-layanan baru menjadi lebih mudah berkembang dan penerapannya tidak mengharuskan pembelian peralatan baru.

Berikut ini adalah suatu contoh dimana teknologi jaringan aktif dapat dimanfaatkan [4]. Misalnya seseorang mengembangkan protokol video yang sesuai dengan kebutuhan distribusi informasi global. Namun protokol ini mempersyaratkan agar setiap router, suits, dan node harus mampu memproses paket sesuai rancangan orang itu. Dengan jaringan aktif, protokol tersebut dapat menginstal dirinya sendiri sepanjang jalur jaringan ke pemakai. Dengan demikian pengembang aplikasi dapat menerapkan Kualitas Layanan (QoS) dan tidak harus menunggu vendor menerapkan teknologi ini pada perangkat keras. Disamping itu juga tidak ada keharusan bagi pembuat aplikasi untuk membuat rancangannya sesuai dengan peralatan vendor. Pada penerapan jaringan aktif, aplikasi dapat secara dinamik menambahkan perpanjangan layanan ketika berkomunikasi sepanjang jalur ke Internet.

Kesuksesan komersial dari teknologi ini tergantung pada kinerja sistem yang dipengaruhi oleh banyak komponen, termasuk lokasi dan manajemen sumber daya, enkripsi dan dekripsi, manajemen keamanan, eksekusi ekstensi aktif, dan pengolahan perangkat keras dari lingkungan eksekusi.

Riset dibidang jaringan aktif ini telah melibatkan banyak lembaga penelitian terkemuka dan perusahaan besar. Hal ini terbukti dari adanya jaringan eksperimental yang dikenal sebagai ABONE (*Active Network Backbone*). Abone dibentuk untuk memungkinkan anggotanya menjalankan perangkat lunak daemon jaringan aktif (Anetd), yang menerapkan kemampuan standar seperti protokol penyampaian, dalam jaringan tulang punggung tertentu yang tersebar diberbagai pusat penelitian Jaringan Komputer.

Selain DARPA, vendor terkemuka juga telah memperlihatkan perhatiannya pada paradigma jaringan aktif ini, termasuk Nortel Networks, BBN System, TIS, TASC, Cisco, Intel, dan Microsoft. Cukup banyak vendor yang telah melakukan pendekatan yang mirip dengan jaringan aktif dalam skala terbatas. Misalnya penjaluran berbasis keputusan dengan menggunakan aturan, yang didefinisikan secara manual oleh administrator jaringan untuk menentukan bagaimana mengatur lalu lintas pada jaringan. RSVP, protokol standar Internet untuk melakukan reservasi sumberdaya, misalnya menerapkan standar tentang apa yang harus disetujui router sepanjang jalur jaringan. Sistem pembagian dan lokasi sumberdaya terdistribusi Jini, produksi SUN, misalnya memiliki ide yang mirip dengan Jaringan Aktif, namun lebih terfokus pada identifikasi dan penentuan lokasi informasi dan distribusi sumberdaya sepanjang jaringan komputer. Selain itu juga banyak vendor yang sedang mempertimbangkan pembuatan protokol tertentu untuk menyampaikan dokumen Web pada komputer genggam dan peralatan Internet berbasis web lainnya. Idenya adalah menggunakan XML untuk menambah konsep objek ke dokumen web, sehingga peralatan akan mampu membuat kode sumber dengan cara yang tepat. Dalam hal ini jaringan aktif dapat mengatur lalu lintas peralatan pada tingkat node jaringan, sehingga dapat menyediakan layanan seperti caching dan roaming IP bergerak, serta layanan multicast yang efisien.

Dalam waktu sekitar 5 tahun sejak inisiasi ide tentang Jaringan Aktif, hingga saat ini telah banyak sekali perkembangan yang terjadi. Secara tahunan berbagai konferensi diadakan untuk membahas hasil penelitian terbaru, misalnya pada *International Networking 2000 Conference* di Paris Mei lalu. Dalam konferensi Jaringan Komputer terbesar pertama di milenium baru ini, terdapat sebuah mini konferensi sehari khusus dalam bidang Teknologi Jaringan Aktif dan Jaringan yang dapat diprogram. Disini secara intensif dalam ruangan yang cukup kecil berkapasitas 40 orang, secara langsung dan tidak formal berbagai ilmuwan terkemuka mengemukakan hasil penelitiannya dan mendiskusikan pengembangan kedepan dari teknologi ini. Setiap orang seperti telah mengenal satu sama lainnya karena senantiasa mengikuti secara dekat perkembangan topik yang sama, dan familiar dengan nama-nama yang ada karena publikasi hasil penelitiannya. Terlihat dengan jelas bahwa Amerika Serikat memiliki peranan yang sangat besar bagi arah penelitian selanjutnya karena dana besar yang disediakan untuk penelitian. Hal tersebut diikuti oleh lembaga penelitian di Eropa dan Jepang misalnya, walaupun mungkin saat memasuki topik ini, teknologi yang tersedia telah cukup berkembang. Namun demikian Internet yang telah dirasakan kegunaannya oleh banyak orang masih membutuhkan kontribusi bagi pengembangan konsep-konsep yang dapat memberikan kemudahan dan efisiensi bagi penggunaan sumberdaya yang ada.

Disini terlihat bahwa komunitas periset dalam bidang ilmu komputer memiliki hubungan yang sangat erat, dan tidak terbatas pada posisi geografisnya. Internet yang diciptakan sekitar 20 tahun lalu kini telah menjadi medium yang tidak membedakan waktu dan tempat lagi, namun menciptakan hubungan yang sangat dekat karena kontribusi dan produk yang diciptakan oleh seseorang. Pertukaran ide berlangsung sangat cepat, disamping juga berbagi informasi dari yang sederhana hingga yang kompleksitasnya tinggi melalui surat elektronik yang dapat diterima langsung. Metodologi penelitian, pengukuran kinerja, validitas metode yang digunakan berkembang dengan sangat cepat, dan berbeda dengan tahapan-tahapan penelitian dalam bidang teknik sipil atau ilmu bahan misalnya. Setiap saat suatu kontribusi yang dilakukan orang lain dapat segera dimanfaatkan dan digunakan untuk menjadi bahan pengembangan selanjutnya yang dapat dilakukan. Inilah yang menjadikan ilmu komputer dan teknologi informasi membutuhkan orang-orang yang bermotivasi tinggi untuk senantiasa mengikuti perubahan yang sangat cepat.

5. Kesimpulan

Teknologi Jaringan Aktif dipicu oleh kenyataan bahwa terdapat kebutuhan akan jaringan yang lebih fleksibel yang misalnya mampu untuk diprogram, sehingga pemakai dapat memasukkan berbagai perangkat dan aplikasi baru yang dibutuhkannya, akan mempercepat laju perkembangan Internet. Tujuan dari jaringan aktif tidak semata untuk memungkinkan semua pemakai menerapkan protokolnya sendiri, tetapi untuk menyediakan lingkungan yang kondusif bagi inovasi. Dengan demikian pemakai jaringan akan sangat cepat memilih satu dari banyak set aplikasi perangkat lunak yang dibuat oleh vendor pihak ketiga. Dilain pihak pengembang aplikasi tidak dipaksa untuk menemukan, menguji, dan menerapkan platform baru bagi setiap tipe aplikasi baru yang dibuatnya. Dengan demikian diharapkan bahwa Teknologi Jaringan Aktif akan mempercepat laju inovasi perangkat lunak dan Jaringan Komputer yang dapat diprogram (*programmable networks*).

Pertanyaan yang paling penting tentang apakah teknologi Jaringan Aktif ini akan menjadi masa depan Jaringan Komputer dan Jaringan Komunikasi masih terbuka lebar untuk dijawab. Tidak ada seorangpun yang dapat meramalkan teknologi apa yang akan digunakan dalam jaringan komputer dalam waktu 3-5 tahun lagi. Ini semua disebabkan karena karakteristik perkembangan teknologi informasi yang sangat cepat berubah dan terbuka dalam menerima segala ide dan inovasi baru. Sebuah produk baru mengalami penyebaran yang sangat cepat dan mempengaruhi teknologi selanjutnya yang muncul. Berbagai ide yang beberapa tahun lalu dianggap ide yang cemerlang dan akan menjadi masa depan teknologi informasi ternyata tidak pernah sampai ketahap yang diperkirakan tersebut. Diantaranya teknologi ATM (Asynchronous Transfer Mode) dan Layanan Terintegrasi (*Integrated Services*) yang ternyata pengembangannya berjalan dengan lambat dan mengalami banyak hambatan. Demikian juga dengan ide-ide baru revolusioner lainnya di bidang Jaringan Komputer. Namun pengembangan ide dan inovasi harus senantiasa dilakukan, walaupun tanpa kepastian bahwa teknologi inilah yang akan digunakan dimasa depan.

Karakteristik penelitian dibidang Teknik dan Jaringan Komputer sangat berbeda dengan penelitian dibidang-bidang penelitian yang sudah mapan seperti teknik sipil, biologi, kedokteran, ekonomi, sosial, atau bidang lainnya karena perbedaan metode penelitian, kecepatan penyebarluasan informasi, dan kecepatan perubahan teknologi itu sendiri. Pemilihan topik pengembangan yang tepat perlu untuk dilakukan secara selektif, karena bidang ilmu komputer memiliki satuan waktu yang lebih cepat dibanding ilmu lainnya.

Referensi

1. D. Tennenhouse, D. Wetheral, *Towards Active Network Architecture*, Computer Communication Review, 26(2):1-14, April 1996.
2. J. Smith, K. Calvert, S. Murphy, H. Orman, L. Peterson, *Activating Networks: A Progress Report*, IEEE Computer, 32(4), April 1999.
3. A. Ghonainy, *New Generation Internet and Evaluation Towards Active and Programmable Networks* (Survey). In Proceedings of IEEE 16th National Radio Science Conference, NRSC'99, Cairo, Egypt, February 1999.
4. Sixto Ortiz, Jr. *Active Networks: The Programmable Pipeline*, Computer, August 1998
5. Rawn Shah, *Active Networks Awaits Its Day*, Sunworld, January 2000, http://www.sunworld.com/sunworldonline/swol-01-2000/f_swol-01-active_p.htm