

Membangun Jaringan Komputer Menggunakan Simulator NetSimK

Tedi Lesmana Marselino, Kiki Bayhaki

Institut Teknologi dan Bisnis Kalbe, Jakarta

Abstract:

Computer network simulator is a computer application used to simulate a real computer network function. Network simulator can really help to build a computer network design through a phases of simulation. One of network simulator that rare to use but yet powerful is NetsimK. NetsimK can simulate major networking devices such as switch, hub, router, computer and cable. The advantages of NetsimK is light, small but can be used to build a computer network design and simulation start from topology until connectivity test using ping command. NetsimK build for teaching tools, so the configuration process created similar to the reality. This paper explain the features and technology of NetsimK and how to build the complete topology using NetsimK network simulator application.

Keywords: network simulator, topology, network device, teaching tool

I. PENDAHULUAN

NetsimK adalah perangkat ajar jaringan komputer yang cukup lengkap. NetsimK memiliki kemampuan untuk melakukan simulasi beberapa perangkat jaringan komputer utama seperti *router*, komputer, *switch*, *hub* dan kabel jaringan. NetsimK dibuat untuk gratis digunakan, dengan persyaratan untuk melakukan pendaftaran setiap tahun [1]. Meskipun harus melakukan registrasi setiap tahun, pada dasarnya pendaftaran berfungsi untuk mendapatkan pembaharuan aplikasi yang terbaru. NetsimK juga berupa program aplikasi yang kecil dan ringan. Kebutuhan perangkat keras dari NetsimK cukup dengan komputer berprosesor Intel atom, bandingkan dengan perangkat lunak sejenis yang memberikan fungsi yang serupa seperti GNS3 yang harus

menggunakan sumberdaya dari CPU sehingga akan memberikan beban yang cukup berat bagi komputer induk [2]. NetsimK dibuat oleh seorang instruktur CiscoTM. Pada dasarnya NetsimK dibangun dengan tujuan untuk memudahkan proses pembelajaran materi jaringan komputer khususnya yang digunakan di Cisco Academy Networking. Tetapi pada gilirannya simulator jaringan ini bermanfaat untuk pembelajaran jaringan komputer secara umum.

Pembuatan jaringan komputer pada dasarnya dimulai dari proses pembuatan topology jaringan. Dari topology jaringan ini maka akan terlihat kebutuhan perangkat jaringan seperti router, switch, komputer dan hub. Dari sini akan ditentukan bandwidth yang dibutuhkan untuk tiap-tiap koneksi antar

perangkat jaringan tersebut. Selanjutnya ditentukan segmentasi dari jaringan yaitu pemberian IP Address untuk tiap-tiap segment. Jika rancangan sudah siap maka proses berikutnya adalah melakukan konfigurasi dari masing-masing perangkat seperti router dan komputer. Tahap akhir adalah tahap ujicoba.

Dalam rancangan yang sebenarnya proses penerapan tidak dapat dilakukan tanpa menanggung resiko karena penyediaan alat akan membutuhkan biaya besar dan apabila terdapat kegagalan pada tahap rancangan maka alat dapat menjadi sia-sia ataupun perombangan rancangan yang kemungkinan membutuhkan biaya yang lebih besar lagi.

Pada kesulitan seperti inilah simulator jaringan dapat memberikan solusi atas kemungkinan kegagalan di tahap implementasi. Simulator jaringan mampu melakukan penerapan rancangan jaringan komputer dengan menggunakan emulasi perangkat jaringan seperti router, komputer, switch dan perangkat konektivitas seperti kabel. Merupakan suatu hal yang sulit dan sangat mahal apabila akan menerapkan rancangan sebuah topologi yang besar melibatkan lintas wilayah geografis dan harus menggunakan koneksi WAN dan kabel yang panjang. Dengan simulator jaringan semua masalah di atas dapat diatasi dengan mudah.

Ada dua jenis simulator jaringan yang ada di pasar sekarang ini. Simulator

pertama adalah jenis simulator yang berfungsi seperti aslinya tetapi tidak dapat berinteraksi dengan network nyata. NetsimK adalah jenis simulator jaringan ini. Jenis simulator yang kedua adalah simulator jaringan yang dapat berfungsi seperti perangkat aslinya dan dapat terhubung ke jaringan nyata. Simulator ini menggunakan sumberdaya nyata dari CPU dan mampu menggunakan Network Interface Card nyata untuk dapat terhubung dengan topologi simulasi. GNS3 adalah jenis simulator ini.

GNS3 menggunakan sistem operasi jaringan nyata seperti *Internetwork Operating System* (IOS) yang terdapat pada router-router Cisco. Keunggulannya adalah perintah-perintah *Command Line Interface* (CLI) dari router Cisco didukung penuh oleh simulator GNS3 [3].

NetsimK hanya simulator jaringan murni yang tidak dapat terhubung ke network nyata. Topologi yang dibuat berikut semua perangkat jaringannya hanya emulasi dari perangkat jaringan yang sebenarnya. Tidak ada sistem operasi di simulator NetsimK, tetapi aplikasi NetsimK akan memberikan reaksi yang meniru seperti yang dilakukan oleh IOS. Karena jenis ini maka simulator NetsimK tidak mendukung penuh semua perintah CLI dari router Cisco.

A. Fitur NetsimK

Melihat fitur dari masing-masing jenis simulator yang ada, sebagai

perangkat ajar NetsimK masih mampu mendukung semua fungsi dasar dan menengah konfigurasi jaringan komputer yang banyak ditemui di lapangan. Dengan model aplikasi yang murni simulator NetsimK menjadi kecil dan ringan dan cocok untuk di-instal di tiap komputer siswa di lingkungan laboratorium ataupun diperangkat laptop siswa.

NetsimK akan memberikan kepada setiap siswa untuk bekerja dengan simulatornya sendiri-sendiri. Setiap simulator memiliki fitur yang lengkap sehingga siswa akan bebas memiliki topologinya secara lengkap tanpa tergantung dari siswa yang lain. Dengan demikian siswa tidak akan terganggu dalam mengerjakan topologinya.

Terdapat fungsi untuk melakukan pendeteksian kesalahan di dalam konfigurasi yaitu menggunakan tombol pemeriksa kesalahan. Dengan tombol ini siswa dapat mendeteksi kesalahan secara dini tanpa harus selalu menghubungi instruktur sehingga mempermudah pekerjaan instruktur di kelas dengan siswa yang banyak.

Simulator mampu menunjukkan *routing tables* yang sudah dikonfigurasi. Dengan fasilitas ini maka akan terlihat mana *router* yang belum memiliki *routing tables* atau bagian-bagian mana yang belum mampu diakses dan dijangkau oleh masing-masing *segment* jaringan.

Visual ping trace mampu menunjukkan sinyal ACK dari ping yang

dilakukan, sehingga aliran protocol ICMP mampu ditelusur setahap demi setahap, melalui *segment-segment* jaringan yang dilewati. Hal ini berguna ketika menggunakan NAT, karena terdapat *masquerade IP Address* pada proses *Port Address Translation*.

Selain fitur di simulatornya sendiri, aplikasi memberikan fasilitas bantu untuk melakukan perhitungan IP Address Classless atau VLSM. Dengan adanya bantuan ini, siswa dapat melakukan uji silang hasil perhitungan manual mereka sendiri.

Tabel 1 Fitur Aplikasi NetsimK

Realistic design scenarios. Problems are not artificial and guided as in other simulators.
Simple and intuitive interface
Teaches principles instead of bogging students down with unnecessary device choices
Implements all relevant CCNA 1, 2, 3 and 4 IOS requirements
Implements password recovery
Implements telnetting between devices
Powered devices can be turned off and on. Data not written to non-volatile RAM will be lost, just like a real device.
Network can have as many devices as required – no limit on any device.
No need to pre-configure router racks prior to a class.

Quick connectivity test mode juga merupakan salah satu fitur yang berguna untuk memeriksa hasil konfigurasi siswa tanpa harus melakukan ujicoba ke masing-masing.

Fitur yang paling penting adalah kemampuan untuk menyimpan hasil

konfigurasi dari siswa. Dengan fitur ini hasil konfigurasi yang telah dibuat dapat disimpan dan dibuka lagi pada lain kesempatan atau ketika ingin digunakan untuk mengumpulkan tugas.

Secara umum fitur-fitur NetsimK dapat diringkas seperti terlihat pada Tabel 1.

II. METODOLOGI

Abstraksi jaringan komputer menurut International Standar Organization (ISO) terdiri dari tujuh lapisan atau sering disebut sebagai ISO 7 Layers [4]. Dari 7 lapisan ini proses perancangan jaringan dapat dilakukan di layer 1 yaitu lapisan fisik, lapisan 2 yaitu data link, dan lapisan 3 network.

Pada lapisan fisik dibuat topologi jaringan dan penentuan media komunikasi seperti penghubung berupa kabel tembaga, kabel koaksial, jaringan serat optik atau menggunakan media *wireless*.

Pada lapisan fisik juga diperlukan penentuan lebar jalur data (*bandwidth*). Bandwidth ditentukan berdasarkan posisi dari tiap koneksi, apakah berada di jalur utama atau di jalur penghubung.

Pada lapisan data link ditentukan perkiraan *collision domain*, yaitu untuk menentukan unjuk kerja jaringan agar tidak terjadi *broadcast* yang tidak perlu di level MAC address. *Broadcast* MAC Address akan diatasi dengan pemilihan perangkat jaringan seperti *switch* yang jauh lebih baik daripada hub. *Switch*

mampu memberikan perlindungan dan lokalisasi pengiriman dan penerimaan *frame* yang disebar di dalam LAN.

Di lapisan jaringan akan ditentukan segmentasi jaringan di lingkup LAN dengan pemberian IP Address. IP Address yang diberikan dapat menggunakan *classful* ataupun *classless* tergantung dari kebutuhan. Pemberian IP Address sangat penting dan mutlak dikarenakan syarat konektivitas jaringan membutuhkan alamat IP. Penerapan IP Address akan dilakukan di komputer dan perangkat router. Router akan mampu melakukan pembatasan sinyal broadcast. Selain itu router memberikan segmentasi jaringan dengan sub network lainnya, sehingga setiap sub network akan terbagi sesuai dengan kelas IP Address-nya.

A. Prinsip Perancangan Jaringan

Mengacu pada perancangan model Cisco [3], terdapat perspektif 3 layer yang dinamakan perancangan hirarkikal model. Model ini akan membagi perancangan ke dalam 3 lapisan yaitu:

- *Core layer*
- *Distribution layer*
- *Access layer*

1. *Core layer* adalah lapisan yang menjadi jalur utama (*backbone*) sistem jaringan komputer. Karena ini merupakan lapisan utama, maka semua lalu lintas paket data akan melewati jalur ini, sehingga dapat

dipastikan bahwa di sini dibutuhkan *bandwidth* yang paling besar karena semua paket data akan berkumpul di layer ini. Untuk memastikan hal tersebut maka pada lapisan ini dibutuhkan perangkat jaringan dengan kecepatan paling tinggi, *bandwidth* paling besar, dan sistem redundancy dengan kemampuan dan kapasitas yang sama. *Core layer* akan menghubungkan berbagai macam *segment* jaringan baik dari LAN ataupun dari WAN seperti internet, extranet atau Virtual Private Network (VPN). Untuk dapat melakukan hal tersebut maka perangkat jaringan yang memungkinkan untuk melakukannya adalah router. Router memiliki fungsi untuk menghubungkan *segment-segment* jaringan dengan berbagai *sub class network*-nya. Meskipun hal ini dapat juga dilakukan oleh *switch* moderen, yang utama dilakukan oleh router adalah ia melakukan *routing* paket data ke *segment-segment* yang berbeda menggunakan *routing protocol*. Pada lapisan *core* biasanya terjadi koneksi POP dengan *network provider* di sini dibutuhkan perangkat modem pada teknologi serial dan perangkat *ethernet* pada teknologi LAN. Banyak *network provider* yang sudah menyediakan konektivitas jaringan *ethernet* terutama bagi koneksi dengan

tipe serat optik. *Core layer* akan menghubungkan berbagai macam *segment* jaringan baik dari LAN ataupun dari WAN seperti internet, extranet atau Virtual Private Network (VPN). Untuk dapat melakukan hal tersebut maka perangkat jaringan yang memungkinkan untuk melakukannya adalah router. Router memiliki fungsi untuk menghubungkan *segment-segment* jaringan dengan berbagai *sub class network*-nya. Meskipun hal ini dapat juga dilakukan oleh *switch* moderen, yang utama dilakukan oleh router adalah ia melakukan *routing* paket data ke *segment-segment* yang berbeda menggunakan *routing protocol*. Pada lapisan *core* biasanya terjadi koneksi POP dengan *network provider* di sini dibutuhkan perangkat modem pada teknologi serial dan perangkat *ethernet* pada teknologi LAN. Banyak *network provider* yang sudah menyediakan konektivitas jaringan *ethernet* terutama bagi koneksi dengan tipe serat optik.

2. *Distribution layer* memberikan segmentasi jaringan. Dalam dunia bisnis yang melibatkan berbagai macam departemen dengan fungsi pekerjaan yang berbeda-beda dan biasanya juga diikuti dengan lokasi kerja yang berbeda, maka proses segmentasi jaringan sangat

diperlukan. Segmentasi jaringan memiliki banyak manfaat seperti pengelompokkan lalu lintas data, pengelompokkan pengguna jaringan, pengaturan lalu lintas data, pembagian beban, melakukan filterisasi lalu lintas data, pembagian akses dan juga lokalisasi masalah dalam proses pemecahan masalah. Agar tidak mengganggu bagian lain di dalam jaringan maka segmentasi dilakukan di *layer* yang terpisah dari *core*, dengan demikian perubahan segment jaringan tidak akan berpengaruh terhadap *network* di bagian lain. Pembagian jaringan dilakukan di lapisan data link *layer* yaitu perubahan pada lingkup broadcast MAC address. Pembagian *segment* jaringan dilakukan di lingkup LAN dan tidak melibatkan perangkat router, kecuali ketika paket data akan mengalir dari satu sub *network* ke sub *network* yang lain dengan IP *subnetwork* yang berbeda. Salah satu keuntungan lain dari pembagian *segment* jaringan pada *distribution layer* ini adalah terjadinya pembatasan broadcast MAC address, untuk mengatur efisiensi *traffic* MAC address yang di-broadcast oleh masing-masing *end devices*. Proses *redundancy* sistem jaringan di lapisan ini dilakukan dengan mengatur tiap-tiap *network devices* seperti *switch*

untuk memiliki dua atau lebih *port link* ke *access layer*.

3. *Access layer* memiliki peran akhir ujung konektivitas dengan perangkat komputer atau printer atau perangkat akhir lainnya. Pada *access layer* lalu lintas data semakin sempit karena paket data yang menuju dari atau ke perangkat akhir sudah memiliki tujuan yang hampir pasti karena proses lokalisasi *frame broadcast* dan paket *broadcast* sudah dilakukan. Pada beberapa praktek nyata, pada kenyataannya di *access layer* masih ada *network device* seperti switch hub yang masih dapat melakukan broadcast MAC address, karena di sini jumlah perangkat akhir biasanya akan sangat banyak yaitu dapat mencapai 20, 30 atau 40 komputer dan perangkat jaringan lainnya. Pada *access layer*, jalur konektivitas akan memiliki jalur yang paling panjang, karena akan menghubungkan pengguna yang lokasinya cukup jauh hingga sampai ke *network distribution* panel. Jalur koneksi akan melewati jalur-jalur kabel yang rentan terhadap gangguan hama seperti tikus atau masalah putusnya kabel atau gangguan sinyal lainnya. *Access layer* merupakan bagian yang akan memiliki konektivitas langsung ke *end devices*.

B. Topologi Jaringan

Topologi jaringan memberikan gambaran besar bagaimana jaringan komputer dibentuk. Topologi jaringan komputer juga memberikan ruang pengembangan terhadap topologi yang ada. Pada dasarnya topologi jaringan memberikan gambaran utuh dan menyeluruh terhadap keseluruhan sistem jaringan komputer. Secara visual diagram topologi jaringan komputer memberikan gambaran yang mudah untuk dapat dikenali, tetapi topologi juga memiliki makna fungsi dan arti dari setiap komponen pembentuk sistem jaringan.

Fleksibilitas dan adaptabilitas topologi terhadap perkembangan skala jaringan tergantung dari pemilihan jenis topologinya. Topologi jaringan ditentukan dan menentukan teknologi jaringan lapisan fisik yang paling sesuai, seperti misalnya : serat optik, *twisted pair* atau *wireless*. Topologi jaringan juga memberikan wawasan bagaimana jaringan komputer dikelola. Pada gilirannya topologi jaringan dapat memberikan dampak terhadap keamanan sistem jaringan komputer secara menyeluruh.

Di sini hanya akan dibahas dua macam topologi jaringan yang paling banyak digunakan yaitu satu di LAN yang menggunakan topologi *star* dan *extended star*. Di mana *extended star* itu sendiri merupakan variasi dari topologi *star*. Satu lagi adalah topologi *mesh* yang banyak digunakan di WAN.

B.1 Topologi *Extended Star*

Topologi *extended star* adalah topologi jaringan yang merupakan perluasan dari topologi *star*. Topologi *star* memberikan kemampuan topologi *star* untuk terus berkembang tanpa batas. Topologi ini memungkinkan jalur-jalur baru untuk terus terbentuk sehingga memberikan kemampuan adaptabilitas yang baik. Jika sebuah koneksi putus maka dengan topologi *star* atau *extended star* memungkinkan bahwa koneksi yang lain tidak akan terpengaruh. Dengan model topologi seperti ini selalu akan ada titik terkumpul dan titik distribusi. Ketika sebuah koneksi menuju pada sebuah titik terkumpul maka dibutuhkan *bandwidth* yang besar karena titik terkumpul tersebut akan mendistribusikan *bandwidth*-nya ke beberapa titik baru. Kelemahan dari topologi ini adalah apabila titik konsentrasi mengalami kegagalan fungsi maka seluruh sambungan yang berasal dari titik tersebut akan mengalami kegagalan. Titik kegagalan ini akan menjadi *single point of failure*, untuk itu model topologi *star* dan *extended star* membutuhkan sistem cadangan perangkat jaringan. Perangkat jaringan yang perlu dicadangkan dalam topologi ini seperti *switch* dan *router*.

B.2 Topologi *Mesh*

Topologi *mesh* adalah topologi yang mementingkan kehandalan dan keberlanjutan dari sistem jaringan.

Topologi ini akan menghubungkan semua titik konsentrasi jaringan satu dengan lainnya. Dengan demikian maka jika terdapat kegagalan sistem jaringan maka koneksi akan dilewatkan melalui jalur yang lain, sehingga hampir dapat dipastikan sistem jaringan akan kebal terhadap kegagalan. Karena akan mengkoneksikan semua titik di dalam jaringan komputer, topologi *mesh* membutuhkan biaya yang sangat mahal. Untuk itu topologi *mesh* biasanya akan diterapkan pada sebagian titik saja. Titik-titik yang akan mengalami koneksi ganda atau perangkat cadangan adalah koneksi-koneksi kritis yang menjadi titik tunggal kegagalan (*single point of failure*) dengan demikian titik jenis ini akan dikurangi atau bahkan dihilangkan.

Topologi *mesh* biasanya digunakan di dalam WAN di bagian *network layer*. Di sini setiap *router* akan terhubung dengan *router* yang lain meskipun tidak secara penuh menggunakan topologi ini (*full mesh*) tetapi paling tidak sebuah *router* akan terhubung ke dua atau lebih titik koneksi, sehingga apabila terjadi kegagalan koneksi maka jalurnya akan digantikan oleh koneksi yang lain sementara koneksi yang gagal tersebut diperbaiki [5].

C. Perangkat Jaringan

Beberapa peralatan jaringan pokok seperti komputer, *router*, *switch*, dan kabel merupakan bagian yang terdapat pada

simulator jaringan. Komputer berfungsi sebagai terminal atau perangkat keras akhir, baik di sumber ataupun di tujuan.

Router berfungsi mengarahkan rute lalu lintas data berdasarkan alamat IP sumber dan tujuan. *Router* merupakan peralatan jaringan yang mutlak diperlukan di topologi jaringan yang terdiri atas berbagai daerah segment jaringan. *Router* akan melakukan blok terhadap broadcast paket data dan *broadcast frame* di dalam jaringan LAN, dan *router* fungsi pengarah di dalam jaringan WAN.

Switch merupakan perangkat jaringan yang beroperasi di LAN. *Switch* memiliki tugas sebagai konsentrator berbagai macam koneksi yang berasal dari terminal. *Switch* akan menggabungkan beberapa terminal di dalam sebuah atau beberapa *segment* jaringan. Beberapa *switch* tertentu memiliki kemampuan untuk membuat *Virtual Local Area Network* (VLAN).

Kabel jaringan merupakan perangkat jaringan penghubung satu atau lebih perangkat jaringan dengan perangkat jaringan lainnya. Pada dasarnya kabel jaringan digunakan untuk menghubungkan komputer dengan *switch*, komputer dengan *router* atau komputer dengan komputer. Begitu juga *switch* dengan *router* atau *switch* dengan *switch*.

Kabel jaringan yang umum digunakan terbuat dari bahan tembaga. Kabel jaringan jenis ini biasa digunakan di *Local Area Network*, sedangkan

untuk *Wide Area Network* menggunakan kabel serat optik yang bukan dibuat menggunakan tembaga tetapi serat optik.

Perangkat jaringan lainnya yang berfungsi sebagai penghubung yaitu sinyal elektromagnetik.

Pada dasarnya penghubung ini tidak dapat dikatakan sebagai alat, karena berfungsi sebagai media. Alat penghubung koneksi *wireless* ini adalah *transmister* dan *receiver* yang biasanya dijadikan satu di dalam sebuah perangkat *wireless interface card* yang dapat berupa *USB stick wireless*.

D. Configuration Files

Sebuah perangkat jaringan moderen seperti *router*, *switch* dan komputer adalah perangkat cerdas. Perangkat ini tidak hanya terdiri dari perangkat keras tetapi mengandung perangkat lunak yang perlu dikonfigurasi untuk mengoptimalkan fungsi kerjanya. Perangkat jaringan jenis ini memiliki konfigurasi yang disimpan di sebuah *file*. Dengan sendirinya perangkat jaringan tersebut memiliki memori. Dalam pengelolaan lebih lanjut kesadaran akan struktur dari perangkat jaringan ini menjadi krusial, karena tidak hanya perlu dipikirkan bagaimana melakukan konektivitas jaringan tetapi juga perlu diperhatikan perawatan perangkat jaringan di bagian dalamnya seperti memori.

Sebuah konfigurasi jaringan yang disimpan di sebuah file menjadi sangat penting karena tanpanya perangkat jaringan

tidak dapat bekerja. Oleh karena itu pabrik membuat sebuah konfigurasi standar yang dapat langsung mengoperasikan perangkat jaringan tersebut ketika pertama kali perangkat digunakan dari pabrik. Di kemudian hari konfigurasi ini tentu saja tidak cukup untuk dapat beradaptasi dengan topologi jaringan yang dirancang di mana perangkat tersebut terpasang.

E. Metode Perancangan Jaringan

Seperti dikatakan pada [6], perancangan jaringan model *Top-Down* akan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut:

- A. Melakukan Identifikasi Kebutuhan Pelanggan
 1. *Designing a Network Topology*
 2. *Designing Models for Addressing and Naming*
 3. *Selecting Switching and Routing Protocols*
 4. *Developing Network Security Strategies*
 5. *Developing Network Management Strategies*
- B. Perancangan Jaringan Fisik
 1. *Selecting Technologies and Devices for Campus Networks*
 2. *Selecting Technologies and Devices for Enterprise Networks*
- C. Ujicoba Optimasi Dokumentasi
 1. *Testing the Network Design*
 2. *Optimizing the Network Design*

3. *Documenting the Network Design*

Pada tulisan ini tidak akan digunakan semua tahapan rancangan, tetapi hanya dipilih beberapa tahap yang langsung dirangkum ke dalam lima tahap sebagai berikut:

A. Metode Perancangan Jaringan

1. *Designing a Network Topology*
2. *Designing Models for Addressing and Naming*
3. *Selecting Switching and Routing Protocols*
4. *Selecting Technologies and Devices for Campus Network*
5. *Testing the Network Design*

III. HASIL DAN EVALUASI

A. Rancangan Topologi Jaringan

Topologi jaringan yang dibuat diambil dari sebuah kasus topologi lengkap yang terdiri dari jaringan LAN dan WAN yang tergabung melalui jaringan nyata. Topologi jaringan dapat dilihat seperti pada Gambar 1. Seperti terlihat terdapat empat lokasi penting yang masuk di dalam topologi utuh, yaitu: *Head Office*, *Branch*, *Data Center* dan *DRC*.

Pada kantor *Head Office* terdapat sebuah *switch* dengan tiga buah VLAN. *Head office* adalah kantor pusat yang terdiri dari tiga buah VLAN yang terhubung ke sebuah *switch manageable*. *Switch* pada *Head Office* terhubung ke sebuah router utama.

Dari router utama terhubung jaringan *Data Center*, yaitu pusat pengolahan data kantor di mana terdapat kumpulan *server* (*server farm*) dan juga perangkat jaringan lainnya. Sama seperti pada *Head Office* di bagian *Data Center* juga terdapat sebuah *switch* yang membagi LAN ke dalam beberapa bagian VLAN atau *subnetwork*.

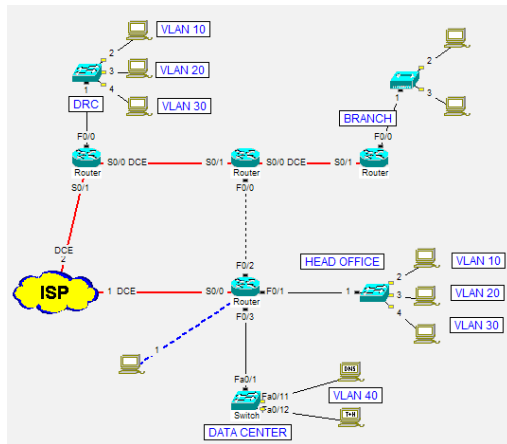
Router utama kembali terhubung ke *cloud* internet atau *Internet Service Provider* (ISP). Router utama menjadi memiliki peranan penting karena menjadi sentral koneksi ke beberapa titik kritis.

Yang terakhir *router* utama terhubung ke *router* di bagian atas yang akan menjadi jembatan untuk koneksi ke cabang. Koneksi di bagian ini adalah koneksi yang sudah disederhanakan. Pada kenyataannya koneksi ini akan terhubung melalui jaringan ekstranet dari *network service provider*. Karena dari sisi perspektif bagian ini transparan, maka menganggap bahwa terjadi koneksi langsung di topologi simulasi dapat dengan mudah dilakukan. Selain itu pada kebanyakan kasus koneksi di antaranya akan dilakukan lewat *Virtual Private Network* (VPN).

Router antara yaitu yang menjadi penghubung antara *router* utama *Head Office* dan *router* utama *branch* merupakan perumpamaan pihak *network service provider*. Router ini memiliki peran sentral sebagai penghubung WAN.

Branch memiliki koneksi tunggal ke *router* utama di bagian atas. *Branch*

juga memiliki topologi LAN yang serupa yaitu sebuah switch dengan dua buah VLAN.



Gambar 1 Rancangan topologi pelanggan

Bagian terakhir adalah *Data Recovery Center* (DRC). DRC memiliki peran sebagai bagian dari pusat keberlangsungan bisnis apabila terjadi bencana terhadap pusat bisnis yaitu *Head Office*. DRC pada umumnya memiliki topologi yang sama dengan *Head Office* bagian *Data Center*. Untuk itu seperti terlihat pada topologi di sini terlihat DRC memiliki sebuah *router* utama dan sebuah *switch* yang menjadi penghubung untuk beberapa buah VLAN.

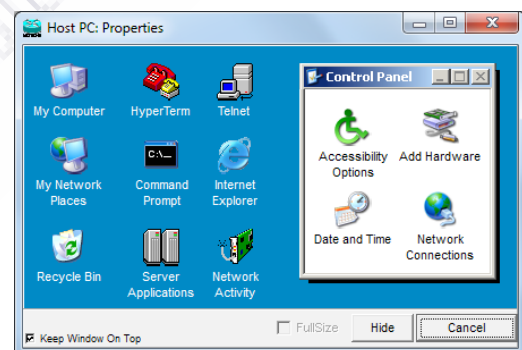
Dalam perspektif *Head Office* dan DRC, maka terdapat dua buah koneksi yang sejajar, di mana. *Head Office* memiliki koneksi WAN ke Internet dan *Network Service Provider* yang diwakili oleh sebuah *router*, demikian juga dengan DRC memiliki koneksi ke Internet (ISP) dan *Network Service Provider*.

Branch di sini hanya terhubung ke *Network Service Provider*. Pada beberapa

kasus *branch* juga memiliki akses ke internet atau ISP.

Di gambar bagian bawah terdapat sebuah komputer yang memiliki koneksi garis putus-putus ke router utama *Head Office*. Komputer ini adalah komputer tidak nyata dalam topologi. Komputer ini berfungsi sebagai emulator untuk melakukan konfigurasi *router* atau *switch* yang ada di simulator.

Fungsi dari komputer ini menjadi bagian penting dari simulator. Pada komputer ini terdapat beberapa macam aplikasi pengendali router di dalam simulator yang menyerupai aplikasi sesungguhnya pada komputer pengguna. Wujud aplikasi yang terdapat pada emulator komputer dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Aplikasi jaringan pada NetsimK

Gambar 2 menunjukkan beberapa aplikasi penting yang biasanya digunakan di dalam konfigurasi jaringan yang di-emulasi-kan oleh NetsimK. Di bagian kiri terdapat enam kelompok ikon dan di bagian *Windows Control Panel* terdapat empat buah ikon.

Fungsi-fungsi yang dapat

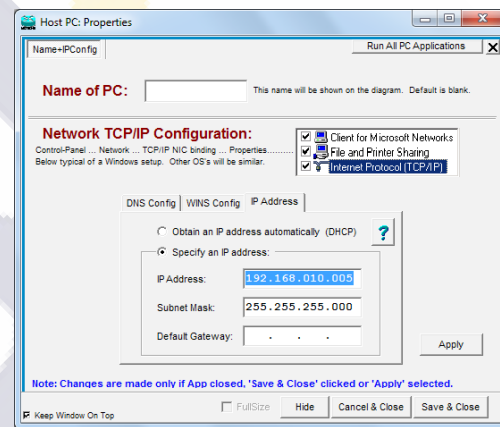
diaktifkan adalah HyperTerm, Telnet, Command Prompt, Internet Explorer, Server Application, Network Activity dan Network Connections.

Dalam perancangan ini akan lebih banyak digunakan fungsi Hyperterminal, Command Prompt dan Network Connections.

Hyperterminal berfungsi untuk melakukan akses ke perangkat *router* dan *switch* untuk menuju *console*. Di sini dapat dilakukan perintah-perintah *Command Line Interface (CLI)*. Fungsi aplikasi hyperterminal menjadi penting karena ini adalah satu-satunya akses menuju konsol perangkat jaringan *router* dan *switch* secara langsung. Pada kebanyakan perangkat juga terdapat akses ke konsol terminal yang dapat dilakukan melalui IP Address. Tetapi akses ini memiliki kelemahan apabila jaringan putus maka akses ke terminal harus dilakukan kembali secara langsung.

Aplikasi *command prompt* berfungsi untuk melakukan *command line* dari *console komputer*. Jika diperlukan ujicoba konektivitas dari komputer ke *router* maka *command prompt* merupakan salah satu cara yang paling banyak digunakan. Salah satu perintah yang digunakan adalah ping. Ping adalah aplikasi pengirim paket protokol ICMP untuk mendapatkan *echo reply* dari target, sehingga jika dikirimkan sinyal ICMP *echo request* dan *echo reply* maka konektivitas terbukti terhubung.

Perintah ping akan sering sekali digunakan dan menjadi salah satu alat uji konektivitas di dalam simulator dan keadaan nyata. Ping dapat dilakukan melalui *command prompt* di sisi komputer dan dilakukan melalui *console router* dan *switch* melalui program hyperterminal.



Gambar 3 Aplikasi network connections

Aplikasi berikut yang digunakan adalah aplikasi Network Connections. Aplikasi ini adalah aplikasi untuk melakukan konfigurasi IP Address di komputer. IP Address, Subnet Mask (SM) dan *gateway* harus diberikan terhadap setiap komputer agar menjadi bagian dari sebuah *sub network* atau *network*. Gambar 3 menunjukkan bagian dari aplikasi network connections.

Pada bagian *Name of PC* harus diisi dengan nama komputer sebagai identifikasi. Bagian ini dapat dikosongkan karena bersifat pilihan. Di kotak bagian kanan terlihat Internet Protocol (TCP/IP) sama seperti pada komputer dengan sistem operasi Windows juga akan menampilkan protokol yang sama pada bagian TCP/IP

properties.

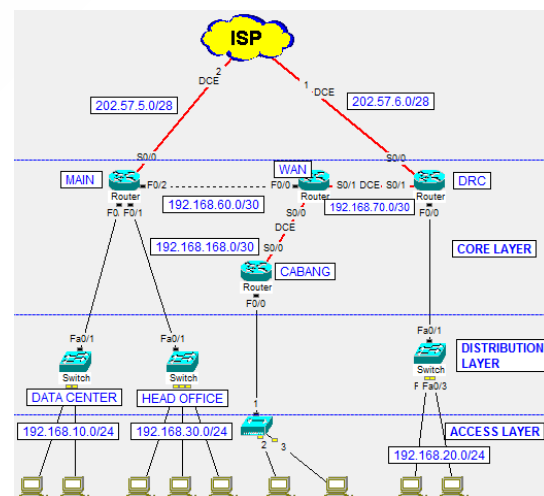
Di tab bagian bawah terdapat bagian IP Address yang harus diisi. Di sini terdapat bagian IP Address, *Subnet Mask* (SM) dan *Default Gateway*. Tombol *apply* berfungsi untuk mengaktifkan hasil konfigurasi.

Pada Gambar 1 terdapat tiga macam garis lagi selain garis putus-putus yaitu garis-garis penghubung antar perangkat jaringan komputer seperti *switch* dan *router* atau *switch* dan komputer. Garis hitam solid menunjukkan bahwa koneksi tersebut adalah koneksi menggunakan kabel UTP/STP dengan tipe koneksi kabel *straight thru* atau disebut *ethernet straight thru*. Untuk garis dengan warna merah adalah garis koneksi WAN. Koneksi WAN biasanya adalah koneksi serial. Di Sini terlihat koneksi WAN terjadi di bagian ISP dan *router* WAN yaitu *router* yang menjadi penghubung ke *Head Office*, *branch* dan DRC. Pada bagian *router head office* dan *router* WAN terdapat garis putus-putus tipis yang berarti bahwa garis tersebut adalah kabel *ethernet crossover*. Pada kenyataannya tidak mungkin dua buah *router* ini dihubungkan menggunakan kabel *ethernet crossover* karena ini adalah koneksi WAN. Konfigurasi yang mungkin adalah koneksi kabel serial WAN ataupun *ethernet straight thru*. Pemilihan *ethernet crossover* adalah untuk simulasi koneksi WAN.

B. Model Hirarkikal

Pada Gambar 1, topologi masih dalam bentuk biasa, artinya belum diubah dalam bentuk hirarkikal. Dengan simulasi, pengubahan bentuk hirarkikal sangat membantu proses analisis apakah rancangan topologi sudah benar mengikuti prinsip rancangan dasar. Pada dasarnya tidak ada perubahan koneksi, hanya tampilannya diubah dalam bentuk hirarkikal.

Bentuk hirarkikal mengikuti acuan yang sudah dijelaskan sebelumnya yaitu topologi dibuat dalam struktur tiga lapisan, yang terdiri dari *core layer*, *distribution layer* dan *access layer*. Masing-masing lapisan memiliki ciri khas, seperti: pada *core layer* biasanya terdapat perangkat jaringan *router*, pada lapisan distribusi terdapat perangkat jaringan *switch* dan pada lapisan akses terdapat komputer.



Gambar 4 Aplikasi network connections

Dari sini baru akan terlihat apakah perlu dilakukan perubahan terhadap topologi yang ada. Gambar 4

menunjukkan bagaimana topologi yang sebelumnya, telah disusun dalam bentuk hirarkikal. Perangkat jaringan disusun dan dikelompokkan dalam susunan *core layer*, *distribution layer* dan *access layer*.

Semua router yang berfungsi sebagai bagian dari jalur *backbone* atau jalur utama dikelompokkan di bagian *core layer*. Pada *distribution layer* terdapat *switch* yang berfungsi untuk melakukan distribusi akses. Di sini dapat dilakukan pembagian LAN menjadi beberapa *segment* yang lebih kecil dengan *sub network* yang berbeda ditandai dengan IP Address. Dalam rancangan ini dilakukan pengalamatan *classful* dengan tidak membaginya menjadi *sub network* yang lebih kecil. Pada bagian *access* adalah koneksi terakhir jaringan terhadap pengguna akhir.

Dalam Gambar 4 dapat dilakukan analisis lebih dalam seperti pada daerah *Head Office*, *Data Center* dan *router Main* tidak terdapat perangkat cadangan. Artinya bahwa setiap titik *switch* dan *router* akan menjadi *single point of failure*, yang berarti apabila terjadi kegagalan di titik tersebut maka sistem secara keseluruhan di bagian tersebut akan terputus. Cara pandang yang sama dapat digunakan pada bagian lain dari topologi seperti pada bagian DRC dan cabang, semuanya memiliki *single point of failure*.

Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dibuat *redundant path*. *Redundant path* biasanya akan dilakukan

di *distribution layer* menggunakan perangkat *switch* dan di *core layer* dengan menambah jumlah *router*.

Meskipun *redundant path* merupakan langkah yang jitu dan handal untuk menjamin ketersediaan layanan jaringan, opsi ini tidak selalu dipilih terkait dengan penyediaan perangkat yang cukup mahal, apabila harus dilakukan untuk setiap *single point of failure*. Solusi tengahnya adalah menyediakan perangkat yang siap pakai apabila koneksi jaringan terputus di salah-satu titik. Tentu saja solusi ini harus disesuaikan dengan model bisnis yang menggunakan jaringan tersebut. Apabila model bisnisnya memerlukan konektivitas yang berkelanjutan solusi ini bukanlah solusi yang tepat.

Dari perspektif hirarkikal, akan lebih mudah dimengerti bahwa dua titik utama yaitu Head Office dan Data Center dibandingkan dengan DRC memiliki koneksi yang sebanding yaitu koneksi WAN dan koneksi ISP. Kemudian masing-masing memiliki koneksi ke cabang melalui router WAN. Dari sini mudah dilihat kekurangan dari cabang yaitu di sana belum diberikan akses terhadap Internet.

Model hirarkikal akan sangat membantu di kemudian hari untuk melakukan pengembangan jaringan. Karena dengan model hirarkikal kelengkapan topologi dapat dilihat secara gambaran besar.

C. Penamaan dan IP Address

Pada Gambar 4 telah terdapat IP Address yang sudah dikelompokkan sesuai dengan bagian-bagian tertentu. IP Address tersebut dapat dikelompokkan seperti pada Tabel 2.

Ada dua penggunaan IP Address yaitu *classful* dan *classless*. *Classful* digunakan untuk daerah LAN dan *classless* digunakan untuk *direct link* antar router dengan WAN atau router dengan internet.

Setiap IP Address berpasangan dengan *Subnet Mask*. Nilai *subnet mask* untuk / 24 adalah 255.255.255.0, nilai *subnet mask* untuk /30 adalah 255.255.255.252 dan nilai *subnet mask* untuk /48 adalah 255.255.255.240. Nilai *subnet mask* akan menentukan bagian mana dari IP Address merupakan bagian *network* dan bagian mana dari IP Address yang merupakan bagian *host*.

Tabel 2 Pengelompokan IP Address

LOKASI	IP ADDRESS	SUBNET MASK
Data Center	192.168.10.0 / 24	255.255.255.0
Head Office	192.168.30.0 / 24	255.255.255.0
DRC	192.168.20.0 / 24	255.255.255.0
Cabang-WAN	192.168.168.0 / 30	255.255.255.252
Main-WAN	192.168.60.0 / 30	255.255.255.252
DRC – WAN	192.168.70.0 / 30	255.255.255.252
Main – Internet	202.57.5.0 / 28	255.255.255.240
DRC – Internet	202.57.6.0 / 28	255.255.255.240

D. Selecting Switching and Routing Protocols

Dalam sebuah VLAN dibutuhkan teknik *switching* dan konfigurasi khusus

yang perlu dilakukan di perangkat *switch*. Pada kasus ini VLAN tidak digunakan jadi hanya menggunakan *switch* untuk melakukan pemblokiran sinyal *broadcast MAC address*. Hal ini perlu karena *switch* akan meningkatkan unjuk kerja jaringan dibandingkan menggunakan perangkat *hub* biasa.

Untuk mengantisipasi penggunaan ke depan pemilihan *switch* juga menjadi lebih fleksibel, karena apabila terjadi pemecahan jaringan menjadi VLAN tidak lagi diperlukan pembongkaran atau perubahan topologi. Penggunaan *switch* yang digandeng akan lebih handal lagi karena proses konfigurasi dapat memiliki banyak variasi pengembangan.

Switch yang dikombinasikan dalam beberapa variasi dapat membentuk *broadcast storm* MAC Address. Untuk itu diperlukan *Spanning Tree Protocol* (STP). Dalam kasus seperti pada Gambar 4, tidak terdapat situasi yang demikian oleh sebab itu STP tidak dibutuhkan.

Switch harus selalu ditempatkan di posisi *distribution layer*, supaya proses perubahan lalu lintas data untuk mengantisipasi perubahan VLAN dapat dilakukan dengan mudah. Dalam *high availability network* penempatan *switch* untuk membentuk jalur ganda sangat penting, karena *switch* mampu melakukan pembuatan VLAN secara dinamis dan efisien.

Selanjutnya adalah pengaturan lalu lintas data. Topologi jaringan berada

di lapisan fisik. Secara fungsi lapisan ini hanya memberikan alur-alur lintasan, sekaligus memberikan segmentasi fisik, tetapi alur dari data yang akan melewati lintasan tersebut belum diarahkan. Dalam sebuah jaringan pengaturan lintasan tidak dapat dilihat secara visual oleh mata, demikian juga di dalam simulator ini pengaturan lalu lintas data tidak dibuat dalam bentuk gambar tetapi dilakukan melalui konfigurasi daripada masing-masing perangkat jaringan.

Pengaturan lalu lintas data dilakukan di perangkat jaringan *router* yang berada di lapisan *core*. Pengaturan lalu lintas data dilakukan oleh *protocol routing* yang didukung oleh masing-masing *router*. Pada dasarnya ada dua jenis *routing protocol* yang dapat dilakukan oleh sebuah *router*, yaitu: *routing statik* dan *routing dinamis*.

Routing statik dilakukan secara manual oleh masing-masing administrator jaringan di tiap organisasi. *Routing statik* harus dilakukan secara langsung pada perangkat *router* melalui koneksi *hiperterminal* menggunakan komputer yang terhubung melalui *port console* yang ada di setiap *router*. Prosesnya harus menggunakan kabel *console*.

Routing statik memiliki keunggulan seperti cepat, tidak memerlukan periode pembaharuan, tidak ada *overhead* lalu lintas data yang perlu dikirimkan ke *router* tetangga. Kelemahan dari *routing statik* adalah sulit sekali bilamana harus

dilakukan pada topologi yang luas, karena secara fisik semua perangkat harus didatangi langsung pada saat konfigurasi atau bilamana terjadi kegagalan koneksi dari jarak jauh. *Routing statik* tidak dapat mengantisipasi perubahan topologi, dengan demikian secara otomatis koneksi akan putus bilamana topologi berubah. Selain itu *routing statik* memakan banyak waktu untuk dikonfigurasi. *Routing statik* sulit sekali digunakan untuk *high availability network*.

Routing dinamis terdiri dari *interior* dan *exterior routing protocol*. Pada Gambar 4, hanya dibutuhkan *routing internal* karena *routing external* hanya digunakan antar dua *autonomous system* yang berbeda. Sebuah *autonomous system* adalah sebuah *cloud network* yang sangat besar sehingga antar *autonomous system* diperlukan *routing protocol* yang lebih cocok untuk mengantisipasi dua atau lebih *cloud*.

Internal routing protocol yang dapat dipakai dapat berupa *distance vector routing protocol* seperti RIP, *link state routing protocol* seperti OSPF ataupun *hybrid routing protocol* seperti EIGRP.

Kedua jenis *routing protocol* ini dapat digunakan di LAN. Untuk kasus pada Gambar 4 dapat digunakan kombinasi antara statik dan dinamik *routing protocol*.

Statik routing protocol akan langsung dikonfigurasi pada tiap-tiap *router* sedangkan *dinamik routing protocol* akan dilakukan pada tiap-tiap

router tetapi tidak perlu mengubah lagi bilamana terjadi perubahan topologi jaringan, karena dinamik *routing protocol* dapat mengantisipasi dan beradaptasi dengan perubahan tersebut.

E. *Selecting Technologies and Devices for Campus Network*

Teknologi LAN yang umum digunakan seperti pada Gambar 4 adalah teknologi *ethernet*. Teknologi *ethernet* pada dasarnya menggunakan prinsip pengiriman paket data lewat *shared medium*. Caranya dengan melakukan pendeteksian *collision*. Teknik ini menggunakan metode *Carrier Sense Multiple Access Collision Detection* (CSMA/CD).

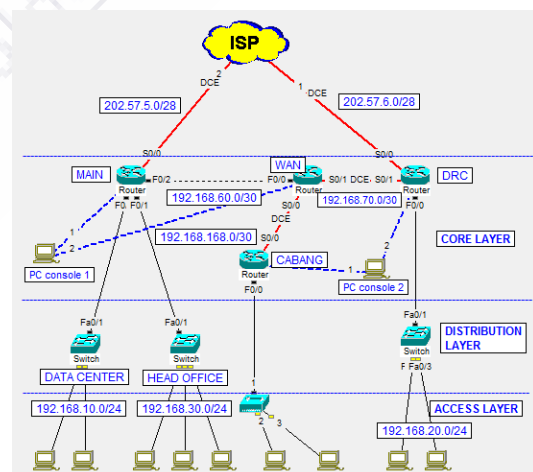
Penentuan teknologi akan berpengaruh terhadap setiap *interface* yang digunakan oleh masing-masing *router* dan *switch*. Pada contoh ini untuk teknologi *ethernet* menggunakan *interface ethernet* 10 MBps atau *fastethernet* 100 MBps. Beberapa produk terakhir sekarang sudah memiliki standar minimal 1 Gbps atau 10 Gbps.

Penerapan *bandwidth* untuk teknologi internet harus lebih bijaksana dengan meletakkannya pada topologi yang tepat, seperti misalnya penggunaan *bandwidth* besar di bagian *backbone* dan *bandwidth* yang lebih kecil di tingkat *distribution* dan *access layer*. Jika rancangan topologi tidak tepat akan menyebabkan jaringan tersendat atau

bahkan mati karena terjadi *bottleneck bandwidth*.

F. *Testing the Network Design*

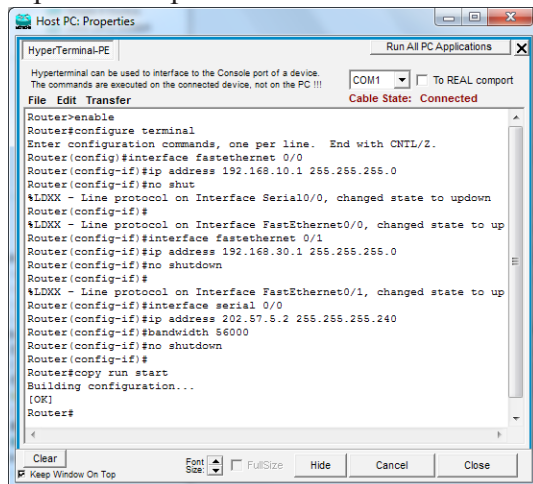
Pada bagian ujicoba akan dilakukan setelah konfigurasi selesai. Untuk melakukan konfigurasi maka perlu komputer untuk mengakses *router* yang akan dikonfigurasi. Untuk itu di sini akan digunakan dua buah komputer PC *console* 1 dan PC *console* 2 untuk mengkonfigurasi *Router Main*, *WAN*, *Cabang* dan *DRC*. Pada *NetsimK* sebuah PC *console* dapat digunakan untuk mengkonfigurasi dua buah *router*. Satu menggunakan koneksi serial 1 dan satu koneksi lagi menggunakan interface serial 2. Konektivitas PC *console* dapat dilihat seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Konektivitas PC console 1 dan 2

Langkah konfigurasi dimulai dengan masuk melalui PC console 1 dan memilih aplikasi *hyperteminal*. Setelah *Hyperterminal* terhubung ke *console router Main* maka CLI *router* sudah siap. Contoh konfigurasi untuk *router Main*

dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Konfigurasi IP Address pada router Main

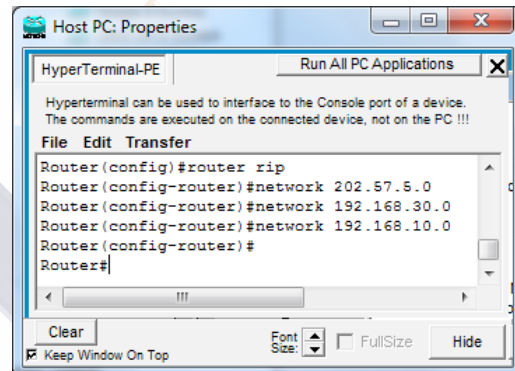
Gambar 6 menunjukkan proses konfigurasi yang dilakukan untuk setiap *interface* yang ada pada router utama. Konfigurasi yang dilakukan yaitu untuk memberikan IP Address pada tiap-tiap *interface*. Khusus untuk *interface* serial diberikan tambahan bandwidth 64000 Kbps. *Interface* ini akan terhubung dengan *cloud* internet.

Selanjutnya proses pemberian *routing protocol* ada dilakukan dengan menggunakan RIP seperti terlihat pada Gambar 7.

Pada Gambar 7 diperlihatkan proses konfigurasi yang dilakukan pada *console router Main* dengan memberikan arahan *network* yang terhubung langsung ke *router Main* pada *routing protocol* RIP.

Hasil ujicoba yang dilihat dari *router Main* menunjukkan beberapa *sub network* yang sudah terhubung pada Gambar 8 dan hasil ping menuju IP Address

192.168.70.3 yang berada di lokasi *router DRC* menghasilkan sukses dengan simbol tanda seru seperti terlihat pada Gambar 9.

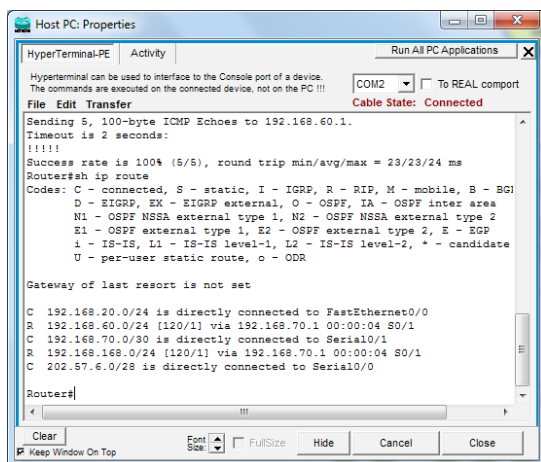


Gambar 7 Konfigurasi Routing Protocol RIP router Main

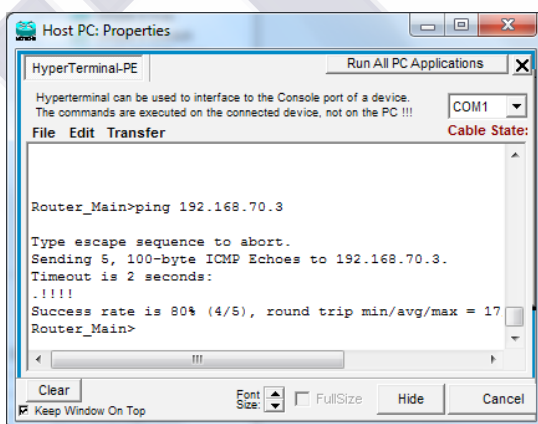
Gambar 8 menunjukkan isi dari *routing table*. *Routing table* menunjukkan subnetwork apa saja yang sudah terhubung atau dikenal oleh router Main. Di sana terdapat simbol C dan R. Simbol C menunjukkan bahwa *interface* atau *subnetwork* bersangkutan terhubung langsung kepada *interface router*, sedangkan simbol R menunjukkan pada *sub network* terhubung melalui *routing protocol* lewat *interface router* lain. Penggunaan perintah *show ip route* bermanfaat untuk melihat hasil konfigurasi apakah sudah mampu menghubungkan semua *sub network* atau belum.

Sedangkan pada Gambar 9, ditunjukkan hasil dari ujicoba ping yang dilakukan dari *router Main* menuju *router DRC*. Hasil berupa tanda titik dan tanda seru. Tanda titik berarti bahwa koneksi putus dan tanda seru berarti koneksi terhubung. Dalam beberapa kasus simulator NetsimK mampu menghasilkan

simulasi ketidakstabilan koneksi. Pada kenyataan koneksi dapat saja tidak stabil yang ditunjukkan dengan hasil ping yang berisi tanda titik-titik. Biasanya agar dapat dikatakan stabil tanda titik harus sama dengan nol atau tidak boleh ada *intermitten* sama sekali.



Gambar 8 Subnetwork yang terhubung oleh RIP



Gambar 9 Hasil ujicoba ping

IV. KESIMPULAN

Dari beberapa percobaan yang dilakukan melalui proses perancangan jaringan mengikuti metode yang baku telah terlihat bahwa simulator jaringan NetsimK mampu digunakan untuk merancang ,

melakukan konfigurasi dan melakukan ujicoba rancangan sebuah topologi jaringan yang lengkap. Netsimk memiliki beberapa emulator perangkat jaringan seperti komputer, *router*, *switch*, *hub* dan kabel. NetsimK juga memiliki fungsi konfigurasi melalui *console* dari perangkat *router* atau *switch* dan juga melalui konfigurasi langsung terhadap komputer. Netsimk juga dapat menunjukkan hasil ujicoba yang menunjukkan kesuksesan koneksi.

Sebagai sebuah simulator jaringan NetsimK memiliki kemampuan yang lebih dari cukup untuk digunakan merancang topologi jaringan hingga tahap implementasi. Dengan adanya simulator jaringan jenis ini perancangan jaringan komputer akan jauh lebih mudah dan mampu meminimalisir kesalahan di lapangan.

Programnya yang kecil dan ringan serta mudah dalam penggunaan sangat cocok juga digunakan di lingkungan pendidikan di mana penggunaan perangkat nyata akan membutuhkan biaya yang sangat tinggi. Begitu juga dengan resiko kerusakan pada saat praktek dapat diminimalisir.

V. DAFTAR RUJUKAN

- [1] *NetSimK*. [online]. <http://netsimk.com/index.html>, diakses 30 Maret 2007.
- [2] I. Sofana. Cisco CCNA & Jaringan

Komputer. Bandung: Penerbit Informatika, 2012, hlm. 14.

- [3] I. Sofana. Cisco CCNP & Jaringan Komputer. Bandung: Penerbit Informatika, 2012, hlm 34.
- [4] A. Dennis. *Networking in The Internet Age*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2002, hlm 23.
- [5] K. Jayaswal. *Administering Data Center: Server, Storage and Voice over IP*. Indiana Polis:IN:John Wiley, Inc, 2006, hlm. 441.
- [6] P. Oppenheimer. *Top-Down Network Design*. Third Edition. Indiana Polis:IN:Cisco Press, 2010, hlm. 6.