

Penentuan Jalur Evakuasi Bencana Kebakaran Di Gedung Menggunakan Algoritma Jalur Jamak

Agung Hadhiatma¹⁾, Agung Hernawan²⁾, Tjendro³⁾

Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi,

Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta

e-mail: agunghad@usd.ac.id¹⁾, agung.h@usd.ac.id²⁾, tjendro@usd.ac.id³⁾

Abstrak

Manajemen bencana pada gedung merupakan hal yang perlu diperhatikan bagi pengelola gedung. Salah satu manajemen bencana kebakaran pada gedung adalah penentuan jalur penyelamatan keluar dari gedung. Guna mengurangi risiko terhadap bencana di gedung, penelitian ini mengusulkan sistem evakuasi penghuni dan pengunjung gedung terhadap bencana kebakaran. Sistem ini akan membantu penghuni gedung dalam menyelamatkan diri, dengan menghindari tempat yang berbahaya ataupun berisiko dan memilih jalur/tempat yang aman. Penentuan jalur evakuasi tergantung dari posisi letak titik-titik kebakaran dan posisi dari penghuni. Penentuan jalur evakuasi diolah oleh jejaring piranti embedded. Jejaring piranti embedded tersebut merepresentasikan peta titik/node dan jalur didalam suatu gedung. Masing-masing piranti embedded dilengkapi dengan sensor deteksi kebakaran dan layar TV/panel output. Algoritma dan protokol komunikasi untuk menentukan jalur evakuasi ditanam dalam jejaring piranti embedded tersebut. Setelah peta node dan jalur terbentuk oleh protokol komunikasi, algoritma routing penentuan jalur dijalankan. Penentuan jalur evakuasi bencana ini membutuhkan rute jalur jamak. Penelitian ini mengembangkan algoritma ruting Bellmand Ford untuk dapat menangani routing jalur jamak (multi-path route). Routing jalur jamak dimaksudkan untuk dapat mengurangi beban arus dari banyak titik.

Kata kunci: penentuan jalur evakuasi, jaringan piranti embedded, routing jalur jamak

1. Pendahuluan

Salah satu manajemen bencana kebakaran pada gedung adalah bagaimana menentukan jalur penyelamatan keluar dari gedung^[1]. Ketika bencana kebakaran terjadi, penghuni maupun pengunjung gedung tidak tahu dimana posisi api. Akibatnya apabila penghuni memilih jalan yang salah dalam penyelamatan diri, pengunjung dapat mendekati titik api dan akhirnya tidak bisa keluar, terjebak di dalam gedung. Biasanya pengunjung tidak mengetahui atau memperhatikan denah ruang, pintu darurat, dan pintu keluar. Meskipun penghuni sudah diberi pelatihan, kadangkala penghuni gedung mempunyai kecenderungan untuk menjadi bingung dan tidak bisa berpikir dalam menyelamatkan dirinya sendiri^[2]. Bencana adalah sesuatu yang tidak dapat dihindari akan tetapi dapat diminimalkan tingkat kerugian maupun korbannya. Resiko korban dapat dihilangkan atau dikurangi dengan jalan memberikan informasi yang tepat pada pengunjung ketika bencana terjadi.

Penelitian ini mengusulkan sistem evakuasi penghuni dan pengunjung gedung terhadap bencana kebakaran. Sistem ini akan membantu penghuni gedung dalam menyelamatkan diri, dengan menghindari tempat yang berbahaya ataupun berisiko dan memilih jalur/tempat yang aman. Sistem evakuasi juga akan menunjukkan tempat untuk keluar dari gedung secara cepat dan aman. Penentuan jalur evakuasi tergantung dari posisi letak titik-titik kebakaran dan posisi dari penghuni, serta jalur yang tersedia menuju titik aman. Untuk posisi yang berbeda, setiap penghuni gedung dapat mendapatkan jalur/peta penyelamatan yang berbeda.

Berdasarkan kegiatan survey yang telah dilakukan dalam penelitian ini, biasanya sebuah gedung mempunyai alarm dan sensor kebakaran. Pada beberapa gedung sudah terdapat layar TV yang berfungsi sebagai hiburan atau media iklan yang sudah terpasang. Pada penelitian ini panel informasi (layar TV) dan sensor kebakaran (alarm kebakaran) yang sudah terdapat pada suatu gedung, akan diintegrasikan dengan teknologi *embedded system*. Piranti *embedded* tersebut dirancang untuk terhubung satu sama lain dalam satu jaringan yang disebut jaringan berbasis piranti *embedded*. Piranti *embedded* dalam jaringan tersebut dianggap sebagai sebuah *node*, dan hubungan antar piranti dianggap sebagai sebuah *edge*.

Jejaring piranti *embedded* tersebut merepresentasikan peta *node* dan *edge* di dalam suatu gedung. Masing-masing piranti *embedded* dilengkapi dengan sensor dan layar TV. Bila didalam suatu gedung tidak terdapat layar TV dapat diganti dengan piranti *output* yang lain. Lewat jaringan piranti *embedded system*, terjadi pertukaran informasi mengenai lokasi bahaya api. Kebakaran di suatu lokasi pada gedung akan dideteksi oleh suatu sensor kebakaran. Informasi kebakaran pada suatu lokasi akan di *broadcast* oleh piranti *embedded/node* terdekat ke semua *node* yang lain. Pada jaringan *embedded* akan terjadi pertukaran informasi mengenai lokasi terjadinya kebakaran. Informasi tersebut dapat diperbarui secara *real time*. Pertukaran informasi dilakukan dengan memanfaatkan protokol *routing*. Setelah semua *node* mengetahui/memetakan lokasi terjadinya kebakaran, *node* dan *edge* tersebut akan membentuk sebuah jalur evakuasi yang akan menginformasikan kepada pengunjung titik-titik mana yang merupakan jalur aman untuk menuju pintu keluar. Informasi/petunjuk evakuasi masing masing titik diinformasikan dalam panel TV. Dalam penelitian ini, protokol *routing* untuk jaringan internet ini dimodifikasi dan diadopsi untuk tujuan penentuan jalur evakuasi secara dinamis. Protokol *routing* beserta algoritmanya kemudian ditanam dalam jaringan piranti *embedded*. Protokol *routing* pada jaringan internet adalah protokol yang menentukan jalur yang akan dilewati oleh paket data dalam komunikasi internet^[3]. Routing merupakan proses pencarian jalur untuk memindahkan paket informasi dari sumber ke tujuan dalam sebuah jaringan komputer yang dilakukan secara dinamis dan *real time*. Informasi penentuan rute pada evakuasi bencana kebakaran dipilih menggunakan *routing* dinamis karena rute atau peta jalur dapat berubah menyesuaikan kondisi di lapangan. Kondisi di lapangan menuntut sistem harus dapat menangani perubahan informasi yang dinamis mengenai putusnya suatu jalur akibat terjadinya bencana. Jalur dimana terjadi kebakaran ataupun titik api diasumsikan jalur tersebut terputus/tidak dapat dilewati. Informasi yang terbaru mengenai peta jalur secara dinamis akan selalu di-*update* dan digunakan untuk menentukan jalur penyelamatan secara dinamis.

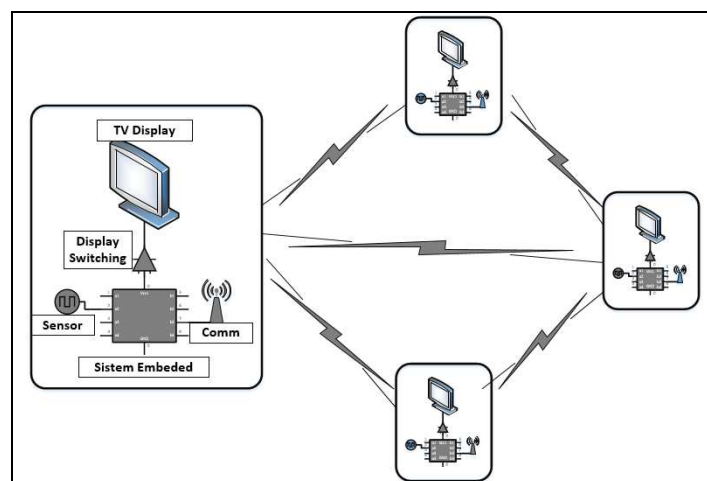
Salah satu permasalahan dalam penelitian ini adalah mengajukan suatu algoritma untuk pencarian jalur evakuasi bencana api di gedung tertutup dalam suatu jaringan sistem *embedded*. Setiap posisi (titik dan jalur) dalam suatu gedung akan terdapat informasi/petunjuk arah untuk menuju tempat aman. Algoritma tersebut mampu menangani hal-hal berikut ini:

1. Rute yang terbentuk dapat mempunyai rute yang berbeda untuk tiap titik dan jalur,
2. Dimungkinkan untuk mempunyai rute penyelamatan multijalur,
3. Rute yang terbentuk setiap saat dapat berubah menyesuaikan dengan kondisi perambatan api.

2. Metode Penelitian

2.2 Metode Penelitian

Untuk mengatasi penanganan evakuasi bencana penelitian ini menawarkan sistem yang lebih murah. Secara umum perancangan sistem terdiri dari perancangan perangkat keras, perancangan protokol dan perancangan algoritma. Perancangan perangkat keras merupakan perancangan jejaring sistem *embedded*. Jejaring sistem *embeded* yang dibuat mempunyai arsitektur sebagai berikut



Gambar1. Arsitektur Jejaring Sistem Embedded

1. Perancangan perangkat keras yang terdiri dari:
 - perancangan sensor deteksi kebakaran dan penguat Opamp,

- perancangan dan implementasi switcing relay yang menghubungkan sistem embedded dan layar monitor. Switching relay ini secara otomatis akan menghubungkan layar monitor TV ke sistem embedded. Layar TV digunakan untuk memberitakan kepada pengunjung arah/rute jalur evakuasi.
2. Simulasi program evakuasi bencana berbasis jaringan computer. Instalasi ini membutuhkan instalasi jaringan dan pemrograman jaringan. Pemrograman jaringan menggunakan protokol Routing dan algoritma pencarian rute terpendek . Protokol routing adalah protokol yang mengatur bagaimana masing-masing *node* saling mengenal satu-sama lain dan saling memberi informasi mengenai status putusnya jalur atau node. Informasi tersebut dibutuhkan untuk membentuk topologi *graph* yang akan digunakan dalam proses penentuan jalur^[7]. Secara umum proses simulasi tersebut meliputi
 - *Flooding* : Proses pengenalan dan identifikasi masing-masing titik dan jalur dalam jaringan embedded untuk pembentukan tabel routing
 - *Komputasi* : Proses komputasi penentuan jalur
 - *Update* : Proses komputasi dinamis untuk perubahan tabel routing dan perubahan jalur evakuasi
 3. Mengintegrasikan perangkat keras sensor dan display, serta protokol *routing* beserta algoritma pencarian jalur evakuasi kedalam sistem *embedded*.

Pada tulisan ini akan dibahas algoritma pencarian jalur evakuasi bencana kebakaran. Pencarian jalur tidak hanya mencari jalur terbaik, tetapi juga jalur alternatif. Algoritma pencarian jalur secara umum dapat memanfaatkan algoritma Bellman Ford ataupun Dijkstra^[8], namun pada algoritma tersebut hanya mencari jalur terbaik. Untuk itu pada tulisan ini akan disajikan modifikasi dari algoritma pencarian jalur versi Bellman Ford agar juga dapat memberikan jalur pencarian jamak (*multi-path route*) ketika terjadi bencana kebakaran.

Algoritma Pembentukan Jalur menurut algoritma Belman Ford

1. Initialization
 - Untuk setiap node ke i mempunyai satu baris untuk setiap tujuan d
 - Jarak d ke dirinya sendiri : $Dd(d) = 0$
 - Jarak dari *node* j ke d tak hingga $Dj(d) = \infty$, for $j \neq d$
 - Bila tak dapat didifinisikan jarak ke node berikut Next *node* $nj = -1$
2. Bangkitkan *vector* jarak yang baru ke *node* tetangga
3. Langkah berikut
 - a. Untuk setiap jarak tujuan d cari *hop* berikut yang memberikan jarak ke d yang paling kecil,

$$\text{Min } j \{ Cij + Dj(d) \}$$
 bila menemukan *node* berikut dengan jarak yang lebih kecil d Ganti nilai lama (nj , $Di(d)$) ke nilai baru (nj^* , $Dj^*(d)$)
 - b. Ulang langkah 2 sampai tidak ada perubahan jarak

Pada rancangan jalur jamak untuk evakuasi bencana dilakukan dengan menentukan jalur utama dan jalur alternatif. Untuk kebutuhan pencarian jalur jamak evakuasi bencana kebakaran, perlu dilakukan modifikasi algoritma protokol *routing*. Adapun modifikasinya adalah sebagai berikut:

Pada algoritma pencarian jalur terpendek pada protokol *routing*, pada umumnya tiap-tiap *node* melakukan pencarian jalur dari *node* tersebut ke semua *node* tujuan yang terdapat dalam topologi *graph*. Sedangkan untuk menentukan jalur utama dilakukan dengan modifikasi perhitungan algoritma Bellman Ford, sehingga semua *node* dalam *graph* dapat diarahkan ke jalur aman untuk menuju satu titik keluar. Bila sudah terdapat peta pengetahuan jalur keluar pada semua *node*, maka jalur terpadat dapat ditentukan, yang selanjutnya dipakai untuk menghitung jalur alternatif.

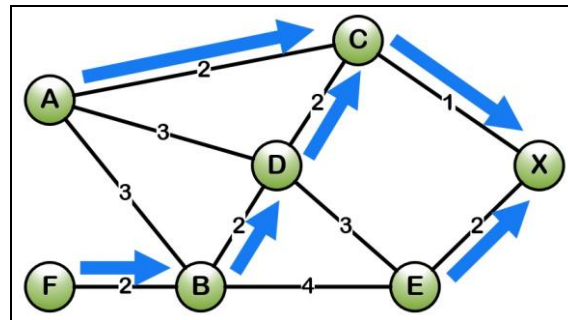
Jalur alternatif diperoleh dengan jalan menghapus jalur yang terpadat, yaitu jalur yang paling banyak mendapatkan jalur masuk atau paling banyak menjadi tujuan dari *node-node* yang sebelumnya (dari hasil perhitungan penentuan jalur utama). Jika ditemukan beberapa jalur yang memungkinkan untuk dihapus, maka dipilih jalur yang paling dekat dengan tujuan / titik aman. Pertimbangan penghapusan jalur tadi berdasarkan asumsi: suatu jalur yang menjadi tujuan dari banyak *node* dan yang paling dekat pintu keluar adalah jalur yang padat. Sebaliknya bila jalur yang padat, merupakan satu-satunya jalur yang menuju ke *node* keluar, maka jalur tersebut tidak memungkinkan untuk dihapus. Pada kondisi ini perhitungan jalur alternatif tidak dapat dilakukan.

Jalur jamak untuk evakuasi bencana adalah hasil *union* dari jalur utama dan jalur alternatif. Jalur alternatif dapat mengurangi kepadatan jalur tertentu, sehingga memperbesar peluang agar pengunjung

dapat segera keluar dari gedung. Jalur alternatif mempunyai batasan sebagai berikut: Bila ada jalur yang berlawanan atau sejajar dengan jalur utama, maka jalur alternatif tersebut akan diabaikan/dihapus.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari percobaan disimulasikan pada gambar dibawah ini. Pada gambar, *node* merepresentasikan persimpangan antar jalur di dalam gedung. Beban diperhitungkan sebagai jarak antar *node*. Seperti telah dijelaskan dalam tulisan di atas: dalam implementasi perangkat keras *node* merupakan piranti *embedded* yang dilengkapi dengan sensor dan display TV.



Gambar 2. Hasil algoritma Percobaan 1, Pencarian Jalur Utama

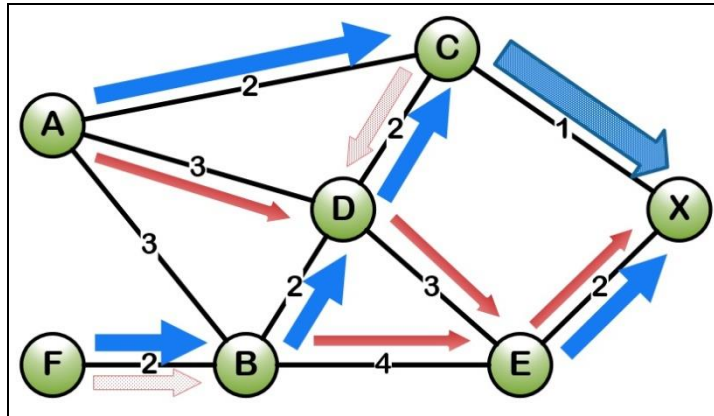
Pada percobaan 1, Pencarian Jalur Utama: Terlihat pada gambar di atas, *node* X merupakan titik zona aman. Semua *node* masing-masing mempunyai jalur menuju zona aman. Panah penunjuk ditampilkan oleh display TV. Sedangkan jalur yang tidak terdapat anak panah akan dinformasikan pada display TV sebagai jalur terlarang (tidak boleh dilewati). Jalur panah tersebut akan menuntun penghuni gedung untuk menuju zona aman. Rangkaian anak panah dari masing-masing *node* menuju zona aman merupakan jalur terpendek yang diselesaikan dengan Algoritma BelmandFord. Perhitungannya tampak pada tabel 1, berikut ini:

Tabel 1. Perhitungan Pencarian pada percobaan ke-1

Iterasi	Node A	Node B	Node C	Node D	Node E	Node F
Init	(-1,∞)	(-1,∞)	(-1,∞)	(-1,∞)	(-1,∞)	(-1,∞)
1	(-1,∞)	(-1,∞)	(X,1)	(-1,∞)	(X,2)	(-1,∞)
2	(C,3)	(E,6)	(X,1)	(C,3)	(X,2)	(-1,∞)
3	(C,3)	(D,5)	(X,1)	(C,3)	(X,2)	(B,7)

Isi dari tabel 1 merupakan hasil simulasi perhitungan jalur terpendek. Jalur evakuasi yang dihasilkan adalah: dari *node* A dengan jalur A-C-X; dari *node* B dengan jalur B-D-C-X; dari *node* C dengan jalur C-X; dari *node* D dengan jalur D-C-X; dari *node* F dengan jalur B-D-C-X; dan dari *node* E dengan jalur E-X

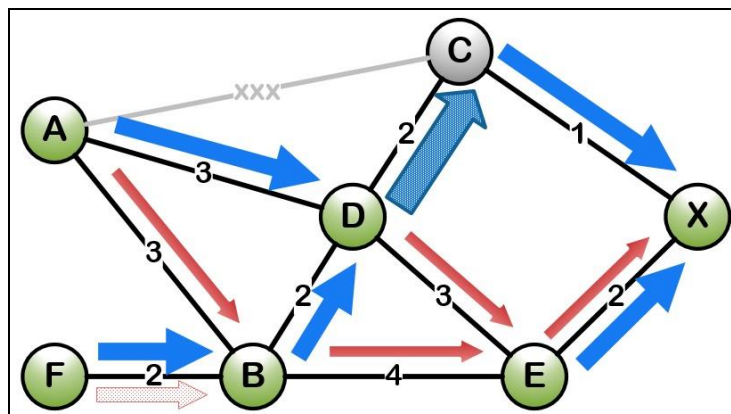
Namun, terlihat pada gambar masih terdapat jalur yang sebenarnya masih aman untuk dilewati untuk menuju zona aman, tetapi dengan algoritma penentuan jalur terpendek tersebut, tiap-tiap *node* hanya menghasilkan satu jalur untuk menuju zona aman. Satu jalur yang dihasilkan dari algoritma Bellmand Ford dapat menyebabkan tingkat kepadatan yang tinggi (jalur C-X) dari arus penghuni yang menyelamatkan diri, karena tidak ada alternatif jalur yang lain. Untuk mengurangi kepadatan dalam jalur, maka dijalankan algoritma pencarian jalur alternatif. Hasil perhitungan ini tampak pada percobaan ke-2 pada gambar 3.



Gambar 3. Jalur Jamak = Jalur Utama + Jalur Alternatif

Jalur alternatif dihasilkan dengan penghitungan kembali (*re-compute*) algoritma Bellman Ford dengan asumsi menghapus jalur yang padat (jalur yang paling banyak mendapat jalur masuk evakuasi), jalur tersebut mempunyai jarak paling dekat dengan zona aman. Jalur yang padat biasanya mempunyai *edge* (sisi) bobot yang paling kecil. Hal ini diperlihatkan pada gambar di atas. *Node C* mempunyai jalur masuk evakuasi paling banyak (terlihat ada 2 anak panah yang masuk) dan paling dekat dengan zona aman (*node X*). Terlihat juga bahwa jalur C-X mempunyai bobot paling kecil yaitu 1.

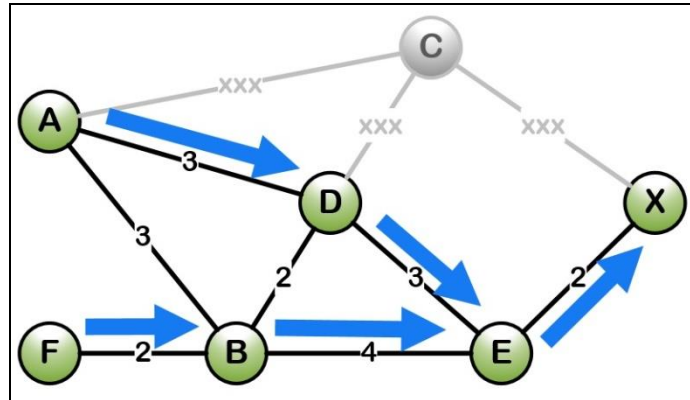
Untuk perhitungan kembali *re-route* Bellman Ford, diasumsikan jalur C-X dihapus. Hasil perhitungan jalur alternatif (panah kecil warna merah ketika jalur C-X dihapus) dikombinasikan (operasi *union*) dengan perhitungan jalur utama (panah besar warna biru, ketika jalur C-X belum dihapus) akan menghasilkan jalur jamak. Terdapat aturan tambahan ketika jalur utama dan jalur alternatif searah ataupun berlawanan, maka jalur alternatif diabaikan (contoh panah kecil warna merah sisi C-D).



Gambar 4. Jalur Evakuasi ketika Terjadi Kebakaran/Putus pada Jalur

Ketika sensor mengidentifikasi terjadinya kebakaran, maka protokol routing akan memperbaharui topologi *graph*-nya, kemudian algoritma pencarian jalur jamak evakuasi bencana akan bekerja. Pada gambar 4, terjadi deteksi kebakaran oleh sensor disisi A-C. Hasil deteksi kebakaran akan diinformasikan ke seluruh *node* yang lain. Bila terjadi deteksi kebakaran di sisi A-C akan diinformasikan ke *node* yang lain bahwa *node* A-C sudah putus. Hasil informasi tersebut digunakan untuk membentuk topologi *graph* yang baru. Topologi *graph* yang baru digunakan untuk mencari jalur jamak evakuasi bencana yang baru. Penghuni di sepanjang A-C dapat menuju ke titik A maupun C. Gambar panah besar warna biru menunjukkan rute penyelamatan yang utama sedangkan gambar panah kecil warna merah menunjukkan rute penyelamatan alternatif.

Ketika sensor mendeteksi kebakaran di *node C*, maka akan diinformasikan ke *node* yang lain bahwa sisi-sisi yang menuju ke C dianggap putus (sisi: A-C, D-C, X-C). Topologi *graph* yang terbentuk akan digunakan untuk mencari jalur jamak evakuasi bencana yang baru.



Gambar 4. Jalur Evakuasi ketika Terjadi Kebakaran/Putus pada *Node*

Di dalam kasus ini, jalur jamak tidak dapat terbentuk karena berdasarkan asumsi jalur yang akan dihapus yaitu jalur yang paling banyak mendapatkan jalur masuk dan yang paling dekat dengan titik aman, merupakan satu-satunya jalur yang menuju ke titik aman. Oleh karena itu jalur E-X tidak dapat dihapus. Perhitungan hanya dapat menghasilkan jalur utama saja.

4. Kesimpulan

Algoritma yang telah dikembangkan dalam penelitian ini telah berhasil diujicobakan untuk menentukan jalur rute jalur penyelamatan, dimana titik dan jalur dalam gedung tersebut diwakili oleh jejaring piranti *embedded*. Algoritma tersebut telah memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1. Mampu untuk membentuk rute yang berbeda untuk tiap titik
2. Rute yang terbentuk dapat berubah menyesuaikan dengan kondisi titik kebakaran.
3. Dimungkinkan untuk mempunyai rute penyelamatan jalur jamak.

Daftar Pustaka

- [1] Chao,E.L and Henshaw,J.L. How to Plan for Workplace Emergencies and Evacuations. OSHA 3088. 2001.
- [2] Fahy, R.F. Proulx, G., Panic and human behaviour in fire July 13. Proceedings of the 4 th International Symposium on Human Behaviour in Fire, Robinson College, Cambridge, UK, July 13 2009, pp.387-398.
- [3] Halabi, B. Internet Routing Architectures, Second edition Cisco Press, 2000.
- [4] Pan,X, Han,C.S, Dauber,K, Law,K.H. A Multi-agent Based Framework for the Simulation of Human and Social Behaviors during Emergency Evacuations. Journal AI&Society. Springer-Verlag London UK. October 2007. Volume 22, pages 113-132.
- [5] Kuligowski ,E.D. The Process of Human Behaviour in fires. Fire Research Division Building and Fire Reserach Laboratory. National Institute of Standards and Technology Technology Technical Note 1632. May 2009. Natl.Inst.Stand.Tech.Note 1632,15 pages CODEN:NSPUE.
- [6] Filippouolitis,A. and Loukas,G. Stelios Timothou, S. Emergency Response Systems for Disaster Managent in Buildings. Intelligent Systems and Networks Group Dept. of Electrical Electronic Engineering Imperial College London. 2009.
- [7] Huston, G. Interconnection, Peering and Settlements. The Internet Protocol Journal. March and June 1999.
- [8] Deepankar, M. Karthikeyan, R. Network Routing: Algorithms, Protocols, and Architectures, Morgan Kaufmann Publishers. Elsevier. 2007.