

SIMULASI EVAKUASI KEADAAN DARURAT: STUDI KASUS APARTEMEN XYZ, SURABAYA

Ahmad Saikhu, Joko Lianto Buliali, Cempaka A. Swastyastu
*Jurusan Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya*
E-mail: saikhu@its-sby.edu, joko@its-sby.edu, dheepa@cs.its.ac.id

ABSTRAK

Cepat lambatnya proses evakuasi suatu gedung bertingkat menentukan tinggi rendahnya faktor keselamatan manusia apabila sampai terjadi bencana seperti kebakaran pada gedung tersebut. Semakin pendek waktu evakuasi, semakin tinggi faktor keselamatan manusia apabila terjadi bencana. Dengan demikian mengetahui seberapa banyak waktu yang diperlukan untuk evakuasi apabila terjadi bencana merupakan hal yang penting untuk diketahui. Untuk mengetahui hal tersebut di atas, pada penelitian ini digunakan simulasi. Simulasi sesuai untuk permasalahan ini karena adanya sejumlah hal yang bersifat stokastik pada permasalahan ini, seperti jumlah penghuni pada saat kejadian, dan beragamnya karakteristik (umur, jenis kelamin, dan adanya faktor kepanikan penghuni apartemen saat ada bencana). Studi kasus yang diambil pada penelitian ini adalah sebuah apartemen bertingkat di kota Surabaya. Dari uji coba yang dilakukan, disimpulkan bahwa untuk penghuni pria dewasa, skenario 2 dan 3 lebih baik dalam kecepatan evakuasi. Untuk penghuni lain, skenario 3 adalah terbaik.

Kata Kunci: Simulasi, skenario, waktu, evakuasi, apartemen

1. PENDAHULUAN

Gedung besar dan bertingkat tinggi yang dapat menampung banyak orang berpotensi menimbulkan korban apabila terjadi bencana antara lain kebakaran (Brady, 2003). Diperlukan perencanaan proses evakuasi yang baik agar apabila bencana tersebut sampai terjadi, korban manusia menjadi minimal atau bahkan tidak ada. Selain dengan mengantisipasi bencana dengan memberikan keamanan ekstra seperti penyemprot air bila terjadi kebakaran ataupun mendesain gedung dengan bahan yang sulit terbakar, menata proses evakuasi dapat mengurangi waktu evakuasi penghuni sehingga akan memperkecil resiko timbulnya korban manusia.

Untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk evakuasi penghuni apartemen apabila terjadi bencana, pada penelitian ini digunakan simulasi. Simulasi sesuai untuk permasalahan ini karena adanya sejumlah hal yang bersifat stokastik pada permasalahan ini, seperti jumlah penghuni pada saat kejadian, dan beragamnya karakteristik penghuni, diantaranya umur, jenis kelamin, dan adanya faktor kepanikan penghuni apartemen saat ada bencana (Altiok, 2007). Dengan simulasi, waktu evakuasi dapat diprediksikan dengan melakukan analisis data dari sejumlah replikasi. Skenario "what-if" dapat dibuat untuk mengetahui waktu evakuasi apabila dilakukan perubahan tatanan gedung dan/atau kebijakan proses evakuasi yang lain (dari kebijakan proses evakuasi yang digunakan sekarang). Dengan membandingkan hasil yang diperoleh dapat dipilih skenario yang terbaik (Banks, 2001).

Studi kasus yang diambil pada penelitian ini adalah sebuah apartemen bertingkat di kota Surabaya. Bagi pengelola apartemen, hasil penelitian

ini dapat digunakan untuk mendapatkan rancangan proses evakuasi apabila terjadi bencana.

2. METODOLOGI

Pada bagian ini akan diuraikan deskripsi apartemen yang menjadi studi kasus, pengumpulan data di apartemen tersebut (termasuk prosedur evakuasi) beserta analisis data input, dan pembuatan model simulasi (termasuk asumsi-asumsi yang digunakan dalam membuat model simulasi).

2.1 Deskripsi Apartemen Tempat Penelitian

Apartemen yang menjadi studi kasus merupakan sebuah apartemen bertingkat 20. Apartemen memiliki kesamaan tata letak pada tiap lantainya, karena itu pengumpulan data difokuskan pada satu lantai saja, yaitu Lantai 5. Pemilihan ini disebabkan data dari lantai tersebut adalah yang paling lengkap.

2.2 Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini diperlukan data waktu lari di koridor dan tangga apartemen. Dengan melibatkan 10 orang sukarelawan, didapatkan data waktu lari dalam jarak 10 meter seperti pada Tabel 1 dan data waktu menuruni tangga satu lantai seperti pada Tabel 2. Sedangkan data mengenai bentuk ruang dan lorong serta panjang pendeknya diperoleh dari denah lantai/ruangan apartemen.

Setelah data diperoleh, dihitung distribusi data sample beserta parameter yang diperlukan. Untuk itu digunakan Input Analyzer pada software Arena. Tabel 3 dan 4 menunjukkan hasil distribusi data sampel.

Tabel 1. Data Sampel Waktu Lari Jarak 10 Meter

<i>Pria Dewasa</i>	<i>Wanita Dewasa</i>	<i>Anak Laki-laki</i>	<i>Anak Perempuan</i>
22.7	23.8	24.7	27.9
21.0	24.2	26.3	26.3
22.6	23.3	25.1	25.2
20.9	25.1	24.9	26.8
23.5	23.3	26.3	27.1
23.1	22.7	25.8	26.2
24.3	21.8	26.5	25.9
22.4	22.5	26.0	27.5
21.6	23.2	27.3	24.8
21.5	21.9	25.6	26.3

Tabel 2. Sampel Waktu Turun Tangga Satu Lantai

<i>Pria Dewasa</i>	<i>Wanita Dewasa</i>	<i>Anak Laki-laki</i>	<i>Anak Perempuan</i>
20.7	21.8	22.4	25.1
19.7	22.2	24.1	22.6
20.6	23.3	23.8	23.1
19.9	23.1	22.1	24.8
21.5	23.3	24.8	25.1
22.1	20.7	23.2	24.9
21.0	20.8	24.3	23.9
20.4	22.9	24.5	25.2
19.6	23.1	25.6	22.8
19.5	21.5	22.1	24.3

Tabel 3. Distribusi Waktu Berlari Data Sampel

<i>Jenis Data</i>	<i>Rata-rata</i>	<i>Std Dev</i>	<i>Distri-busi</i>	<i>Ekspresi</i>
Pria Dewasa	22.4	1.11	Normal	NORM(22.4, 1.05)
Wanita Dewasa	23.2	0.943	Normal	NORM(23.2, 0.968)
Anak Laki-laki	25.9	0.764	Normal	NORM(25.9, 0.762)
Anak Perempuan	26.4	0.907	Normal	NORM(26.4, 0.918)

Tabel 4. Distribusi Waktu Menuruni Lantai Data

<i>Jenis Data</i>	<i>Rata-rata</i>	<i>Std Dev</i>	<i>Distri-busi</i>	<i>Ekspresi</i>
Pria Dewasa	20.5	0.86	Beta	19.2+3.14* BETA (0.89, 1.31)
Wanita Dewasa	22.3	1.02	Beta	20.4+3.13* BETA (0.757, 0.53)
Anak Laki-laki	23.7	1.2	Beta	22+3.96* BETA (0.792, 1.15)
Anak Perempuan	24.2	1.02	Beta	22.3+3.12* BETA (0.755, 0.525)

Prosedur evakuasi yang ada saat ini pada apartemen ini mengharuskan penghuni mencapai Lantai Dasar dan keluar dari gedung. Untuk mencapai Lantai Dasar, penghuni dapat menggunakan lift ataupun tangga darurat yang tersedia. Terdapat 2 (dua) buah lift yang dapat digunakan penghuni. Setelah penghuni mencapai

Lantai Dasar, penghuni dapat keluar dari gedung melalui pintu utama ataupun pintu parkir.

2.3. Model Simulasi

Model simulasi yang telah dibangun merupakan representasi dari sistem nyata yang diamati. Terdapat dua bagian proses yang berjalan, yaitu model proses utama (Gambar 1) dan model proses lift (Gambar 2). Model operasi lift digunakan untuk menjalankan proses naik turunnya lift. Sedangkan model utama mewakili proses yang terjadi pada saat penghuni berlari meninggalkan gedung pada keadaan darurat.

Model Lift terdiri atas dua buah proses lift, yaitu Lift1 dan Lift2 (gedung ini memiliki dua buah lift yang dapat digunakan secara terpisah). Keduanya memiliki spesifikasi yang sama. Model Lift bersifat berulang (looping) sebagaimana kerja lift sesungguhnya yang berjalan berulang-ulang naik dan turun. Model lift ini terdiri dari:

- Sebuah modul Create yang bernama Create Lift. Modul ini membangkitkan entitas Lift.
- Dua buah modul Assign yang bernama Up dan Down. Modul Up mengatur bahwa lift akan naik menuju lantai yang dikehendaki, yaitu dengan menggunakan variabel Elevator yang diatur nilainya menjadi satu. Sementara modul Down mengatur bahwa lift akan kemudian turun ke Lantai Dasar, yaitu dengan menggunakan variabel Elevator yang diatur nilainya menjadi nol.
- Delapan buah modul Delay yang bernama Lift Naik, Lift Turun, Door Open di lantai atas, Wait Door di lantai atas, Door Close di lantai atas, Door Open di lantai bawah, Waiting at Ground, dan Door Close di lantai bawah.

Model utama yang mewakili proses yang terjadi pada saat penghuni berlari meninggalkan gedung pada keadaan darurat terdiri dari:

- Empat modul Create, yang bernama Man, Woman, Boy dan Girl.
- Delapan modul Assign, yang bernama Assign Man, Assign Woman, Assign Boy, Assign Girl, Assign Hitung Orang1, Assign Hitung Orang2, Assign Door Close1, dan Assign Door Close2.
- Enam modul Delay, yang bernama Waiting for Door Close1, Waiting for Door Close2, Delay1, Delay2, Lift1 dan Lift2.
- Enam buah modul Decide, yang bernama Turun Lewat, Ketersediaan1, Ketersediaan2, Cek Urutan Orang1, Cek Urutan Orang2, dan Pintu Keluar.
- Lima buah modul Process, yang bernama Lorong Pertama, Tangga, Lorong Utama, Pintu Utama, dan Pintu Parkir.
- Dua buah modul Hold, yang bernama Hold Orang1 dan Hold Orang2.

- Dua buah modul Dispose, yang bernama Keluar Depan dan Keluar Parkir.

Asumsi yang digunakan pada pembuatan model simulasi dan analisis data hasil simulasi adalah sebagai berikut:

- Pengamatan dilakukan pada 1 lantai (Lantai 5). Lantai-lantai lain memiliki tata letak yang sama.
- Untuk mencapai Lantai Dasar, penghuni memilih apakah akan menggunakan lift atau tangga darurat. Apabila pada saat penghuni melewati area lift ternyata lift kebetulan bergerak pada arah turun menuju lantai tersebut maka penghuni akan menekan tombol lift dan menunggu sampai lift tiba. Bila tidak, maka penghuni akan memilih melewati tangga darurat.
- Waktu yang dicatat pada lantai dimana penghuni tinggal adalah waktu yang diperlukan penghuni untuk lari dari kamar penghuni sampai area lift atau tangga turun ditambah waktu lift turun 1 lantai atau menurun tangga 1 lantai.
- Saat telah mencapai Lantai Dasar, penghuni dapat menentukan apakah akan keluar lewat Pintu Utama atau Pintu Parkir. Probabilitas penentuan ini diambil sama (masing-masing berpeluang 0.50).
- Waktu yang diperlukan untuk mengevakuasi seluruh penghuni adalah waktu yang diperlukan penghuni yang paling keluar dari Lantai Dasar.
- Waktu yang diperlukan penghuni untuk menuruni satu lantai melalui tangga darurat sama dengan waktu menuruni satu lantai tangga darurat sebelumnya.
- Waktu yang diperlukan lift untuk menuruni satu lantai sama dengan waktu menuruni satu lantai sebelumnya.
- Lift beroperasi normal (dapat berhenti pada tiap lantai apabila ada penghuni yang menekan tombol lift pada lantai tersebut).
- Lift memerlukan waktu untuk membuka dan menutup kembali pintunya apabila ada penghuni yang akan menggunakan lift pada suatu lantai (total 30 detik tiap kali berhenti pada suatu lantai).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah model dibuat dan data input dianalisis, maka selanjutnya model simulasi dapat dijalankan. Adapun variabel keputusan yang digunakan untuk menentukan baik tidaknya proses evakuasi adalah waktu untuk mencapai Lantai Dasar apartemen dan keluar dari gedung.

Uji coba dilakukan dengan skenario-skenario. Skenario1 merupakan skenario dengan penerapan prosedur evakuasi saat ini, dimana penghuni diharuskan mencapai Lantai Dasar dan keluar dari gedung. Untuk mencapai Lantai Dasar, penghuni dapat menggunakan lift ataupun tangga darurat yang

tersedia. Terdapat 2 (dua) buah lift yang dapat digunakan penghuni. Apabila pada saat penghuni melewati area lift ternyata lift kebetulan bergerak pada arah turun menuju lantai tersebut maka penghuni akan menekan tombol lift dan menunggu sampai lift tiba. Bila tidak, maka penghuni akan memilih melewati tangga darurat.

Pada Lantai 5 yang menjadi perhatian, terdapat 37 penghuni dengan pembagian 8 laki-laki dewasa, 10 wanita dewasa, 7 anak laki-laki dan 12 anak perempuan. Sehingga input yang dimasukkan adalah:

$$E_Man \text{ (Jumlah Laki-laki Dewasa)} = 8$$

$$E_Woman \text{ (Jumlah Wanita Dewasa)} = 10$$

$$E_Boy \text{ (Jumlah Anak Laki-laki)} = 7$$

$$E_Girl \text{ (Jumlah Anak Perempuan)} = 12$$

Gambar 2 menunjukkan model untuk Skenario1 ini. Hasil simulasi dengan 10 replikasi yang diperoleh dari uji coba dengan Skenario1 ini ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Simulasi Skenario1 (Waktu Turun Penghuni yang Paling Lama)

Repli Kasi	Pria Dewasa	Wanita Dewasa	Anak Laki-laki	Anak Perempuan
1	756.4	762.5	740.8	741.1
2	759.1	763.5	740.6	738.9
3	754.8	760.7	738.4	738.6
4	756.9	754.9	740.5	740.2
5	755.5	758.2	738.1	738.2
6	763.1	763.3	743.4	742.6
7	755.4	758.6	740.5	740.8
8	760.9	761.6	739.6	741.4
9	757.7	760.0	740.0	741.6
10	755.4	762.2	740.1	740.1

Tabel 6. Hasil Simulasi Skenario2 (Waktu Turun Penghuni yang Paling Lama)

Repli kasi	Pria Dewasa	Wanita Dewasa	Anak Laki-laki	Anak Perempuan
1	537.6	660.5	592.7	640.6
2	539.2	665.5	581.5	650.6
3	549.1	632.5	596.2	637.8
4	524.8	630.7	595.6	636.1
5	521.1	630.0	600.5	630.1
6	547.6	636.4	598.5	615.6
7	535.4	645.3	606.3	614.5
8	549.2	639.7	602.3	628.4
9	533.1	638.7	600.5	628.6
10	545.1	647.0	589.1	651.4

Skenario2 merupakan skenario dengan penerapan prosedur evakuasi yang berbeda dengan prosedur evakuasi saat ini, dimana penghuni diharuskan mencapai Lantai Dasar dan keluar dari gedung. Untuk mencapai Lantai Dasar, penghuni harus menggunakan tangga darurat yang tersedia. Skenario ini sejalan dengan pendapat yang melarang

penggunaan lift selama proses evakuasi karena dikuatkan lift macet dalam operasinya sehingga dalam keadaan bahaya potensial menimbulkan akibat fatal bagi penghuni yang kebetulan berada pada lift tersebut. Gambar 3 menunjukkan model untuk Skenario2 ini. Dalam hal ini model lift yang dihapuskan. Hasil simulasi yang diperoleh dari uji coba dengan Skenario2 ini ditunjukkan pada Tabel 6.

Skenario3 merupakan skenario dengan dilakukan pengaturan komposisi kelompok penghuni, dimana untuk Lantai 18 sampai Lantai 20 hanya dialokasikan penghuni pria dewasa, penghuni pada lantai lain tidak dibatasi. Untuk mencapai Lantai Dasar, penghuni harus menggunakan tangga darurat yang tersedia. Skenario ini dimaksudkan untuk menguji apakah waktu evakuasi secara keseluruhan berubah signifikan apabila dilakukan pengaturan komposisi kelompok penghuni, mengingat kelompok Wanita Dewasa dan Anak Perempuan cenderung memiliki waktu turun yang lebih lama. Hasil simulasi yang diperoleh dari uji coba dengan Skenario 3 ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Simulasi Skenario3 (Waktu Turun Penghuni yang Paling Lama)

Repli kasi	Pria Dewasa	Wanita Dewasa	Anak Laki-laki	Anak Perempuan
1	537.6	572.4	509.5	547.1
2	539.2	575.9	496.6	560.6
3	549.1	544.3	501.7	542.7
4	524.8	551.8	515.3	543.8
5	521.1	544.6	525.2	539.2
6	547.6	549.9	512.0	534.5
7	535.4	555.1	522.4	533.6
8	549.2	553.8	514.7	534.5
9	533.1	555.2	519.6	534.7
10	545.1	563.6	508.1	562.0

Dari analisis variansi dan uji perbedaan mean waktu turun penghuni pada tabel 8 dan 9, diperoleh hasil bahwa ada perbedaan yang signifikan antar skenario, yaitu:

- a. Untuk penghuni pria dewasa, skenario 1 berbeda dengan skenario 2 dan skenario 3 dalam kecepatan evakuasi, dimana skenario 2 dan skenario 3 adalah lebih baik dari skenario 1 dengan rata-rata perbedaan 219.3 detik lebih cepat baik skenario 1 terhadap skenario 2 maupun terhadap skenario 3.

Tabel 8. Analisis Variansi

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	320616.60	2	160308.30	2361.19	.000
Within Groups	1833.108	27	67.893		
Total	322449.71	29			

- b. Dengan analisis yang sama, diperoleh bahwa untuk penghuni wanita dewasa, skenario 1 berbeda dengan skenario 2 dan skenario 3, serta skenario 2 berbeda dengan skenario 3 dimana skenario 3 adalah terbaik dengan perbedaan waktu 85.9 detik lebih cepat untuk skenario 2 dibanding skenario 1, dan 203.9 detik lebih cepat untuk skenario 3.

Tabel 9. Uji perbedaan mean waktu evakuasi

Multiple Comparisons

Dependent Variable: Pria Dewasa
Tukey HSD

(I) Skenaric	(J) Skenaric	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
Sken 1	Sken 2	219.30000*	3.68491	.000	210.1636	228.4364
	Sken 3	219.30000*	3.68491	.000	210.1636	228.4364
Sken 2	Sken 1	219.30000*	3.68491	.000	-228.4364	-210.1636
	Sken 3	.00000	3.68491	1.000	-9.1364	9.1364
Sken 3	Sken 1	219.30000*	3.68491	.000	-228.4364	-210.1636
	Sken 2	.00000	3.68491	1.000	-9.1364	9.1364

*. The mean difference is significant at the .05 level.

- c. Untuk penghuni anak laki-laki dan anak perempuan, skenario terbaik adalah skenario 3.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisis luaran simulasi disimpulkan bahwa untuk penghuni pria dewasa, skenario 2 dan skenario 3 lebih baik dibanding skenario 1. Sedangkan untuk penghuni wanita dewasa dan anak-anak, skenario 3 adalah paling baik, yaitu dengan melakukan pengaturan komposisi penghuni.

Pada penelitian ini waktu yang diperlukan penghuni untuk menuruni satu lantai melalui tangga darurat dianggap sama dengan waktu menuruni satu lantai tangga darurat sebelumnya. Dalam kenyataannya akan timbul kelelahan penghuni dalam menuruni tangga, sehingga kecepatan lari akan menurun. Hal ini perlu diperhatikan untuk perbaikan model di masa mendatang agar diperoleh hasil simulasi yang lebih mendekati keadaan sebenarnya.

PUSTAKA

Altioik, Tayfur; Benjamin Melamed. (2007). *Simulation Modeling and Analysis with ARENA*. Academic Press. Boston.

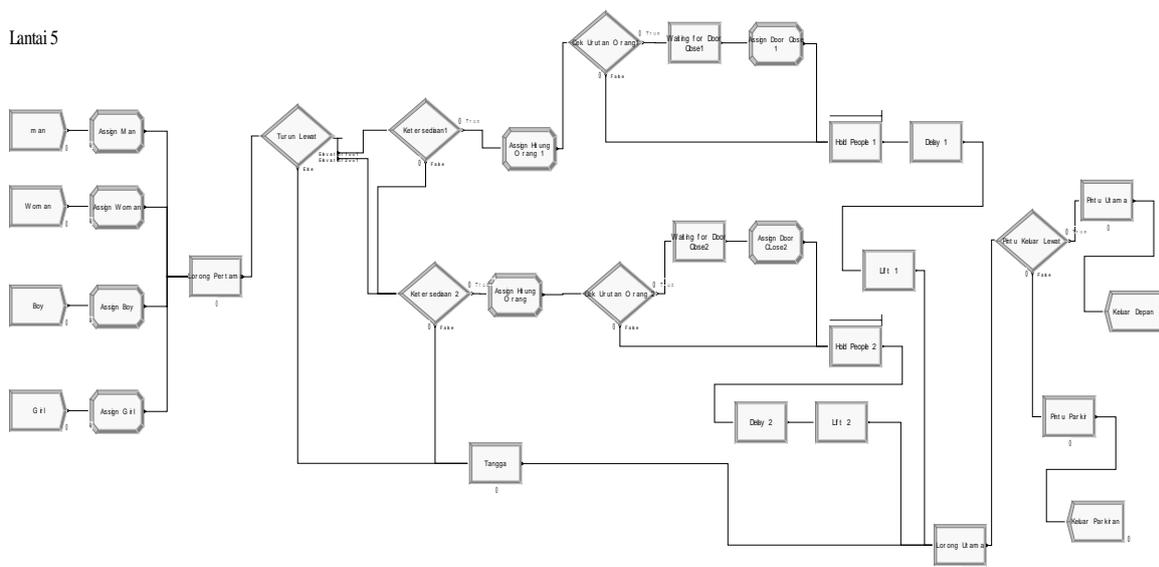
Banks, Jerry; John S. Carson II; Barry L. Nelson; David M. Nicol. (2001). *Discrete-Event System Simulation*. Prentice Hall. New Jersey.

Brady, Thomas F. (2003). Emergency Management: Capability Analysis of Critical Incident Response. In *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, S. Chick, P. J. Sánchez, D. Ferrin, and D. J. Morrice (Eds).

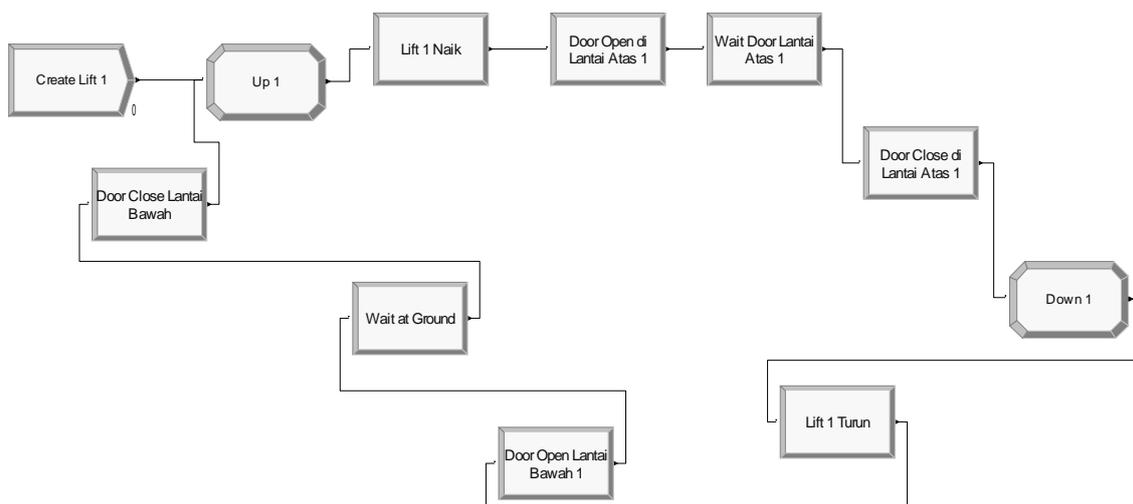
Johnson, C.W. (2006). *Using Computer Simulations to Support A Risk-Based Approach For Hospital Evacuation*. Diakses pada 2 Oktober 2008 dari <http://www.dcs.gla.ac.uk/~johnson>.

Kelton, David W.; R.P. Sadowski; David T. Sturrock. (2003). *Simulation with Arena*, 3rd Edition. McGraw Hill. Singapore.

Lantai 5

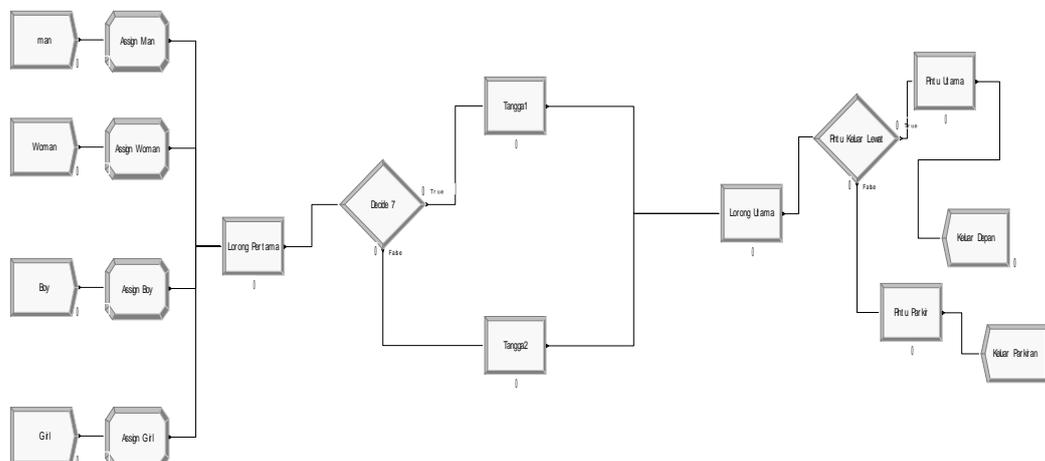


Gambar 1. Model Utama (Skenario1)



Gambar 2. Model Operasi Lift

Lantai 5



Gambar 3. Model Sistem Alternatif (Skenario2 dan Skenario 3)