

ANALISIS JARINGAN 3-DIMENSI UNTUK PENENTUAN RUTE EVAKUASI DI GEDUNG BERTINGKAT

Taufik Hery Purwanto¹

¹ Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi, Departemen Teknologi Kebumihan, Sekolah Vokasi,
Universitas Gadjah Mada
Email: ¹taufik@ugm.ac.id

ABSTRACT

Accessibility of evacuation routes in the multi-storey building is an important thing to notice. The number of floors and rooms in multi-storey buildings which are too many often makes the building users have difficulty, especially for users who do not know the ins and outs of the building well. Not only the difficulty in finding evacuation routes to exit the building quickly in emergency times, but also to find a certain room during normal times. Nowadays, the Network Analysis capabilities in Geographic Information System (GIS) have become more reliable, even able to accommodate 3 Dimensional aspect (3D) which is often known as 3D Network Analysis. Therefore, this research intends to apply 3D Network Analysis for developing the navigation and evacuation management system in the KLMB (Klinik Lingkungan dan Mitigasi Bencana) Building Faculty of Geography UGM which has 6 floors. Generally, the implementation of this research can be divided into 4 main stages, namely Data Collection Stage, 3D Network Dataset Preparation Stage, 3D Network Analysis Implementation Stage, and Test & Evaluation Stage. Through application of the 3D Network Analysis, this research successfully obtained a navigation and evacuation management system in the ArcScene (ArcGIS) software environment which is quite effective and easy to use to help navigation and determination of the fastest evacuation route in the KLMB building. This system can also be used to help the evacuation simulation as a form of disaster mitigation in the KLMB Building.

Keywords: 3D Network Analysis, Geographic Information System (GIS), Evacuation Route.

1. PENDAHULUAN

Seiring perkembangan zaman, saat ini pembangunan gedung bertingkat sudah menjadi hal yang wajar. Bahkan banyak negara yang berlomba-lomba untuk membangun gedung pencakar langit. Salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam pembangunan gedung bertingkat adalah keselamatan (*safety*) dari pengguna terhadap berbagai risiko bencana yang mungkin terjadi, baik bencana alam maupun bencana yang disebabkan oleh manusia. Untuk mengedepankan aspek *safety* ini maka sudah sepantasnya suatu gedung dilengkapi dengan jalur evakuasi sebagai salah satu wujud mitigasi bencana.

Penyelenggaraan penanggulangan bencana pada dasarnya telah diatur dalam PP Nomor 21 Tahun 2008 tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana, termasuk di dalamnya mitigasi bencana. Menurut PP tersebut, mitigasi bencana adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Penyediaan jalur evakuasi dalam

gedung pada dasarnya sudah merupakan bagian dari mitigasi bencana. Namun, masalah yang sering terjadi adalah susahnya pengguna gedung dalam mencari jalur evakuasi tersebut karena belum mengenal seluk-beluk gedung dengan baik, terlebih lagi jika jumlah lantai dan jumlah ruang yang ada dalam gedung tersebut sangat banyak. Hal ini tentu saja sangat membahayakan. Oleh karena itu, perlu dikembangkan sistem yang dapat membantu navigasi dalam gedung bertingkat, khususnya navigasi menuju jalur evakuasi tercepat dari suatu titik dalam gedung. Seiring perkembangan ilmu dan teknologi, pada dasarnya sistem ini memungkinkan untuk dibangun dengan memanfaatkan fasilitas *network analysis* dalam Sistem Informasi Geografis (SIG). Tidak hanya dua dimensi (2D) saja, saat ini fasilitas *network analysis* dalam ruang tiga dimensi (3D) atau yang sering disebut sebagai *3D network analysis* pada dasarnya sudah banyak disediakan oleh *software-software* SIG. Telah banyak penelitian yang membahas penerapan *network analysis* untuk mencari rute (*route*) tercepat (*fastest*) / terpendek (*shortest*), fasilitas terdekat (*closest facilities*) maupun area pelayanan (*service areas*). Tidak hanya dalam *outdoor space*, aplikasi mengenai penentuan rute tercepat, navigasi maupun analisis lainnya di dalam *indoor space*, menurut Tsiliakou dan Dimopoulou (2016) tengah menjadi *state-of-the-art* saat ini.

Dengan adanya kemampuan mengakomodasi aspek 3D dalam *indoor space* tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan *3D network analysis* untuk membangun sistem navigasi dan manajemen evakuasi dalam gedung bertingkat, yaitu Gedung KLMB (Klinik Lingkungan dan Mitigasi Bencana) yang dalam hal ini memiliki 6 lantai. Dengan menerapkan *3D network analysis*, sistem yang dibangun ini diharapkan dapat digunakan dengan mudah untuk membantu navigasi dan penentuan jalur evakuasi tercepat dalam gedung KLMB tersebut. Sistem ini diharapkan juga dapat digunakan untuk simulasi pelaksanaan evakuasi sebagai bentuk mitigasi bencana dalam Gedung KLMB.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Mitigasi Bencana

Menurut UU Nomor 4 Tahun 2007, yang dimaksud dengan mitigasi bencana adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Adapun yang dimaksud bencana menurut UU tersebut adalah peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan baik oleh faktor alam dan/atau faktor non-alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda dan dampak

psikologis. Dalam hal ini, Indonesia merupakan wilayah yang memiliki kondisi geografis, geologis, hidrologis dan demografis yang memungkinkan terjadinya bencana. Oleh karena itu, pemerintah Indonesia mengeluarkan UU Nomor 4 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana. Mitigasi bencana adalah salah satu upaya dalam penanggulangan bencana tersebut.

Jalur Evakuasi

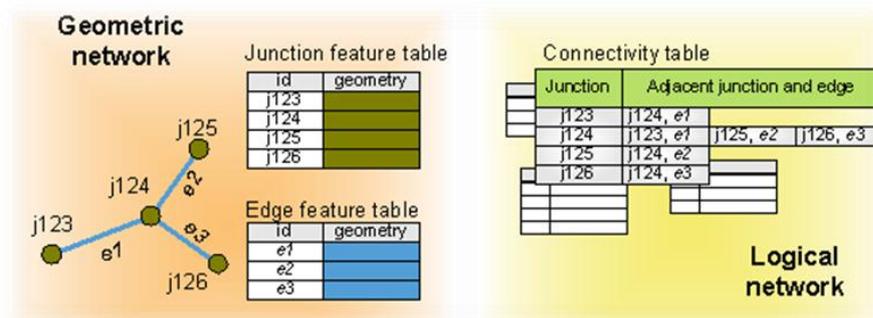
Pada dasarnya, jalur evakuasi dapat diartikan sebagai jalur khusus yang menghubungkan semua area ke area yang aman atau yang sering disebut sebagai titik kumpul (Media Project, 2013). Menurut Media Project (2013), hal-hal yang perlu diperhatikan dalam penentuan jalur evakuasi antara lain:

- a. Harus menjauh dari sumber ancaman dan efek dari ancaman tersebut.
- b. Jalur evakuasi harus aman dan memiliki kondisi yang baik dan mudah dilewati.
- c. Jalur evakuasi di luar bangunan harus cukup lebar dan dapat dilewati oleh minimal 2 kendaraan.

Jalur evakuasi tidak hanya diperlukan di luar gedung. Jalur evakuasi juga diperlukan di dalam gedung, khususnya pada gedung-gedung bertingkat yang memiliki jumlah lantai dan ruangan yang banyak. Seiring perkembangan ilmu dan teknologi, Sistem Informasi Geografis (SIG) sering diaplikasikan untuk membantu dalam mencari atau menentukan jalur evakuasi, salah satunya melalui fasilitas *spatial network analysis*.

Spatial Network

Menurut Hoel *et al* (2005) dalam Marti (2013), *spatial network* dapat didefinisikan sebagai grafis konektifitas dari persimpangan (*junction*) dan *edge* yang menghubungkan mereka, di mana setiap persimpangan dan *edge* tersebut dikaitkan dengan *feature* dalam bentuk geometri titik atau garis masing-masing. Hubungan antara *junction* dan *edge* tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

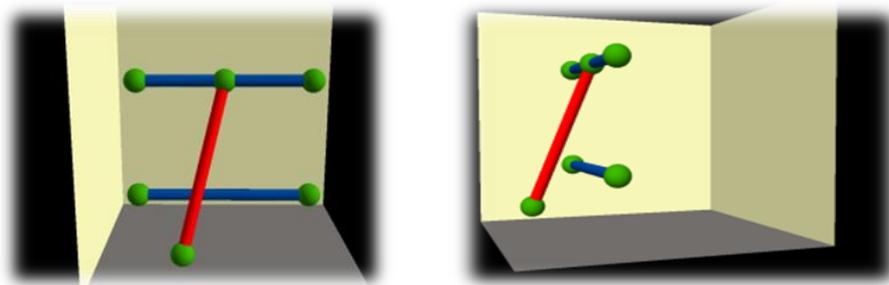


Gambar 1. *Junction dan Edge*

Sumber: ESRI (2005)

Menurut ESRI (2005), terdapat dua jenis *network*, yaitu *geometric network* dan *logical network*. *Geometric network* direpresentasikan dalam bentuk *feature class* yang di dalamnya terdiri dari *feature-feature* yang saling terkait membentuk *network*. *Feature* dalam hal ini terdiri dari *junction feature* maupun *edge feature* sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1 bagian kiri. Titik hijau merupakan *junction*, sedangkan garis biru merupakan *edge*. Pada *logical network*, hubungan antara *junction* dan *edge* ini tidak dinyatakan dalam bentuk *feature*, akan tetapi dinyatakan dalam bentuk tabel yang sering disebut sebagai *connectivity table* sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 1 bagian kanan.

Saat ini *spatial network* dapat disusun dalam ruang dua dimensi (2D) maupun dalam ruang tiga dimensi (3D). *2D network dataset* hanya memiliki informasi dalam ruang 2D saja, dengan kata lain belum memiliki informasi nilai ketinggian (Z) sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 1. Lain halnya *3D network dataset* yang dalam hal ini sudah memiliki informasi nilai ketinggian (Z) sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 2. Nilai ketinggian ini dapat diperoleh dari 2 sumber. Sumber yang pertama adalah dari *field (elevation field)* yang berisi nilai ketinggian (Z). Sedangkan sumber yang kedua adalah dari geometrinya, dengan kata lain setiap *vertices (vertex)* yang ada dalam hal ini telah memiliki informasi nilai ketinggian (Z) masing-masing sebagaimana dapat diilustrasikan dalam Gambar 2. Dalam Gambar 2 tersebut, terdapat 2 *edge* dengan warna biru, satu *edge* dengan warna merah serta 6 *junction* dengan warna hijau. *Edge* merah hanya terhubung pada 1 *edge* biru saja. Sedangkan 1 *edge* biru yang lainnya tidak terhubung dengan *edge* manapun.



**Gambar 2. 3D Network Dataset.
Sumber: ESRI (2012)**

Network Analysis

Network analysis merupakan salah satu kelompok analisis dalam SIG. Dalam *network analysis*, yang digunakan sebagai dasar operasi adalah data, yang dalam hal ini terdiri dari pasangan *edges* dan *vertices* yang disebut sebagai *network* (Cichociński dan Dębińska, 2016).

Dengan kata lain, *network* atau yang dalam hal ini dikenal sebagai *spatial network dataset* merupakan hal paling penting dalam *network analysis*. Aplikasi yang dapat diterapkan melalui *network analysis* ini cukup banyak, diantaranya untuk mencari rute (*route*) tercepat (*fastest*) / terpendek (*shortest*), fasilitas terdekat (*closest facilities*) maupun untuk menentukan area pelayanan (*service areas*).

Pada dasarnya, *network analysis* dapat dikelompokkan ke dalam dua kelompok besar, yaitu *2D network analysis* dan *3D network analysis*. Dalam *2D network analysis*, *spatial network dataset* yang digunakan masih dalam ruang dua dimensi (*2D*) atau dengan kata lain belum memiliki informasi nilai ketinggian (*2D network dataset*). Berbeda dengan *2D network analysis*, *3D network analysis* merupakan analisis jaringan yang dilakukan berdasarkan *spatial network dataset* yang sudah memiliki informasi nilai ketinggian (*3D network dataset*). Dengan adanya informasi ketinggian ini, aplikasi atau analisis yang dapat dilakukan pun semakin luas, bahkan sudah mampu melakukan analisis jaringan dalam suatu gedung bertingkat atau yang sering disebut sebagai *indoor network analysis*.

Indoor Network Analysis dan Outdoor Network Analysis

Yang dimaksud dengan *outdoor network analysis* pada dasarnya merupakan analisis yang dilakukan pada jaringan di luar bangunan, misalnya saja jaringan jalan. Analisis ini memiliki cakupan yang relatif luas tergantung dengan jaringan yang digunakan. Penerapan dari *outdoor network analysis*, baik *2D* maupun *3D*, sudah cukup banyak kita jumpai dalam aplikasi sehari-hari, di antaranya untuk mencari rute (*route*) tercepat (*fastest*) / terpendek (*shortest*), fasilitas terdekat (*closest facilities*) maupun untuk menentukan area pelayanan (*service areas*). Saat ini muncul *state-of-the-art* baru, yaitu *indoor network analysis* di mana cakupannya relatif lebih sempit dibandingkan *outdoor network analysis*, sebab jaringan yang digunakan hanya mencakup jaringan di dalam ruang bangunan saja (*indoor space*).

Terkait dengan karakteristik struktur dan geometrinya yang lebih kompleks sebagai suatu hubungan topologi, *indoor space* tentu saja berbeda dengan *outdoor environment* (Tsiliakou dan Dimopoulou, 2016). Untuk mengakomodasi kompleksitas struktur dan geometri dalam *indoor space* tersebut, tentu saja penyusunan *indoor network* dalam kaitannya untuk keperluan *network analysis* tentu saja akan berbeda dengan penyusunan *outdoor network*. Walaupun cakupannya cenderung lebih sempit, akan tetapi penyusunan *indoor network* membutuhkan ketekunan dan kejelian yang lebih agar dapat mengakomodasi kompleksitas yang ada dalam *indoor space* tersebut, terlebih lagi dalam kasus gedung bertingkat yang memiliki jumlah lantai dan jumlah ruangan yang sangat banyak. Untuk

menyusun *network* dalam suatu gedung bertingkat, tentu saja dibutuhkan pemahaman menyeluruh mengenai struktur hirarki yang ada dalam gedung tersebut, seperti misalnya susunan lantai, susunan ruang dan sebagainya. Dalam kasus gedung bertingkat ini, tentu saja model *network* yang dapat digunakan untuk melakukan analisis adalah *3D network* yang mengakomodasi nilai ketinggian (*Z*). Salah satu contoh aplikasi yang banyak dikembangkan saat ini adalah navigasi dalam gedung. Dalam penerapan saat ini, *indoor network* sering kali digabungkan dengan *outdoor network* untuk melakukan aplikasi lebih luas, misalnya dalam cakupan satu kompleks universitas yang memiliki beberapa gedung bertingkat, sebagaimana yang dilakukan Marti pada tahun 2013. Pada tahun 2013, melalui disertasinya yang berjudul “*UJI Spatial Network*”, Marti mencoba menggabungkan *indoor network* dan *outdoor network* untuk membangun *spatial network* bagi pejalan kaki di lingkungan *UJI (University Jaume I of Castellón)*.

3. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Gedung KLMB (Klinik Lingkungan dan Mitigasi Bencana) Fakultas Geografi UGM yang dalam hal ini memiliki 6 lantai.

Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- a. *Geodetic GPS*, untuk mengukur sudut/pojok-pojok *rooftop* Gedung KLMB.
- b. *Distometer*, untuk mengukur bagian-bagian di dalam Gedung KLMB yang perlu diukur.
- c. Kamera digital, untuk mengambil foto sebagai dokumentasi.
- d. Perangkat keras (*hardware*) / komputer.
- e. Perangkat lunak (*software*) *ArcGIS 10.3*, untuk membangun sistem manajemen evakuasi yang di dalamnya terdiri dari *3D network dataset* gedung KLMB serta *tool* untuk melakukan *3D network analysis* terkait pencarian jalur evakuasi tercepat atau pun untuk membantu navigasi pencarian ruang.

Tahapan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dapat dibagi ke dalam 4 tahap utama, yaitu Tahap Pengumpulan Data, Tahap Penyusunan *3D Network Dataset*, Tahap Penerapan *3D Network Analysis*, serta Tahap Uji dan Evaluasi. Secara garis besar, susunan pelaksanaan tahapan tersebut dapat dilihat dalam Diagram Alir Penelitian pada LAMPIRAN 1.

a. Tahap Pengumpulan Data

- Pengumpulan Data *Architectural Plans* Gedung KLMB

Untuk membangun *3D model* dan *3D network dataset* dari suatu gedung, maka diperlukan informasi akurat mengenai bentuk, ukuran dan spesifikasi detail dari gedung tersebut. Informasi ini di antaranya dapat diperoleh dalam data desain rencana arsitektur (*architectural plans*). Oleh karena itu, kegiatan pertama kali yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mencari data *architectural plans* Gedung KLMB. Penggunaan *architectural plans* sebagai sumber informasi penyusunan *3D model* dan *3D network dataset* ini cukup efektif, dibandingkan harus melakukan pengukuran langsung pada gedung yang tentu saja membutuhkan waktu yang lebih lama.

- Observasi dan Pengukuran Langsung pada Gedung KLMB

Walaupun sudah menggunakan data *architectural plans*, dalam hal ini sangat diperlukan observasi secara langsung di dalam gedung KLMB yang dimodelkan. Hal ini diperlukan untuk mengetahui dan memahami seluk beluk aktual dari gedung KLMB yang dimodelkan tersebut. Sebab, sering kali terdapat perbedaan antara *architectural plans* dan kondisi aktual, terutama pada bagian-bagian gedung yang tidak permanen, seperti misalnya sekat pemisah ruang yang bukan dari tembok, sehingga mudah dipindahkan.

Pengukuran koordinat pojok-pojok *rooftop* gedung juga diperlukan untuk mengetahui posisi absolut gedung KLMB tersebut dalam referensi spasial yang digunakan. Koordinat pojok-pojok *rooftop* ini digunakan untuk mengikatkan model yang dibangun dalam sistem referensi spasial yang digunakan tersebut. Dalam hal ini, pengukuran koordinat pojok-pojok *rooftop* Gedung KLMB dilakukan menggunakan *Geodetic GPS* dengan metode *NTRIP-RTK*. Koordinat ini diukur dan dinyatakan dalam sistem proyeksi *Universal Transverse Mercator (UTM) Zona 49 M*.

Selain itu pengukuran bagian-bagian tertentu di dalam gedung juga perlu dilakukan, terutama pada bagian-bagian yang dirasa penting namun tidak tercatat dalam *architectural plans*. Pengukuran di dalam gedung ini tentu saja tidak dapat dilakukan menggunakan *GPS*, oleh karena itu dalam hal ini digunakan *distometer*. Dalam hal ini juga dilakukan pengambilan foto bagian-bagian gedung sebagai dokumentasi dan untuk membantu proses penyusunan *3D model* dan *3D network dataset*.

b. Tahap Penyusunan *3D Network Dataset*

Berdasarkan informasi dari *architectural plans*, observasi dan pengukuran langsung tersebut, kemudian dibangun *3D network dataset*. Untuk membangun *3D network dataset* ini, setidaknya terdapat 6 tahap utama yang perlu dilakukan, mulai dari penyusunan *geodatabase*, hingga penyusunan *3D network dataset* dan penyusunan model gedungnya.

- Penyusunan *Geodatabase*

Agar *3D network dataset* dapat dianalisis melalui *ArcGIS*, dalam hal ini *ArcGIS* mengharuskan data *network* tersebut disimpan dan diorganisir dalam suatu *geodatabase*, baik berupa *personal geodatabase*, *file geodatabase* maupun *ArcSDE geodatabase*. Perbedaan paling mendasar antara ketiga tipe *geodatabase* ini antara lain terletak pada kapasitas penyimpanannya. *ArcSDE database* dapat digunakan untuk *multi user* dengan kapasitas paling besar, tergantung *DMBS* yang digunakan. *File geodatabase* mampu menyimpan data hingga 1TB per *dataset*, sedangkan *personal geodatabase* hanya dapat menyimpan data hingga 2GB saja. Pada dasarnya, ukuran *dataset* gedung yang disimpan pada *geodatabase* dalam penelitian ini tidaklah terlalu besar karena hanya memuat data satu gedung KLMB saja, akan tetapi penelitian ini lebih memilih tipe *file geodatabase*, tujuannya agar lebih mudah jika suatu saat sistem ini akan dikembangkan dengan *dataset* yang lebih besar. Adapun penyusunan *file geodatabase* ini dilakukan melalui *ArcCatalog*.

- Penyusunan *Feature Dataset*

Feature dataset perlu dibangun di dalam *geodatabase* untuk mengelompokkan *feature class* yang dibuat. Dalam hal ini dibuat 2 *feature dataset*, yaitu *dataset* “Transportasi” dan *dataset* “Peta_Dasar”. *Dataset* “Transportasi” digunakan untuk menyimpan data-data mengenai jaringan (*network*) transportasi yang ada di dalam gedung KLMB, mulai dari jalur lantai, tangga hingga *lift*. Lain halnya *dataset* “Peta_Dasar” yang digunakan untuk menyimpan data-data tambahan mengenai struktur gedung, mulai dari lantai, ruangan dsb. *Feature dataset* ini dapat dibangun melalui *ArcCatalog*.

- Penyusunan *Feature Class* untuk *Basemap*

Basemap (peta dasar) yang dimaksud di sini adalah isi atau bagian dari gedung. Ada 4 *feature class* dengan tipe *polygon* yang dibuat untuk merepresentasikan isi/bagian dari gedung KLMB, yaitu *halaman.shp*, *dasar_bangunan.shp*, *lantai_bangunan.shp*, dan *lift.shp*. Semua *feature class* tersebut dikelompokkan menjadi satu ke dalam *feature dataset* *Peta_Dasar*. Digitisasi *feature class* ini dapat dilakukan pada *environment* dari

ArcMap atau pun pada *ArcScene* dengan memasukkan informasi nilai ketinggian (*Z*) dari masing-masing *vertex*.

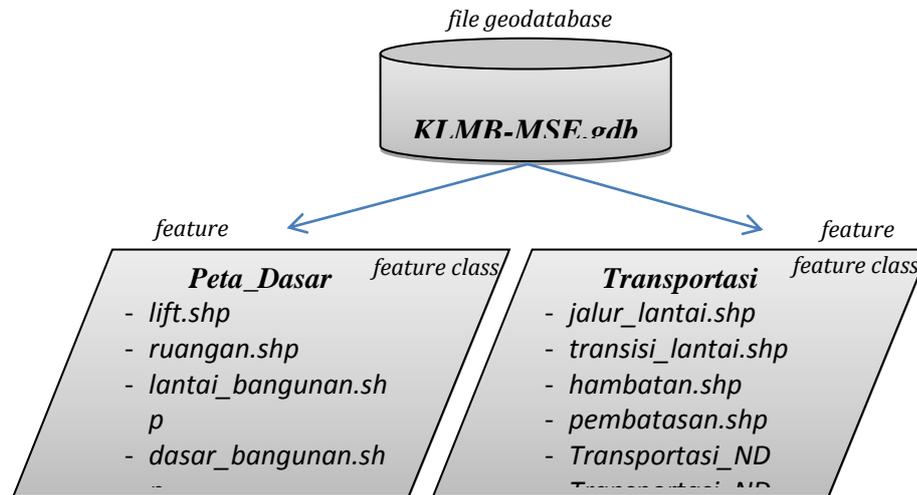
- Penyusunan *Routing Dataset*

Setelah *feature class* yang merepresentasikan isi/ bagian dari gedung tersebut selesai dibuat, langkah selanjutnya adalah membangun *feature class* dengan tipe *line* untuk bagian terpenting, yaitu *route* yang menghubungkan setiap bagian-bagian gedung tersebut agar dapat dilakukan analisis terhadapnya. Digitisasi *route* dalam hal ini dapat dilakukan pada *environment* dari *ArcMap*. Ada 4 *feature class* yang dibangun untuk merepresentasikan *route* yang ada dalam gedung KLMB, yaitu *jalur_lantai.shp*, *transisi_lantai.shp*, *hambatan.shp* dan *pembatasan.shp*. *Jalur_lantai.shp* berfungsi untuk merepresentasikan jalur transportasi (*floorlines*) yang dapat dilewati untuk berpindah dari satu bagian gedung ke bagian gedung yang lain dalam masing-masing lantai. *Transisi_lantai.shp* berfungsi untuk merepresentasikan jalur transportasi antar lantai (*floortransitions*) yang dapat dilewati untuk berpindah dari satu lantai ke lantai yang lain, misalnya tangga atau pun *lift* (*elevator*). *Hambatan.shp* berfungsi untuk merepresentasikan lokasi-lokasi dalam gedung yang terdapat hambatan dalam hal transportasi, misalnya saja di depan *lift* yang mana untuk melaluinya mungkin harus antri atau menunggu *lift* tersebut terbuka. *Pembatasan.shp* berfungsi untuk merepresentasikan pembatasan yang mungkin ada pada bagian-bagian dari gedung, misalnya pada bagian yang rusak/ sedang diperbaiki, maka tidak diperbolehkan melintasi bagian yang sedang diperbaiki tersebut. Dalam hal ini, selain harus memasukkan nilai ketinggian (*Z*) pada setiap *vertex*, hal terpenting yang perlu diperhatikan dalam penyusunan *route* ini adalah ada beberapa *required field* atau *field* wajib yang perlu dibuat dan diisi untuk setiap jenis *route* yang diwakilinya.

- Penyusunan *Network Dataset*

Setelah semua data tersebut siap, langkah selanjutnya adalah menyusun *network dataset* berdasarkan *routing dataset* yang telah dibuat (*jalur_lantai.shp*, *transisi_lantai.shp*, *hambatan.shp* dan *pembatasan.shp* yang disimpan dalam *dataset* “Transportasi”). Penyusunan *3D network dataset* dapat dilakukan secara otomatis melalui *environment* dari *ArcCatalog* yang dalam hal ini akan menghasilkan 2 file baru (*Transportasi_ND* dan *Transportasi_ND_Junctions*) yang berfungsi untuk menghubungkan *route* yang telah dibuat tersebut agar dapat dilakukan *network analysis*

terhadapnya. Hal ini hampir sama dengan penyusunan *2D network dataset*, hanya saja dalam *3D network dataset* ini memiliki informasi nilai ketinggian (Z) yang diperoleh dari data *geometry*-nya. Penyusunan *3D network dataset* ini dapat dilakukan melalui *ArcCatalog*. Adapun desain susunan dari *3D network dataset* yang telah disusun dan disimpan dalam *file geodatabase* ini secara garis besar dapat dilihat pada Gambar. 3



Gambar 3. Desain Struktur 3D Network Dataset dalam File Geodatabase

c. Tahap Penerapan 3D Network Analysis

Untuk mencapai tujuan utama penelitian, dalam hal ini dibangun *tool* khusus melalui *model builder* dalam *environment* dari *ArcScene* untuk mempermudah analisis penentuan jalur evakuasi tercepat dari suatu titik dalam Gedung KLMB atau pun untuk membantu melakukan pencarian ruang dari suatu titik untuk mempermudah navigasi dalam Gedung KLMB. Dengan demikian sistem yang dibangun dalam *environment* dari *ArcScene* ini diharapkan dapat digunakan untuk membantu manajemen evakuasi maupun sekedar untuk membantu navigasi dalam Gedung KLMB.

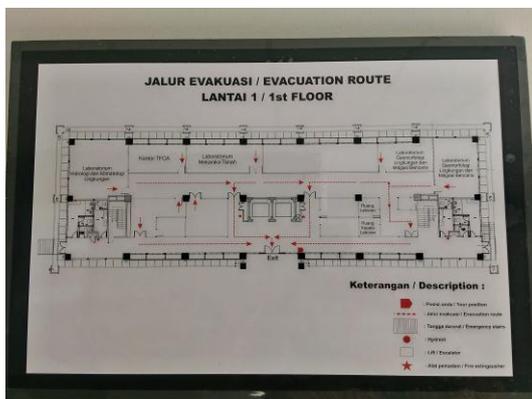
d. Uji dan Evaluasi Penerapan 3D Network Analysis

Sistem navigasi dan manajemen evakuasi yang terbentuk ini kemudian diuji-coba untuk melakukan simulasi mitigasi bencana dalam Gedung KLMB. Dalam simulasi ini dilakukan evaluasi kinerja dari sistem, sehingga dapat disimpulkan efektifitas terkait kelebihan dan kekurangan dari sistem tersebut untuk menentukan arah perbaikan dan pengembangan yang diperlukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi “KLMB-SME”

Hasil utama dalam penelitian ini adalah sebuah sistem navigasi dan manajemen evakuasi dalam Gedung KLMB yang dalam hal ini diberi nama “KLMB-SME” (KLMB-Sistem Manajemen Evakuasi). Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya, KLMB-SME ini dibangun pada *environment* perangkat lunak *ArcScene* dalam *ArcGIS 10.3*. Sistem ini terdiri dari data utama berupa *3D network dataset* Gedung KLMB yang disusun berdasarkan data *architectural plans* beserta data hasil observasi dan pengukuran langsung pada Gedung KLMB sebagaimana telah dijelaskan pada bab BAHAN DAN METODE PENELITIAN. Tahap pengukuran langsung di antaranya ditujukan untuk mengukur pojok-pojok *rooftop* Gedung KLMB yang dalam hal ini dilakukan menggunakan *Geodetic GPS* dengan metode *RTK NTRIP* sehingga diperoleh koordinat pojok-pojok *rooftop* Gedung KLMB dalam sistem proyeksi *UTM Zona 49 M* dengan datum *WGS84*. Dalam hal ini, data *architectural plans* Gedung KLMB susah didapatkan. Data yang tersedia hanya berupa denah jalur evakuasi untuk beberapa lantai seperti dalam Gambar 4. Oleh sebab itu diperlukan pengukuran dan pendataan langsung mengenai struktur dan penamaan ruangan dalam Gedung KLMB menggunakan *distometer* sebagaimana disajikan pada Gambar 5. Melalui pengukuran dan pendataan langsung ini diperoleh draf struktur dan penamaan ruangan dalam Gedung KLMB.



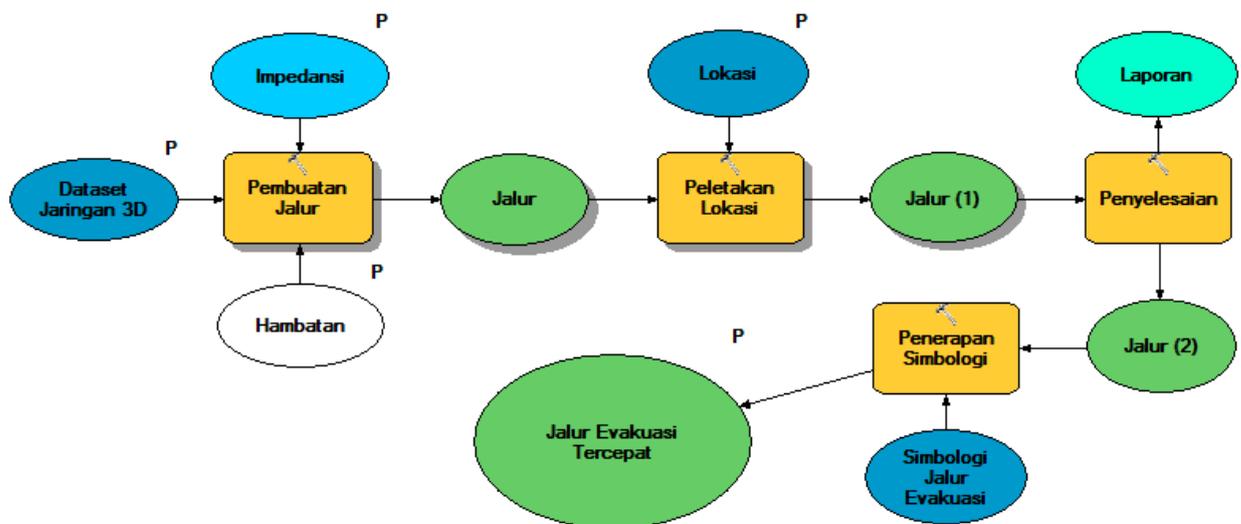
Gambar 4. Denah Jalur Evakuasi Lantai 5 Gedung KLMB



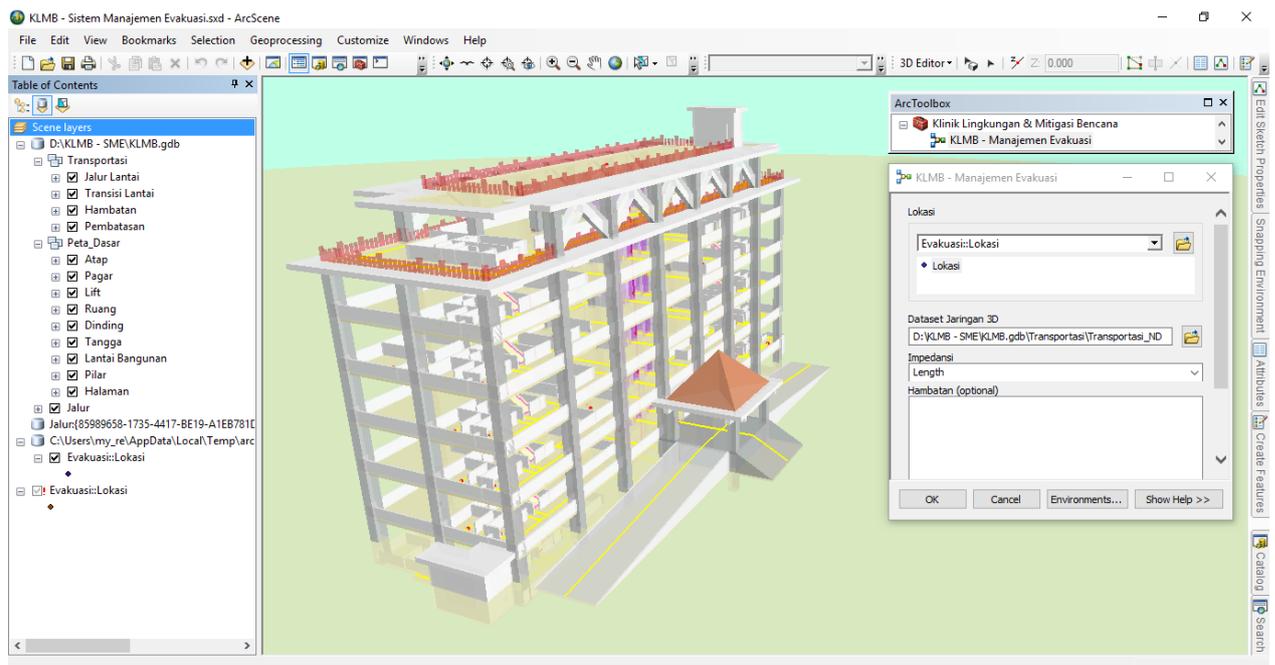
Gambar 5. Pengukuran Menggunakan Distometer dan Geodetic GPS

Data-data yang telah diperoleh tersebut kemudian diolah sebagaimana telah dijelaskan dalam sub bab Tahap Penyusunan *3D Network Dataset* sehingga diperoleh *3D network dataset* dari Gedung KLMB yang dalam hal ini dapat digunakan sebagai dasar *3D network analysis*. Pada dasarnya, *ArcScene* telah menyediakan fasilitas untuk melakukan *3D network analysis* tersebut, namun demikian prosedur yang harus dilakukan cukup panjang. Bagi pengguna yang belum familiar dengan *3D network analysis* dalam *ArcScene* tentu saja akan

mengalami kesulitan untuk menggunakannya. Oleh karena itu, dalam hal ini disusun sebuah *tool* khusus agar prosedur yang cukup panjang tersebut dapat dilakukan secara otomatis sehingga pengguna yang belum familiar dengan *3D network analysis* juga dapat menggunakannya. *Tool* ini dibangun melalui *ModelBuilder* dengan mendefinisikan setiap tahap dalam prosedur yang perlu dilakukan tersebut sebagaimana disajikan dalam Gambar 6. Sesuai dengan tujuan penelitian ini, *tool* khusus ini ditujukan secara spesifik untuk mempermudah analisis penentuan jalur evakuasi tercepat dari suatu titik dalam Gedung KLMB atau pun untuk membantu melakukan pencarian ruang dari suatu titik untuk mempermudah navigasi dalam Gedung KLMB. Dengan demikian, *tool* yang dibangun dalam *environment* dari *ArcScene* ini diharapkan dapat digunakan untuk membantu manajemen evakuasi dalam Gedung KLMB maupun sekedar untuk membantu navigasi dalam Gedung KLMB. Adapun *Interface* utama dari Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi "*KLMB-SME*" dalam *environment* dari *ArcScene* ini dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6. *ModelBuilder* Penentuan Jalur Evakuasi Tercepat



Gambar 7. **Interface Utama Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi "KLMB-SME" dalam Environment dari ArcScene pada ArcGIS 10.3**

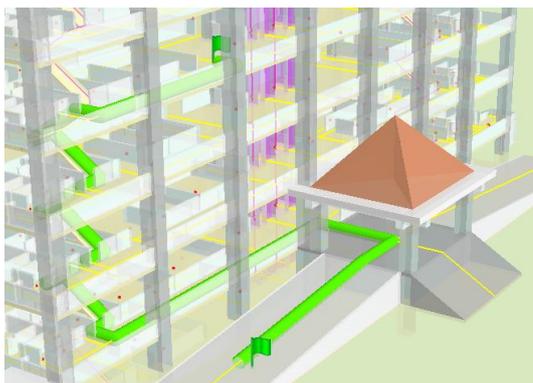
Uji dan Evaluasi Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi "KLMB-SME"

Untuk mengetahui kinerja dari Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi "KLMB-SME" yang dibangun, dalam hal ini dilakukan tahap uji-coba untuk melakukan simulasi mitigasi bencana dalam Gedung KLMB. Dalam kondisi darurat, Gedung KLMB memiliki 3 pintu yang dapat digunakan sebagai pintu keluar. Pintu pertama yang dapat digunakan yaitu Pintu Utama yang terletak di tengah lantai 1 bagian depan. Pintu kedua yang dapat digunakan yaitu Pintu Selatan yang terletak di bagian selatan lantai 1. Sedangkan pintu ketiga yang dapat digunakan yaitu Pintu Utara yang terletak di bagian utara lantai dasar (*basement*). Simulasi ini dilakukan berulang kali untuk masing-masing pintu keluar tersebut sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10 hingga Gambar 11.

Gambar 8 menunjukkan simulasi evakuasi dari tengah lantai 4 menuju Pintu Utama. Jalur evakuasi terdekat dari tengah lantai 4 menuju Pintu Utama disajikan dengan simbol berwarna hijau. Gambar 9 menunjukkan simulasi evakuasi dari pojok selatan lantai 6 menuju ke Pintu Selatan. Jalur evakuasi terdekat dari pojok selatan lantai 6 adalah melalui tangga sebelah selatan yang disajikan dengan simbol berwarna hijau menuju Pintu Selatan. Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan simulasi evakuasi dari pojok selatan *basement* menuju Pintu Utara. Jalur evakuasi tercepat dari *basement* adalah langsung berlari ke utara menuju Pintu Utara yang pada sistem disajikan dengan simbol berwarna hijau. Dari masing-masing simulasi tersebut dapat dilihat bahwa tidak ada jalur yang melalui *elevator (lift)*. Hal ini karena pada

kondisi darurat memang tidak disarankan menggunakan *lift*, sebab pada saat kondisi darurat tersebut *lift* sering tidak dapat dioperasikan, sehingga malah dapat membahayakan pengguna. Oleh karena itu, pada kondisi darurat, jalur yang disarankan untuk melakukan evakuasi adalah melalui tangga darurat.

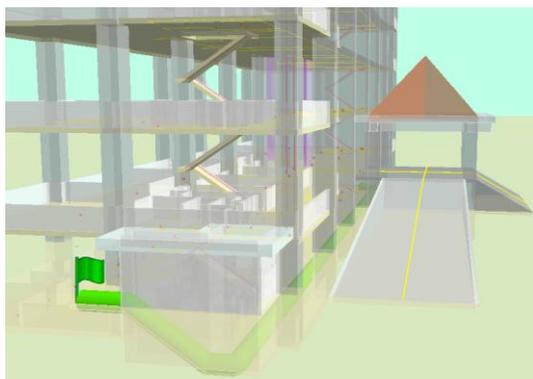
Berdasarkan simulasi ini, dapat disimpulkan bahwa Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi “KLMB-SME” yang dibangun telah dapat digunakan sebagaimana mestinya dengan cukup efektif, terutama untuk membantu melakukan simulasi evakuasi. Simulasi evakuasi ini sangat perlu dilakukan secara rutin untuk melatih para pengguna Gedung KLMB. Pada saat darurat, pengguna gedung akan cenderung panik sehingga tanpa adanya latihan dan simulasi terlebih dahulu, penggunaan Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi “KLMB-SME” ini tentu saja tidak akan banyak membantu. Oleh karena itu, sangat disarankan untuk melakukan simulasi evakuasi secara rutin sebagai upaya mitigasi bencana.



Gambar 8. Simulasi 1



Gambar 9. Simulasi 2



Gambar 10. Simulasi 3 (Tampak Samping)



Gambar 11. Simulasi 3 (Tampak Depan)

Kelebihan dan Kekurangan Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi “KLMB-SME”

Kelebihan utama Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi “KLMB-SME” yang dibangun melalui penelitian ini terletak pada tingkat kemudahan penggunaannya. Sistem ini dilengkapi dengan *tool* khusus agar prosedur *3D network analysis* yang perlu dilakukan dapat

dijalankan secara otomatis, sehingga pengguna yang belum familiar dengan *3D network analysis* tetap dapat menggunakannya dengan relatif mudah. Sistem ini sangat cocok digunakan untuk simulasi evakuasi yang dalam hal ini sangat perlu dilakukan secara rutin sebagai salah satu upaya mitigasi bencana dalam Gedung KLMB. Namun demikian, Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi “KLMB-SME” yang telah dibangun ini juga memiliki kelemahan. Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi “KLMB-SME” ini dibangun dalam *environment* dari *ArcScene* pada *ArcGIS 10.3* yang merupakan perangkat lunak komersial keluaran *ESRI* dengan harga *license* yang cukup mahal. Untuk menggunakannya pun dibutuhkan *hardware* dengan spesifikasi yang cukup baik. Hal ini lah yang menjadi kelemahan utama dari Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi “KLMB-SME”, di mana *hardware* dan *software* yang diperlukan untuk menggunakannya masih sangat terbatas. Agar Sistem Navigasi dan Manajemen Evakuasi “KLMB-SME” dapat digunakan secara langsung oleh semua pengguna Gedung KLMB, idealnya masing-masing titik kumpul pada masing-masing lantai minimal harus terpasang 1 sistem lengkap dengan *hardware* dan *software* yang dibutuhkan. Agar pengguna dapat menggunakannya kapan pun dibutuhkan, sistem yang terpasang ini juga harus selalu *standby*. Untuk pengembangan ke depan, sangat disarankan menggunakan *ArcGIS Server*, dengan harapan sistem yang dikembangkan ini dapat diakses oleh setiap komputer *client* dalam Gedung KLMB, sehingga akan lebih efektif dan efisien.

5. KESIMPULAN

Melalui penerapan *3D Network Analysis*, penelitian ini berhasil membangun sebuah sistem navigasi dan manajemen evakuasi dalam *environment* perangkat lunak *ArcScene* (*ArcGIS 10.3*) yang diberi nama “KLMB-SME” (KLMB-Sistem Manajemen Evakuasi). Berdasarkan hasil uji dan evaluasi, sistem ini sudah cukup efektif dan mudah digunakan untuk membantu navigasi dan penentuan jalur evakuasi tercepat dalam gedung KLMB. Sistem yang telah dibangun ini juga dapat digunakan untuk simulasi pelaksanaan evakuasi sebagai bentuk mitigasi bencana dalam Gedung KLMB. Ketersediaan *hardware* dan *software* (*ArcGIS 10.3*) yang terbatas merupakan kendala utama penerapan sistem ini. Idealnya, masing-masing titik kumpul pada masing-masing lantai minimal harus terpasang 1 sistem lengkap dengan *hardware* dan *software* yang dibutuhkan tersebut, di mana setiap sistem harus selalu *standby*, sehingga dapat langsung digunakan oleh pengguna gedung kapan pun mereka membutuhkan, baik pada kondisi normal maupun pada kondisi darurat.

Saran penelitian, sebaiknya hasil penelitian ini dapat diletakkan dalam sebuah anjungan komputer di gedung KLMB atau ditampilkan di televisi yang terpasang di gedung KLMB. Hasil penelitian sebaiknya juga di simulasikan langsung di lapangan dengan pengguna gedung dalam rangka

mitigasi bencana atau masuk dalam program dan pelatihan Keamanan, Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Lingkungan (K4L) UGM.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini, terutama kepada Pengelola Gedung KLMB, Fakultas Geografi UGM, serta Sekolah Vokasi UGM.

7. DAFTAR PUSTAKA

Republik Indonesia. (2007). UU Nomor 4 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana.

Republik Indonesia. (2008). PP Nomor 21 Tahun 2008 tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana.

Cichociński, P. dan Dębińska, E. (2016). Application of 3d Network Analysis for Development of Evacuation Plans and Procedures for Multi-Storey Building. Perugia : *Geographic Information Systems Conference and Exhibition "GIS ODYSSEY 2016"* : 63 – 69.

ESRI. (2005). The ArcGIS Network Weight Model. <http://edndoc.esri.com/arcobjectsonline/technicaldocuments/network/arcgisnetworkweight/networkweights.html>. Diakses pada tanggal 27 Februari 2017 pukul 8.54 WIB.

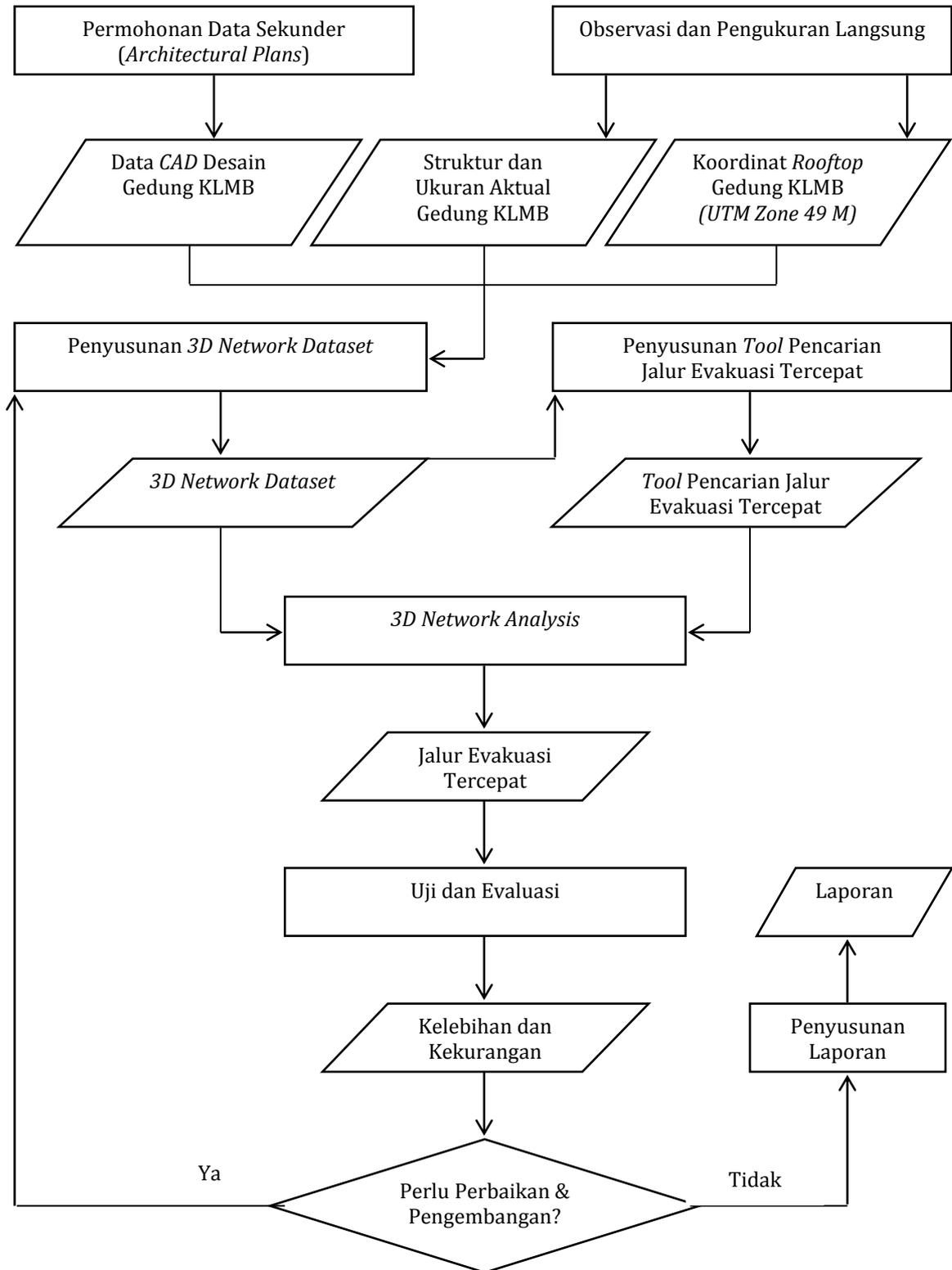
ESRI. (2012). *ArcGIS 10.1 Help*. ESRI.

Marti, R.M., (2013). UJI Spatial Network. Spain : University Jaume I of Castellón.

Media Project. (2013). Jalur Evakuasi pada Proyek Konstruksi. <http://projectmedias.blogspot.co.id/2013/08/jalur-evakuasi-pada-proyek-konstruksi.html>. Diakses pada tanggal 25 Februari 2017 pukul 11.35 WIB.

Tsiliakou, E. dan Dimopoulou, E. (2016). 3D Network Analysis for Indoor Space Applications. Athens : *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-2/W2* : 147 – 154.

8. LAMPIRAN 1



Bagan 1. Diagram Alir Penelitian