

**SKRIPSI**

**VERIFIKASI FORMAL SISTEM ELEVATOR DENGAN ALLOY**



**Ariel Jayapermana**

**NPM: 2013730050**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
2017**



**UNDERGRADUATE THESIS**

**FORMAL VERIFICATION OF MULTIPLE ELEVATORS  
SYSTEM USING ALLOY**



**Ariel Jayapermana**

**NPM: 2013730050**

**DEPARTMENT OF INFORMATICS  
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES  
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY  
2017**



**LEMBAR PENGESAHAN**



**VERIFIKASI FORMAL SISTEM ELEVATOR DENGAN ALLOY**

**Ariel Jayapermana**

**NPM: 2013730050**

**Bandung, 18 Desember 2017**

**Menyetujui,**

**Pembimbing**

**Dott. Thomas Anung Basuki**

**Ketua Tim Penguji**

**Dr. rer. nat. Cecilia Esti Nugraheni**

**Anggota Tim Penguji**

**Husnul Hakim, M.T.**

**Mengetahui,**

**Ketua Program Studi**

**Mariskha Tri Adithia, P.D.Eng**





## PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

### VERIFIKASI FORMAL SISTEM ELEVATOR DENGAN ALLOY

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,  
Tanggal 18 Desember 2017



Ariel Jayapermana  
NPM: 2013730050



## ABSTRAK

*Multiple Elevators System* adalah sebuah sistem elevator yang mengatur beberapa elevator di dalamnya. Sistem ini mengerjakan proses-proses yang ada secara bersamaan sebagai proses yang konkuren, sehingga dapat melayani pengguna dengan lebih cepat dan adil. Pada skripsi ini, akan dibangun sebuah perangkat lunak yang mampu melakukan simulasi *Multiple Elevators System*, kemudian akan dilakukan verifikasi menggunakan Alloy. Alloy adalah sebuah bahasa spesifikasi untuk menggambarkan batasan struktur kompleks dan perilaku dari sebuah perangkat lunak. Verifikasi ini perlu dilakukan agar perangkat lunak simulasi *Multiple Elevators System* teruji secara formal.

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa perangkat lunak simulasi *Multiple Elevators System* dan perangkat lunak Alloy dapat berjalan dengan baik. Perangkat lunak simulasi dapat menampilkan dengan baik bagaimana sistem elevator bekerja, sehingga dapat dengan mudah diamati dan dipahami. Semua fitur yang ada di dalam perangkat lunak juga sudah diuji dan seluruhnya berjalan dengan baik. Pada Alloy, seluruh properti-properti yang ada sudah berhasil dimodelkan. Kemudian dilakukan verifikasi atas *instance* dari properti-properti tersebut dan terbukti benar. Alloy juga mampu menampilkan skenario-skenario yang mungkin terjadi, sehingga memberikan gambaran yang lebih lengkap pada model yang sedang diuji.

Hasil dari skripsi ini adalah dua buah perangkat lunak, yang satu dituliskan dalam bahasa Java dan yang satu lagi dituliskan dalam bahasa Alloy. Perangkat lunak dalam bahasa Java berfungsi untuk melakukan simulasi bagaimana sebuah *Multiple Elevators System* bekerja, sedangkan perangkat lunak dalam bahasa Alloy berfungsi melakukan verifikasi secara formal pada model *Multiple Elevators System* yang digunakan.

**Kata-kata kunci:** sistem elevator, Alloy, verifikasi formal



## ABSTRACT

Multiple elevator system is an elevator system that control some elevators simultaneously. The system performs all processes simultaneously as concurrent processes, in order to be able to serve users fast and fairly. This undergraduate thesis will describe the development of a software which is able to simulate Multiple Elevators System, then a verification will be made using Alloy. Alloy is a declarative specification language for expressing complex structural constraints and behavior in a software system. This verification is necessary in order to have Multiple Elevators System formally tested.

Based on the test, it is concluded that Multiple Elevators System simulation software and Alloy software works properly. Simulation software can display properly how elevator system works, so that it can be observed and understood easily. All features in the software have all been tested and perform correctly. In Alloy, all properties have been modeled. Later on, verification has been done upon instances of the properties and they are proven correct. Alloy is also capable of showing scenarios that are possible to happen, to give a more complete view of the tested model.

The result of this undergraduate thesis is two sets of software, one is written in Java programming language, and the other is written in Alloy language. Software in Java programming language is to perform simulation of how a Multiple Elevators System works, while the software in Alloy language is to perform a formal verification on the Multiple Elevators System model.

**Keywords:** multiple elevators system, Alloy, formal verification



*Untuk Papah, Mamih, Manuel, dan Grace*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat dan penyertaan-Nya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dan meraih gelar sarjana dari Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains, Universitas Katolik Parahyangan. Penulis berharap semoga skripsi ini dapat dimanfaatkan demi kemajuan dan kebaikan semua orang.

Skripsi ini berjudul Verifikasi Formal Sistem Elevator dengan Alloy. Skripsi ini bertujuan untuk membuat sebuah simulator sistem elevator, sehingga dapat dengan mudah dipahami dan dimengerti oleh semua orang. Kemudian sistem tersebut akan dimodelkan dan diuji dengan menggunakan Alloy, sehingga sistem dapat teruji kebenarannya.

Penulis tidak akan mampu menyelesaikan skripsi ini seorang diri, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada orang-orang yang telah mendampingi dan membantu penulis selama pengerjaan skripsi ini:

- Papah yang telah menyemangati, membimbing, mendampingi, dan membantu penulis selama pengerjaan skripsi ini. Tanpa Papah, skripsi ini tidak akan mungkin bisa selesai dalam waktu satu bulan.
- Pak Aditya Bagoes Saputra yang telah menjadi dosen pembimbing paling sabar dan pengertian. Tanpa bantuan beliau, penulis tidak akan bisa menyelesaikan skripsi ini
- Mamih yang telah menyemangati selama penulis mengerjakan skripsi
- Manuel yang selalu siap membantu dalam segala hal
- Grace Ivana yang selalu mendampingi penulis, menyemangati penulis, dan menjadi tempat keluh kesah penulis dalam senang maupun sedih
- Dr.rer.nat.Cecilia Esti Nugraheni selaku ketua tim penguji dan Husnul Hakim,M.T. selaku anggota tim penguji, terima kasih atas segala masukan dan saran yang diberikan oleh Ibu dan Bapak sehingga mampu membuat skripsi ini menjadi lebih baik
- Semua teman-teman yang telah mendukung dan membantu dalam banyak hal

Penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan pada banyak hal dikarenakan keterbatasan kemampuan menulis maupun kurangnya pengetahuan penulis. Oleh karena itu penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya bila ada kata-kata yang kurang berkenan di hati pembaca. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca, khususnya mahasiswa Teknik Informatika Universitas Katolik Parahyangan.

Bandung, Desember 2017

Penulis



# DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>KATA PENGANTAR</b>   | <b>xv</b>   |
| <b>DAFTAR ISI</b>   | <b>xvii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>  | <b>xix</b>  |
| <b>1 PENDAHULUAN</b>  | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang . . . . .                                      | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah . . . . .                                     | 2           |
| 1.3 Tujuan Penelitian . . . . .                                   | 2           |
| 1.4 Batasan Masalah . . . . .                                     | 2           |
| 1.5 Metodologi Penelitian . . . . .                               | 2           |
| 1.6 Sistematika Pembahasan . . . . .                              | 3           |
| <b>2 LANDASAN TEORI</b>   | <b>5</b>    |
| 2.1 <i>Multiple Elevators System</i> . . . . .                    | 5           |
| 2.1.1 Tombol . . . . .  | 6           |
| 2.1.2 Lantai . . . . .  | 8           |
| 2.1.3 Elevator . . . . .  | 9           |
| 2.2 <i>Alloy</i> . . . . .  | 10          |
| 2.2.1 Logika Alloy . . . . .                                      | 10          |
| 2.2.2 Bahasa Alloy . . . . .                                      | 17          |
| <b>3 ANALISIS</b>   | <b>21</b>   |
| 3.1 Observasi di Dunia Nyata . . . . .                            | 21          |
| 3.2 Pemodelan <i>Use Case</i> . . . . .                           | 23          |
| 3.3 Analisis Diagram Kelas . . . . .                              | 27          |
| 3.4 Analisis Peraturan <i>Multiple Elevators System</i> . . . . . | 29          |
| 3.5 Analisis Properti Alloy . . . . .                             | 30          |
| <b>4 PERANCANGAN</b>  | <b>33</b>   |
| 4.1 Diagram Aktivitas . . . . .                                   | 33          |
| 4.1.1 Proses Memanggil Naik . . . . .                             | 33          |
| 4.1.2 Proses Memanggil Turun . . . . .                            | 34          |
| 4.1.3 Proses Memilih dan Menuju Lantai Tujuan . . . . .           | 35          |
| 4.2 Rancangan Antarmuka Pengguna . . . . .                        | 36          |
| 4.3 Rancangan Diagram Kelas . . . . .                             | 38          |
| 4.4 Rancangan Properti Alloy . . . . .                            | 48          |
| <b>5 IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN</b>                               | <b>51</b>   |
| 5.1 Lingkungan Implementasi . . . . .                             | 51          |
| 5.1.1 Lingkungan Perangkat Keras . . . . .                        | 51          |
| 5.1.2 Lingkungan Perangkat Lunak . . . . .                        | 51          |

|          |                             |           |
|----------|-----------------------------|-----------|
| 5.2      | Pengujian                   | 52        |
| 5.2.1    | Perangkat Lunak Java        | 52        |
| 5.2.2    | Perangkat Lunak Alloy       | 54        |
| <b>6</b> | <b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> | <b>59</b> |
| 6.1      | Kesimpulan                  | 59        |
| 6.2      | Saran                       | 60        |
|          | <b>DAFTAR REFERENSI</b>     | <b>61</b> |
|          | <b>A KODE PROGRAM</b>       | <b>63</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|      |   |    |
|------|---|----|
| 2.1  | Tombol dalam elevator . . . . .   | 7  |
| 2.2  | Tombol luar elevator . . . . .  | 8  |
| 2.3  | <i>State diagram</i> elevator . . . . .   | 9  |
| 2.4  | Contoh relasi <i>ternary</i> dalam bentuk tabel . . . . .                       | 11 |
| 2.5  | Contoh representasi atom dan relasi . . . . .                                   | 12 |
| 2.6  | Contoh tampilan modul Alloy . . . . .   | 18 |
| 3.1  | Diagram <i>use case</i> MES . . . . .   | 24 |
| 3.2  | Kelas diagram MES tahap analisis . . . . .                                      | 28 |
| 4.1  | Diagram aktivitas memanggil naik . . . . .                                      | 34 |
| 4.2  | Diagram aktivitas memanggil turun . . . . .                                     | 35 |
| 4.3  | Diagram aktivitas memilih lantai tujuan . . . . .                               | 36 |
| 4.4  | Jendela utama antarmuka <i>Multiple Elevators System</i> . . . . .              | 36 |
| 4.5  | Kelas diagram tahap perancangan . . . . .                                       | 38 |
| 4.6  | Kelas HallCalls . . . . .   | 39 |
| 4.7  | Kelas Elevator . . . . .  | 39 |
| 4.8  | Kelas ElevatorRequest . . . . .   | 41 |
| 4.9  | Kelas ElevatorSimulator . . . . .   | 44 |
| 4.10 | Kelas Configuration . . . . .   | 47 |
| 4.11 | Kelas Main . . . . .  | 48 |
| 5.1  | Properti-properti yang dimiliki Alloy . . . . .                                 | 54 |
| 5.2  | <i>Instance</i> Alloy dengan <i>request</i> dari lantai 1 ke lantai 3 . . . . . | 55 |
| 5.3  | <i>Instance</i> Alloy dengan <i>request</i> dari lantai 2 ke lantai 3 . . . . . | 56 |
| 5.4  | <i>Instance</i> Alloy dengan <i>request</i> dari lantai 1 ke lantai 0 . . . . . | 57 |



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sebuah gedung yang besar pasti memiliki beberapa elevator. Elevator-elevator ini dikendalikan dan dikontrol sebagai sebuah kesatuan (*group*). Karena itu, peran pengendali (*controller*) dalam hal ini menjadi sangat penting. Pengendali yang menentukan elevator mana yang akan mengerjakan *request* sehingga nantinya akan memenuhi semua kebutuhan. Ada beberapa kebutuhan yang harus dipenuhi, seperti *throughput* (banyaknya permintaan yang diselesaikan dalam rentang waktu tertentu) dan *service quality* (pengguna harus dilayani secara benar dan adil). Setiap gedung mungkin memiliki kebutuhan yang berbeda-beda, sehingga harus dikembangkan pengendali yang mampu menyesuaikan dengan gedung dan kebutuhan yang berbeda-beda [1].

Agar sistem pengendali dapat melakukan tugasnya dengan baik, diperlukan sifat *concurrency* di dalam sistem. Menurut Laslie Lamport, *concurrency* atau konkurensi diartikan sebagai kemampuan dari sebuah program atau algoritma untuk mengeksekusi beberapa proses secara paralel. Dengan kata lain program atau algoritma dikatakan konkuren jika proses-proses dari program atau algoritma tersebut dieksekusi pada waktu bersamaan sehingga tetap akan memberikan hasil yang sama dengan waktu eksekusi yang lebih cepat [2]. Sifat *concurrency* ini dibutuhkan untuk menjalankan beberapa elevator yang ada. Setiap elevator dianggap memiliki proses yang berbeda masing-masingnya, dan pengendali harus mampu menjalankan setiap proses yang berbeda-beda itu secara bersamaan, sehingga waktu eksekusi yang diperlukan menjadi lebih cepat.

Pada skripsi ini, akan dibangun sebuah perangkat lunak yang mampu melakukan simulasi *multiple elevators system*. Pengguna dapat menentukan jumlah objek-objek yang terlibat, seperti jumlah elevator dan jumlah lantai. Kemudian, pengguna bisa bebas menentukan skenario yang akan terjadi, seperti posisi awal elevator ada di lantai berapa saja, dan tujuan orang-orang yang akan menggunakan elevator. Dengan simulasi ini, diharapkan pengguna dapat memahami dan mengerti proses apa saja yang terjadi dalam *multiple elevators system*.

Kemudian, perangkat lunak simulasi tersebut akan dimodelkan dengan *Alloy* untuk mengetahui *concurrency* yang terjadi. Selain itu, pemodelan ini juga bertujuan untuk melihat properti apa saja yang ada di dalam *Multiple Elevators System* dan menguji properti-properti tersebut. *Alloy* adalah bahasa spesifikasi untuk mengekspresikan batasan dan perilaku sebuah struktur kompleks dari sebuah perangkat lunak [3]. Spesifikasi yang dihasilkan dapat dilihat dengan menggunakan perangkat lunak *Alloy Analyzer*. Diharapkan dengan menggunakan *Alloy* dapat dilakukan pengujian secara bertahap dan otomatis, dari pemodelan yang sederhana hingga pemodelan yang semakin kompleks. Sehingga kebenaran dari perangkat lunak simulasi dapat teruji secara menyeluruh dan tepat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dituliskan sebelumnya, rumusan masalah dari skripsi ini adalah:

1. Bagaimana cara kerja *multiple elevators system* ?
2. Bagaimana membuat simulasi *multiple elevators system* bekerja baik?
3. Bagaimana membuat model *Alloy* dari perangkat lunak simulasi?
4. Bagaimana melakukan verifikasi model *Alloy* yang dihasilkan?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan dari skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Memahami cara kerja *multiple elevators system*
2. Menghasilkan perangkat lunak yang mampu melakukan simulasi *multiple elevators system*
3. Memodelkan perangkat lunak simulasi menjadi sebuah model *Alloy*
4. Melakukan verifikasi terhadap model *Alloy* sehingga perangkat lunak teruji kebenarannya

## 1.4 Batasan Masalah

Rumusan masalah pada skripsi ini memiliki ruang lingkup yang sangat luas. Oleh karena keterbatasan waktu dan kemampuan, skripsi ini akan difokuskan dengan memperhatikan batasan masalah sebagai berikut:

1. Pada skripsi ini pengguna yang menggunakan elevator dianggap hanya manusia. Jika ada benda lain seperti barang-barang bawaan, dianggap menjadi kepunyaan pengguna dan menjadi satu dengan penggu tersebut. Tidak ada batasan kapasitas berat atau orang dalam sebuah elevator. Seluruh pengguna dianggap rasional, sehingga jika elevator penuh dan tidak ada lagi ruang kosong di dalam elevator, pengguna tidak akan menggunakan elevator tersebut.
2. Selama masih ada pekerjaan(*job*) yang belum dipenuhi oleh suatu elevator, elevator tersebut tidak akan berubah arah gerakannya
3. Jika pengguna di dalam elevator memilih lantai yang sudah terlewat oleh elevator(misalkan elevator sedang bergerak naik dan sudah berada di lantai 7, namun pengguna menekan tombol lantai 3) maka *request* tersebut tidak akan pernah dikerjakan, dan akan dihapus ketika elevator mencapai lantai *request* terakhir dan berubah *state* menjadi *idle*

## 1.5 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur mengenai *multiple elevators system*
2. Analisis dan perancangan *multiple elevators system*
3. Mengembangkan perangkat lunak simulasi *multiple elevators system*
4. Melakukan studi literatur mengenai model *Alloy*
5. Mengembangkan model *Alloy*
6. Melakukan verifikasi model *Alloy*

## 1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bab 1 Pendahuluan  
Bab 1 membahas tentang latar belakang topik skripsi ini. Selain itu dibahas juga mengenai rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, serta metodologi penelitian yang akan dilakukan dalam skripsi ini.
2. Bab 2 Dasar Teori  
Bab 2 membahas tentang teori-teori yang diperlukan dan digunakan dalam penelitian ini. Teori yang diperlukan dan dibahas adalah *multiple elevators system* dan *Alloy*
3. Bab 3 Analisis  
Bab 3 membahas analisis observasi di dunia nyata, pemodelan *use case*, kelas diagram pada tahap analisis, dan analisis peraturan *Multiple Elevators System*
4. Bab 4 Perancangan  
Bab 4 membahas tentang diagram aktivitas untuk *Multiple Elevators System*, perancangan antarmuka dan diagram kelas lengkap
5. Bab 5 Implementasi dan Pengujian  
Bab 5 membahas tentang pengujian untuk perangkat lunak Java dan perangkat lunak Alloy. Pada setiap perangkat lunak ini, dilakukan pengujian fungsional dan pengujian eksperimental.
6. Bab 6 Kesimpulan dan Saran  
Bab 6 berisikan kesimpulan yang didapat penulis setelah melakukan skripsi ini. Bab ini juga berisikan saran penulis bagi pembaca yang ingin melakukan studi kasus lebih lanjut mengenai skripsi ini.