

SKRIPSI

VERIFIKASI SISTEM ELEVATOR DENGAN *COLOURED
PETRI NETS*



Obrien Pradiva Mustopa

NPM: 2014730027

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2018

UNDERGRADUATE THESIS

**VERIFICATION OF ELEVATOR SYSTEM USING
COLOURED PETRI NETS**



Obrien Pradiva Mustopa

NPM: 2014730027

**DEPARTMENT OF INFORMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2018**

LEMBAR PENGESAHAN



**VERIFIKASI SISTEM ELEVATOR DENGAN *COLOURED
PETRI NETS***

Obrien Pradiva Mustopa

NPM: 2014730027

Bandung, 21 Mei 2018

Menyetujui,

Pembimbing

Luciana Abednego, M.T.

Ketua Tim Penguji

Dott. Thomas Anung Basuki

Anggota Tim Penguji

Dr. rer. nat. Cecilia Esti Nugraheni

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 SISTEM ELEVATOR DENGAN *COLOURED PETRI NETS*

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 21 Mei 2018



Obrien Pradiva Mustopa
NPM: 2014730027

ABSTRAK

Multiple elevators system adalah sebuah sistem elevator yang mengatur 2 atau lebih elevator di dalamnya. Sistem elevator ini mampu mengerjakan proses-proses yang masuk secara bersamaan dengan memanfaatkan sifat *concurrency*. Dengan adanya *concurrency* ini *car* elevator pada *multiple elevators system* dapat bekerja secara bersamaan, dengan kata lain *car* satu dengan *car* yang lain dapat bekerja secara *independent* tanpa perlu memperhatikan kondisi dari *car* lain dalam sistem yang sama. Pada skripsi ini, telah dibangun sebuah perangkat lunak simulasi yang mampu melakukan simulasi pergerakan dari *multiple elevators system*. Kemudian telah dilakukan verifikasi menggunakan *coloured petri nets*. *Coloured petri nets* adalah sebuah bahasa grafis yang dapat digunakan untuk memodelkan sistem yang konkuren. Verifikasi dilakukan dengan tujuan untuk memastikan perangkat lunak simulasi *multiple elevators system* teruji kebenarannya.

Setelah dilakukan pengujian terhadap perangkat lunak simulasi *multiple elevators system*, dapat disimpulkan bahwa perangkat lunak simulasi yang dibangun sudah mampu menyimulasikan objek-objek yang terdapat dalam sistem elevator di dunia nyata, serta menyimulasikan pergerakan dari masing-masing objek meskipun tidak disimulasikan interaksi antara objek penumpang dengan elevator seperti pada dunia nyata. Untuk model CPN, telah berhasil memodelkan seluruh bagian sistem elevator kedalam bentuk komponen CPN sesuai dengan definisi formal dari CPN. Komponen-komponen dimodelkan berdasarkan definisi formal CPN yaitu 9-tuple $(P, T, A, \Sigma, V, C, G, E, I)$. Dilakukan verifikasi terhadap kondisi-kondisi yang terjadi dalam model CPN, sehingga dapat diketahui apakah dengan properti yang sama dengan sistem elevator, model CPN mampu mencapai kondisi-kondisi yang sama terjadi pada sistem elevator. Verifikasi dilakukan dengan teknik *model checking* dan menggunakan fitur ASK-CTL dari CPNTools. Model CPN juga mampu mengobservasi seluruh kondisi yang mungkin terjadi dalam sistem elevator yang mungkin akan sulit ditemukan jika hanya menggunakan simulasi saja.

Hasil dari skripsi ini adalah sebuah perangkat lunak yaitu, perangkat lunak simulasi yang dibangun dengan menggunakan bahasa pemrograman Java pada kaskas Greenfoot dan sebuah model CPN yang dibangun dengan bahasa grafis *coloured petri net* dengan kaskas CPN Tools.

Kata-kata kunci: Verifikasi, CPN (*Coloured Petri Nets*), pemodelan formal, *multiple elevators system*, *model checking*

ABSTRACT

Multiple elevators system is an elevator system that controls 2 or more elevators. This elevator system is capable to work on incoming processes that coming simultaneously by utilizing concurrency behaviour. By using concurrency behaviour, multiple elevators system can work faster. In this undergraduate thesis, a simulation software is developed to simulate the movement of multiple elevators system. Then, the system is modeled and verified using coloured petri nets. Coloured petri nets is a graphical language that can be used for modeling a concurrent system. Verification is performed to ensure the correctness of the multiple elevators system simulation software.

After the testing of multiple elevators system simulation software is done, can be concluded that the simulation software that have been developed is capable to simulate objects that contain in the elevator system in the real world, also capable to simulate the movement of each object even though not simulating the interaction between passenger object with elevator object as in the real world. For CPN mode, has been successfully modeling every properties of elevator system into CPN component form according to the formal definition of CPN. Components have been modeled according to the formal definition of CPN is 9-tuple $(P, T, A, \Sigma, V, C, G, E, I)$. Verification of the conditions occuring in the CPN model, so it can be known wether with the same properties as the elevator sistem, the CPN model can achieve same conditions occurring in the elevator system. Verification is done by model checking technique and using ASK-CTL feature from CPNTools. The CPN model also able to observe all possible conditions in the elevator system which may be hard to find using simulation.

The result of this undergraduate thesis is a software, software of simulation built using Java programming language on the Greenfoot tool and some CPN models built using graphical language coloured petri net using CPN Tools.

Keywords: Verification, CPN (coloured petri nets), multiple elevators system, formal modeling, model checking

*Dipersembahkan untuk orang tua, keluarga, dan orang-orang
terdekat dari penulis.*

KATA PENGANTAR

Tidak mungkin penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini seorang diri. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan dan bantuan baik materil maupun mental.
2. Bapak Aditya Bagoes Saputra selaku dosen pembimbing yang telah sangat berjasa membantu penulis menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih sebesar-besarnya atas bimbingan, pembelajaran, serta waktu yang sudah diluangkan untuk membimbing penulis hingga akhirnya bisa menyelesaikan skripsi ini. Terima kasih sekali lagi dan mohon maaf atas segala kelalaian dan tingkah laku penulis yang kurang berkenan.
3. Silvia Ayu Aristi selaku teman terdekat penulis yang juga selalu memberikan dukungan dan bantuan ketika penulis menghadapi kesulitan. Terima kasih karena sudah selalu hadir saat dibutuhkan oleh penulis.
4. Bapak Thomas Anung Basuki dan Ibu Cecilia Esti Nugraheni selaku penguji yang telah memberikan masukan-masukan yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.
5. Terima kasih untuk “Dax” terutama untuk Reynaldo Imanuel, Muhammad Irfan, Calvin Satria, dan Muhammad Hilman sebagai teman seperjuangan. Untuk teman-teman “Dax” yang lain, penulis berterima kasih juga karena selalu memberikan dukungan. Segera menyusul!
6. Terima kasih untuk teman-teman mahasiswa Informatika yang namanya belum bisa penulis sebutkan, semua bantuan dalam bentuk apapun sangat membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Semoga semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini diberikan berkah dan rahmat yang melimpah dari Tuhan Yang Maha Esa. Akhir kata, penulis mohon maaf bila terdapat kesalahan ataupun kekurangan dari skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat berguna bagi semua pihak yang membutuhkan.

Bandung, Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian	3
1.6 Sistematika Pembahasan	4
2 LANDASAN TEORI	5
2.1 <i>Concurrency</i>	5
2.2 <i>Multiple Elevators System</i>	6
2.2.1 Tombol	7
2.2.2 Lantai	9
2.2.3 Elevator	10
2.3 Greenfoot	11
2.4 Verifikasi	12
2.4.1 <i>Linear-time Logics</i>	14
2.4.2 <i>Branching-time Logics</i>	16
2.5 <i>Coloured Petri Nets</i>	16
2.5.1 Definisi Formal <i>Coloured Petri Nets</i>	17
2.5.2 <i>Places</i>	19
2.5.3 <i>Token</i>	20
2.5.4 <i>Transition</i>	20
2.5.5 <i>Arc</i>	20
2.5.6 <i>State Space Analysis</i>	21
2.5.7 <i>ASK-CTL</i>	23
3 ANALISIS	27
3.1 Observasi <i>Multiple Elevators System</i> Nyata	27
3.2 Analisis <i>Multiple Elevators System</i>	28
3.2.1 State Diagram	28
3.2.2 Cara Kerja Sistem Elevator	30
3.3 <i>Coloured Petri Nets</i>	31
3.4 Properti <i>Multiple Elevators System</i>	32

4	PERANCANGAN	35
4.1	Rancangan Diagram Kelas	35
4.1.1	Kelas Elevator	36
4.1.2	Kelas RequestComparator	39
4.1.3	Man	39
4.1.4	Kelas MyWorld	41
4.2	Rancangan Antarmuka Perangkat Lunak Simulasi	42
4.2.1	Bagian Simulator	43
4.2.2	Bagian <i>Controller</i>	44
4.3	<i>Coloured Petri Nets</i>	46
4.3.1	Perancangan Model CPN	47
4.3.2	Perancangan Formula ASK-CTL	50
5	IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN	57
5.1	Lingkungan Implementasi	57
5.1.1	Lingkungan Perangkat Keras	57
5.1.2	Lingkungan Perangkat Lunak	57
5.2	Implementasi Model CPN	58
5.3	Pengujian Perangkat Lunak	59
5.3.1	Pengujian Fungsional	59
5.3.2	Pengujian Eksperimental	61
5.3.3	Pengujian Model CPN	63
6	KESIMPULAN DAN SARAN	75
6.1	Kesimpulan	75
6.2	Saran	76
	DAFTAR REFERENSI	77
	A KODE PROGRAM	79
	B HASIL EKSPERIMEN	93

DAFTAR GAMBAR

2.1	Contoh <i>concurrency</i> dari proses pendaftaran mata pelajaran	6
2.2	Tombol dalam elevator	8
2.3	Tombol luar elevator	9
2.4	<i>State diagram</i> sistem elevator	10
2.5	Contoh <i>model checking</i> pada <i>microwave</i>	13
2.6	Contoh ketentuan nomor 8	15
2.7	Contoh ketentuan nomor 9	15
2.8	Contoh ketentuan nomor 10	15
2.9	Contoh ketentuan nomor 11	16
2.10	Contoh sederhana CPN dari kasus <i>dining philosophers</i>	19
2.11	Node 1 model CPN <i>dining philosophers</i>	21
2.12	Seluruh node pada model CPN <i>dining philosophers</i>	22
2.13	Contoh informasi pada anak panah dalam <i>state space</i>	22
3.1	Agregasi <i>State diagram</i> sistem elevator	29
3.2	<i>State diagram</i> sistem elevator dengan 3(tiga) kondisi	30
4.1	Rancangan diagram kelas perangkat lunak simulasi	35
4.2	Diagram kelas elevator pada perangkat lunak simulasi	36
4.3	Diagram kelas RequestComparator pada perangkat lunak simulasi	39
4.4	Diagram kelas Man pada perangkat lunak simulasi	39
4.5	Diagram kelas MyWorld perangkat lunak simulasi	41
4.6	Antarmuka perangkat lunak simulasi	43
4.7	Antarmuka bagian simulator	44
4.8	Antarmuka bagian <i>controller</i>	45
4.9	Interaksi antara objek Orang dengan Lift	47
4.10	Interaksi antara objek Orang dengan Lift	47
4.11	Formula untuk properti nomor 1 kasus 1	50
4.12	Formula untuk properti nomor 2 kasus 1	51
4.13	Formula untuk properti nomor 3 kasus 1	51
4.14	Formula untuk properti nomor 4 kasus 1	51
4.15	Formula untuk properti nomor 1 kasus 2	52
4.16	Formula untuk properti nomor 2 kasus 2	52
4.17	Formula untuk properti nomor 3 kasus 2	53
4.18	Formula untuk properti nomor 4 kasus 2	53
4.19	Formula untuk properti nomor 1 kasus 3	54
4.20	Formula untuk properti nomor 2 kasus 3	54
4.21	Formula untuk properti nomor 3 kasus 3	55
4.22	Formula untuk properti nomor 4 kasus 3	55
5.1	Tampilan Model CPN dari perangkat lunak simulasi	58
5.2	<i>Initial marking</i> untuk kasus pertama	64
5.3	Hasil verifikasi properti nomor 1 kasus pertama	65

5.4	Hasil verifikasi properti nomor 2 kasus pertama	65
5.5	Hasil verifikasi properti nomor 2 kasus pertama	65
5.6	Hasil verifikasi properti nomor 4 kasus pertama	66
5.7	<i>Initial marking</i> untuk kasus kedua	66
5.8	Hasil verifikasi properti nomor 1 kasus kedua	67
5.9	Hasil verifikasi properti nomor 2 kasus kedua	67
5.10	Hasil verifikasi properti nomor 2 kasus kedua	68
5.11	Hasil verifikasi properti nomor 4 kasus kedua	68
5.12	<i>Initial marking</i> untuk kasus ketiga aktor A dan B	69
5.13	<i>Initial marking</i> untuk kasus ketiga aktor C	69
5.14	Hasil verifikasi properti nomor 1 kasus ketiga	71
5.15	Hasil verifikasi properti nomor 2 kasus ketiga	71
5.16	Hasil verifikasi properti nomor 2 kasus ketiga	72
5.17	Hasil verifikasi properti nomor 4 kasus ketiga	72
B.1	<i>State space</i> dari model CPN kasus pertama	93
B.2	<i>State space</i> dari model CPN kasus kedua	94
B.3	<i>State space</i> dari model CPN kasus ketiga	94

DAFTAR TABEL

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini dijelaskan mengenai latar belakang penulisan skripsi, rumusan masalah serta tujuan dari penulisan skripsi, batasan masalah, dan juga metodologi penelitian dalam penulisan skripsi ini.

1.1 Latar Belakang

Pada abad ke-20 ini sudah semakin banyak bangunan besar yang memiliki jumlah lantai lebih dari 2 (dua) sehingga pada umumnya dilakukan pemasangan elevator pada bangunan-bangunan tersebut untuk mempermudah dan mempercepat mobilisasi antar lantai. Agar mobilisasi dapat berjalan secara efisien, umumnya digunakan elevator dengan jumlah lebih dari 1 (satu) yang nantinya elevator-elevator tersebut akan bekerja secara bersamaan dalam satu sistem yang sama, atau bisa dikatakan sebagai *multiple elevators system*. Untuk setiap *multiple elevators system* terdapat satu pengendali yang berperan untuk mengendalikan elevator-elevator yang terhubung dalam sistem tersebut. Dengan adanya pengendali ini diharapkan mampu memenuhi kebutuhan dari *multiple elevators system*, yaitu seperti menentukan elevator mana yang akan menangani suatu *request* yang datang dari pengguna elevator.

Agar *multiple elevators system* ini mampu menangani elevator-elevator yang bekerja dalam sistem yang sama diperlukan sifat *concurrency*. Menurut Laslie Lamport, *concurrency* atau konkurensi diartikan sebagai kemampuan dari sebuah program atau algoritma untuk mengeksekusi beberapa proses secara paralel. Program atau algoritma dikatakan konkuren jika proses-proses dari program/algoritma tersebut dieksekusi pada waktu bersamaan sehingga tetap akan memberikan hasil yang sama dengan waktu eksekusi yang lebih cepat [1]. Dengan adanya sifat *concurrency* yang diterapkan dalam *multiple elevators system* memungkinkan sistem tersebut untuk mengendalikan lebih dari satu elevator secara bersamaan.

Permasalahan yang sering timbul dari sistem elevator pada umumnya adalah ketika seorang pengguna elevator perlu menunggu sangat lama sampai bisa dilayani oleh sistem. Faktor utama yang mempengaruhi hal tersebut dalam kasus *concurrency* adalah sistem mengalami kondisi *starving* dimana sistem hanya mengesekusi kondisi tertentu secara terus menerus dan kondisi lain tidak mendapat giliran dieksekusi. Dalam kasus *multiple elevators system*, hal ini menyebabkan sistem menjadi tidak dapat berfungsi sebagaimana seharusnya.

Pada skripsi ini, telah dibangun sebuah perangkat lunak simulasi dari *multiple elevators system*. Perangkat lunak simulasi dibangun dengan memanfaatkan bahasa pemrograman Java dengan kakas Greenfoot. Greenfoot adalah salah satu *IDE (integrated development environment)* yang memiliki basis bahasa pemrograman Java. Sementara untuk pemodelan dari sistem simulasi digunakan kakas CPNTools. CPNTools ini merupakan kakas pemodelan dengan memanfaatkan *coloured petri nets*, yang berfungsi memodelkan sistem kedalam bentuk jaringan petri. Dengan memanfaatkan CPNTools, dapat dilakukan pemodelan terhadap sistem yang memiliki sifat *concurrency* yang akan

sangat membantu dalam proses verifikasi. Proses pemodelan dan verifikasi ini bertujuan untuk memastikan logika yang diterapkan dalam model sistem sudah sesuai serta memastikan skenario yang terjadi dalam simulasi sudah direpresentasikan dengan benar sesuai dengan skenario yang terjadi dalam dunia nyata.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana cara kerja *multiple elevators system*?
2. Bagaimana membuat simulasi *multiple elevators system* dengan Java?
3. Bagaimana memodelkan perangkat lunak simulasi dengan *Coloured Petri Nets*?
4. Bagaimana melakukan verifikasi terhadap sifat-sifat dari *multiple elevators system* dengan menggunakan model *Coloured Petri Nets* yang sudah dihasilkan?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, berikut dipaparkan apa yang menjadi tujuan dari skripsi ini:

1. Memahami cara kerja dari *multiple elevators system*.
2. Membangun perangkat lunak simulasi dari *multiple elevator system*.
3. Merancang model *multiple elevators system* dengan memanfaatkan *Coloured Petri Nets*.
4. Melakukan verifikasi terhadap sifat-sifat dari *multiple elevators system* dengan menggunakan model *Coloured Petri Nets* sehingga perangkat lunak teruji kebenarannya.

1.4 Batasan Masalah

Untuk membatasi cakupan masalah, berikut batasan masalah dari skripsi ini:

1. Perangkat lunak simulasi dibangun dengan memanfaatkan bahasa pemrograman Java dan kakas Greenfoot.
2. Perangkat lunak simulasi *multiple elevators system* berfokus pada merepresentasikan bagaimana *multiple elevators system* bekerja menangani masukan dari pengguna.
3. Perangkat lunak simulasi *multiple elevators system* tidak merepresentasikan interaksi antara pengguna dengan sistem elevator pada dunia nyata.
4. Perangkat lunak simulasi *multiple elevators system* hanya memiliki jumlah lantai sebanyak 4 lantai, dan elevator sebanyak 2 buah. Hal ini disebabkan karena keterbatasan perangkat keras (layar) yang digunakan. Simulator memiliki 4 buah lantai sudah cukup untuk merepresentasikan pergerakan dari elevator pada sistem karena sudah memiliki lantai dasar, lantai puncak, dan lantai tengah. Sementara untuk jumlah elevator yang digunakan hanya 2 buah, karena dengan 2 buah elevator sudah cukup untuk merepresentasikan sifat *concurrency* yang terdapat pada simulator yang dibangun.
5. Model sistem dibangun dengan menggunakan kakas CPNTools.
6. Model sistem dibangun berdasarkan sistem elevator pada perangkat lunak simulasi.
7. Verifikasi dilakukan dengan teknik *model checking* menggunakan fitur ASK-CTL dari CPNTools.

1.5 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah:

1. Melakukan studi pustaka mengenai sifat *concurrency* dalam suatu model sistem.
2. Melakukan studi pustaka mengenai *multiple elevators system*.
3. Melakukan analisis terhadap *multiple elevators system*.
4. Melakukan studi pustaka mengenai kakas Greenfoot.
5. Mengembangkan perangkat lunak simulasi *multiple elevators system* dengan bahasa pemrograman Java menggunakan kakas Greenfoot.
6. Melakukan pengujian perangkat lunak simulasi.
7. Melakukan studi pustaka mengenai *Coloured Petri Nets*.
8. Melakukan analisis terhadap teknik pemodelan *Coloured Petri Nets*.
9. Mengembangkan dan merancang bentuk model dari *multiple elevators system* dengan *Coloured Petri Nets*.
10. Melakukan verifikasi terhadap bentuk model dengan *Coloured Petri Nets* dengan teknik *model checking* menggunakan fitur ASK-CTL dari CPNTools.
11. Menulis dokumen skripsi.

1.6 Sistematika Pembahasan

Berikut disajikan sistematika pembahasan dalam skripsi ini:

1. Bab Pendahuluan

Bab 1 akan berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika pembahasan dari skripsi ini.

2. Bab Dasar Teori

Bab 2 yang merupakan landasan teori akan berisi mengenai teori-teori yang penulis gunakan sebagai acuan dalam penulisan skripsi ini, teori-teori yang ada antara lain mengenai *Concurrency*, *Multiple Elevators System*, *GreenFoot*, verifikasi, dan *Coloured Petri Nets*.

3. Bab Analisis

Bab 3 berisi analisis terhadap sistem yang ada di dunia nyata yang nantinya akan menjadi acuan dalam mengembangkan perangkat lunak simulasi. Analisis tersebut terdiri dari skenario-skenario *multiple elevators system* pada sistem di dunia nyata dan diagram *state*. Selain itu ada juga analisis kebutuhan dari CPN. Serta analisis properti dalam bentuk formula ASK-CTL yang dapat digunakan untuk melakukan verifikasi.

4. Bab Perancangan

Bab 4 berisi mengenai perancangan perangkat lunak simulasi yang akan dibangun, perancangan model CPN, dan perancangan formula ASK-CTL untuk kebutuhan verifikasi. Perancangan perangkat lunak simulasi terdiri dari, kebutuhan perangkat lunak, diagram *class*, dan rancangan antar muka sistem. Pada perancangan model CPN dijelaskan kebutuhan dari model yang dibangun dalam bentuk 9 tuple dan juga rancangan bentuk model-model dasar yang digunakan untuk membangun model utama secara keseluruhan. Perancangan formula ASK-CTL terdiri dari pembentukan formula berdasarkan properti-properti yang sudah didefinisikan sebelumnya. Formula ASK-CTL dirancang khusus untuk setiap contoh kasus yang digunakan.

5. Bab Implementasi dan Pengujian

Bab 5 berisi implementasi dan pengujian terhadap perangkat lunak simulasi dan model CPN. Untuk perangkat lunak simulasi, pengujian yang dilakukan merupakan pengujian secara fungsional dan eksperimental. Pada model CPN dilakukan pengujian verifikasi dengan teknik *model checking* dengan menggunakan fitur ASK-CTL pada CPNTools.

6. Bab Kesimpulan dan Saran

Bab 6 berisi kesimpulan dari penulisan skripsi ini. Bab ini juga berisi saran untuk para pembaca yang ini melakukan penelitian atau pengembangan lebih lanjut terhadap perangkat lunak yang sudah dibangun.