

**SKRIPSI**

**PENGEMBANGAN SIMULATOR DISTRIBUTED SUPPORT  
VECTOR MACHINE (DSVM) PADA WIRELESS SENSOR  
NETWORK (WSN) MENGGUNAKAN SIMULATOR  
CASTALIA**



**Michael Stefanus Valentino**

**NPM: 2014730077**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA  
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS  
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN  
2020**



**UNDERGRADUATE THESIS**

**DEVELOPMENT OF DISTRIBUTED SUPPORT VECTOR  
MACHINE SIMULATOR (DSVM) ON WIRELESS SENSOR  
NETWORK (WSN) USING CASTALIA SIMULATOR**



**Michael Stefanus Valentino**

**NPM: 2014730077**

**DEPARTMENT OF INFORMATICS  
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES  
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY  
2020**



## PERNYATAAN

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

### **PENGEMBANGAN SIMULATOR DISTRIBUTED SUPPORT VECTOR MACHINE (DSVM) PADA WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN) MENGUNAKAN SIMULATOR CASTALIA**

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 10 Juni 2020



Michael Stefanus Valentino  
NPM: 2014730077

# LEMBAR PENGESAHAN

## PENGEMBANGAN SIMULATOR DISTRIBUTED SUPPORT VECTOR MACHINE (DSVM) PADA WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN) MENGGUNAKAN SIMULATOR CASTALIA

Michael Stefanus Valentino

NPM: 2014730077

Bandung, 10 Juni 2020

Menyetujui,

Pembimbing

Elisati Hulu, M.T.

Ketua Tim Penguji

Anggota Tim Penguji

Raymond Chandra Putra, M.T.

Rosa De Lima, 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:

**PENGEMBANGAN SIMULATOR DISTRIBUTED SUPPORT VECTOR  
MACHINE (DSVM) PADA WIRELESS SENSOR NETWORK (WSN)  
MENGUNAKAN SIMULATOR CASTALIA**

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 10 Juni 2020

A handwritten signature in blue ink that reads "Michael". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath the name.

Michael Stefanus Valentino  
NPM: 2014730077





## ABSTRAK

*Wireless Sensor Network* adalah sebuah jaringan nirkabel yang terdiri dari node-node sensor yang saling berkomunikasi satu sama lain. Node-node ini dapat berkomunikasi, melakukan komputasi, dan memiliki kemampuan untuk melakukan *sensing*. Meneliti suatu algoritma pada lingkungan WSN, memiliki banyak faktor yang dibutuhkan seperti membutuhkan node yang banyak, membutuhkan persebaran node yang spesifik, dan berbagai kondisi lingkungan spesifik untuk menguji algoritma tersebut. Faktor-faktor ini dapat menghabiskan waktu dan biaya saat melakukan pengujian, salah satu solusinya adalah dengan menggunakan simulator untuk mensimulasikan faktor-faktor tersebut dengan mudah.

Salah satu simulator jaringan yang dapat digunakan adalah Castalia dengan OMNeT++ sebagai *platform*. Castalia dibangun sedemikian rupa agar mendekati kondisi pengujian pada WSN di dunia nyata. Pada skripsi ini telah dibangun sebuah simulator untuk mengimplementasikan algoritma AdMoM-DSVM pada WSN. Algoritma diimplementasi untuk memprediksi kelas dari suatu *data set*. *Distributed Support Vector Machine* merupakan algoritma *Support Vector Machine* yang dijalankan pada lingkungan yang terdistribusi seperti pada WSN. Pada skripsi ini algoritma diimplementasikan pada WSN dengan topologi *flat*. *Support Vector Machine* sendiri adalah algoritma *supervised learning* yang melatih model dan mengklasifikasikan data linear maupun tidak linear menjadi dua kelas dengan memaksimalkan *margin* antara *support vector*.

Pengujian pada skripsi ini bertujuan untuk mengetahui performa dari algoritma yang telah diimplementasikan. Performa diukur melalui nilai *empirical risk* yang akan menunjukkan persentase error dari prediksi yang dilakukan oleh simulator. Semakin besar *empirical risk* semakin tidak baik performa dari simulator. Pengujian dilakukan menggunakan jumlah node, kepadatan jaringan (rata-rata tetangga tiap node pada jaringan) dan jumlah data uji yang berbeda-beda. Pengujian menghasilkan nilai *empirical risk* dengan nilai diantara 0.1098 sampai dengan 0.1545. Dengan kata lain, akurasi prediksi algoritma MoM-DSVM pada pengujian yang dilakukan mencapai 84.55% sampai dengan 89%.

**Kata-kata kunci:** *Wireless Sensor Network, Distributed Support Vector Machine, Simulator, OMNeT++, Castalia*



## ABSTRACT

Wireless sensor network is a network that consist of sensor nodes, these nodes can communicate with each other, do some computation, and it could sense its surrounding. Researching on an algorithm in Wireless Sensor Network has many factors that are necessary, like spesific number of nodes that needs to be changed a lot of times, various nodes deployment variations, and some specific environment that are needed to test the algorithm. These factors can make testing expensive and time-consuming, one solution is to use a simulator to simulate these factors easily.

One simulator for a network simulator that can be used is Castalia and OMNeT++ as its platform. Castalia was built to be as close as possible to the real world WSN testing environment. A simulator has been built to implement AdMoM-DSVM on WSN environment in this thesis. The algorithm is implemented to predict the class of data from a data set. Distributed Support Vector machine is a Support Vector Machine on a distributed environment like a WSN. In this thesis the algorithm is implemented in WSN with a flat topology. Support Vector Machine itself is a supervised learning algorithm that trains models and classifies linear or non-linear data into two classes by maximizing the margin between support vectors.

Testing in this thesis aims to determine the performance of the algorithm that has been implemented. Performance is measured through empirical risk values which will show the percentage of errors from predictions made by the simulator. The greater the empirical risk, the worse the performance of the simulator will be. The test is carried out using different number of nodes, different network densities (average neighboring nodes on the network) and different amounts of test data. The test produces empirical risk values with values between 0.1098 to 0.1545. In other words, the accuracy of the prediction of the MoM-DSVM algorithm in the tests performed was 84.55% to 89%.

**Keywords:** Wireless Sensor Network, Distributed Support Vector Machine, Simulator, OMNeT++, Castalia



*Skripsi ini saya persembahkan kepada :*

- 1. Tuhan yang Maha Esa.*
- 2. Kedua orang tua dan kakak yang selama ini telah mendukung saya dalam pengerjaan skripsi ini.*
- 3. Paman saya yang telah membantu secara finansial dalam menyelesaikan bangku perkuliahan saya.*
- 4. Dosen-dosen yang telah membantu saya dalam belajar selama 12 semester di bangku perkuliahan.*
- 5. Teman-teman baik yang di Jakarta, Bandung, Balikpapan , dan Belitung.*



## KATA PENGANTAR

Saya mengucapkan terimakasih kepada :

1. Kedua orang tua saya dan kakak yang selalu membantu secara mental dalam pengerjaan skripsi ini.
2. Bapak Elisati Hulu sebagai dosen pembimbing yang sudah sangat membantu saya dalam pengerjaan skripsi ini. Saya ucapkan terimakasih dan maaf jika saya merepotkan bapak.
3. Bapak Raymond dan Ibu Rosa sebagai dosen penguji yang telah membantu saya membangun skripsi ini menjadi lebih baik dengan kritik dan saran-sarannya.
4. Bapak Anung sebagai dosen pembimbing sebelum skripsi yang membuat saya semangat lagi menjalani kuliah. Tanpa dukungan dari bapak saya sudah pasti akan keluar dari perkuliahan.
5. Teman-teman saya selama di Bandung yaitu Meirene Rebeka, Andreas Adinata, Tata, Ricky Yulius, Ricky Wahyudi, Ana, Thomas Kinanta, Vido, Hendri Susanto, Armin, Marcel Trixie, Stillmen, almarhum Andy, Hereza, Andre, Rio, Ame, Paman, dan Jojo.
6. Teman-teman di Jakarta yaitu Yoko, Michael, Vincent, Willyam, Febrian, Erwin, Richard, Ricky Hadrian, Jimmy, Andre, Icing, Sylvandi, Bella, Evani, Arya, Juwandi, dan Sedy.
7. Takehito Koyasu, Hayao Miyazaki, dan Yostar yang telah menghibur saya saat saya sedang kurang bersemangat.

Bandung, Juni 2020

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>DAFTAR TABEL</b>	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR KODE PROGRAM</b>	<b>xxiii</b>
<b>1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang . . . . .	1
1.2 Rumusan Masalah . . . . .	2
1.3 Tujuan . . . . .	2
1.4 Batasan Masalah . . . . .	2
1.5 Metodologi . . . . .	3
1.6 Sistematika Pembahasan . . . . .	3
<b>2 LANDASAN TEORI</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN) . . . . .	5
2.1.1 Karakteristik Node pada <i>Wireless Sensor Network</i> . . . . .	6
2.1.2 Karakteristik <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN) . . . . .	7
2.2 Pola Komunikasi dan Protokol di WSN . . . . .	9
2.2.1 Pola Komunikasi . . . . .	9
2.2.2 Data Delivery Model . . . . .	9
2.3 Support Vector Machine . . . . .	11
2.3.1 SVM Terpusat . . . . .	14
2.4 Distributed Support Vector Machine . . . . .	15
2.5 Simulasi . . . . .	17
2.5.1 Domain Aplikasi . . . . .	17
2.5.2 <i>Input, Output</i> dan <i>State</i> . . . . .	17
2.6 Simulator WSN . . . . .	18
2.7 Castalia . . . . .	19
2.7.1 Pengenalan . . . . .	19
2.7.2 Struktur . . . . .	20
<b>3 ANALISIS</b>	<b>23</b>
3.1 Analisis Algoritma DSVM . . . . .	23
3.2 Analisis Castalia . . . . .	24
3.2.1 Penjelasan Singkat OMNeT++ . . . . .	24
3.2.2 Modul Castalia . . . . .	24
3.2.3 Modul aplikasi . . . . .	25
3.3 Analisis Simulasi DSVM pada Castalia Simulator . . . . .	26

3.4	Diagram Aktivitas Simulator DSVM . . . . .	28
3.5	Use Case Diagram . . . . .	30
3.5.1	Skenario . . . . .	30
3.6	Kebutuhan Perangkat Lunak . . . . .	31
3.6.1	Kebutuhan Fungsional . . . . .	31
3.6.2	Kebutuhan Non Fungsional . . . . .	31
<b>4</b>	<b>PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK</b>	<b>33</b>
4.1	Perancangan Simulasi DSVM pada WSN Menggunakan Castalia . . . . .	33
4.2	Sequence Diagram . . . . .	40
<b>5</b>	<b>PENGUJIAN</b>	<b>43</b>
5.1	Lingkungan Pengujian . . . . .	43
5.1.1	Lingkungan Perangkat Keras . . . . .	43
5.1.2	Lingkungan Perangkat Lunak . . . . .	43
5.2	Pengujian . . . . .	43
5.2.1	Pengujian 1 . . . . .	45
5.2.2	Pengujian 2 . . . . .	45
5.2.3	Pengujian 3 . . . . .	45
5.2.4	Perbandingan Performa dengan LIBSVM . . . . .	46
<b>6</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>47</b>
6.1	Kesimpulan . . . . .	47
6.2	Saran . . . . .	47
	<b>DAFTAR REFERENSI</b>	<b>49</b>
	<b>A KODE PROGRAM</b>	<b>51</b>
	<b>B HASIL EKSPERIMEN</b>	<b>67</b>

## DAFTAR GAMBAR

1.1	Contoh WSN	1
1.2	Pembagian kelas pada SVM	2
2.1	Contoh WSN	5
2.2	Sebuah Node WSN[1]	6
2.3	Arsitektur <i>hierarchical</i> (kiri) dan <i>flat</i> (kanan)[1]	7
2.4	Infrastruktur Global WSN[1]	8
2.5	Infrastruktur WSN berdasarkan <i>data delivery model</i> [1]	10
2.6	Aplikasi WSN berbasis <i>delivery model</i> [1]	10
2.7	Contoh <i>decision line</i> [2]	11
2.8	Overfitting[2]	11
2.9	Decision line ditengah data[2]	12
2.10	Dua decision line berbeda[2]	12
2.11	Membandingkan margin dari decision line[2]	12
2.12	Margin menyentuh support vector[2]	13
2.13	Support vector[2]	13
2.14	Graf tidak berarah memodelkan sebuah jaringan WSN[3]	14
2.15	Visualisasi dari iterasi 2.6 sampai dengan 2.8:(kiri) setiap node $j \in \mathcal{J}$ menghitung $\lambda_j(t+1)$ untuk memperoleh $v_j(t+1)$ dan kemudian mem- <i>broadcast</i> $v_j(t+1)$ ke semua tetangga ( $i \in \mathcal{B}_j$ ); (kanan) sekali setiap node $j \in \mathcal{J}$ telah menerima $v_j(t+1)$ dari semua tetangga ( $i \in \mathcal{B}_j$ ), node menghitung $\alpha_j(t+1)$ [4]	17
2.16	Tabel perbandingan simulator WSN[5]	19
2.17	Modul Komposit[6]	20
2.18	Struktur internal modul komposit[6]	21
3.1	Struktur modul pada OMNeT++. Kotak berwarna merah merepresentasikan modul sederhana, kotak kecil merepresentasikan <i>gate</i> , tanda panah yang terhubung dengan kotak kecil merepresentasikan koneksi, dan modul gabungan direpresentasikan oleh persegi panjang berwarna hijau.	24
3.2	File .ned	25
3.3	Omnetpp.ini	26
3.4	Diagram Aktivitas	29
3.5	Use Case Diagram	30
3.6	Contoh menjalankan simulasi	31
4.1	Diagram Kelas	33
4.2	Diagram Kelas VirtualApplication	34
4.3	Diagram Kelas ApplicationPacket	34
4.4	Diagram Kelas Skripsian	35
4.5	Diagram Kelas MyDataPacket	36
4.6	Sequence Diagram	41
5.1	Contoh data set	44

5.2	Contoh nilai <i>degree</i> node sebagai <i>output</i> simulasi . . . . .	44
5.3	Contoh nilai <i>empirical risk</i> sebagai output dari simulasi . . . . .	44
5.4	Model classifier yang digenerate oleh lib-svm untuk data pelatihan dengan jumlah node = 30 dan average degree 6.56 . . . . .	46
B.1	Hasil Simulasi DSVM . . . . .	67

## DAFTAR TABEL

3.1	Tabel deskripsi Skenario SK01 . . . . .	30
3.2	Flow dari Skenaro SK01 . . . . .	31
5.1	Tabel pengujian dengan jumlah node = 10 . . . . .	45
5.2	Tabel pengujian dengan jumlah node = 15 . . . . .	45
5.3	Tabel pengujian dengan jumlah node = 30 . . . . .	46



## DAFTAR KODE PROGRAM

A.1	Skripsian.h	51
A.2	Skripsian.cc	52
A.3	Library eigenmvn.h	58
A.4	Vector_m.h	59
A.5	Vector_m.cc	63



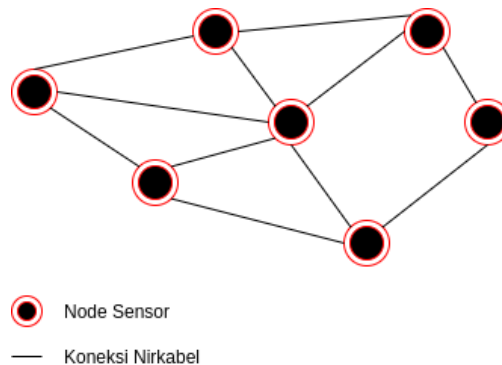


# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

*Wireless Sensor Network* adalah sebuah jaringan yang terdiri dari sekumpulan node-node sensor yang saling berhubungan satu sama lain seperti pada gambar 1.1. Node-node pada WSN merupakan sebuah perangkat yang terdiri dari sensor, perangkat komputasi, pemancar dan penerima sinyal.



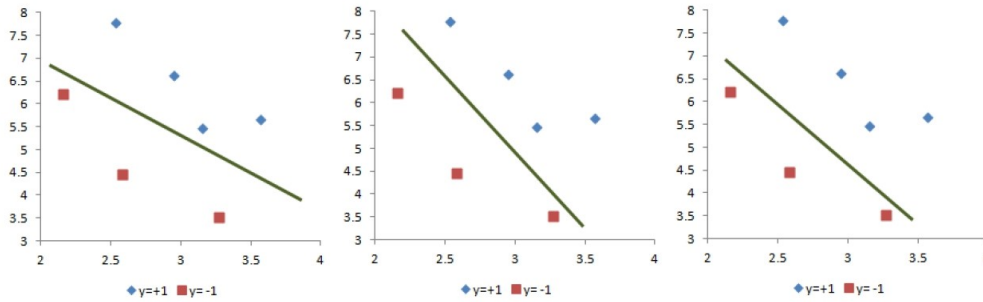
Gambar 1.1: Contoh WSN

Terdapat dua jenis topologi yang dapat diterapkan pada WSN, yaitu *flat* dan *cluster (hierarchical)*. Pada topologi *cluster*, node memiliki peran-peran yang berbeda yaitu node pangkal, node kepala serta node sensor yang merupakan anak dari node kepala, sementara pada topologi *flat*, seluruh node tidak memiliki peran yang berbeda, semua memiliki peran yang sama.

*Distributed Support Vector Machine* adalah algoritma pembelajaran mesin yang digunakan untuk sebuah jaringan yang terdiri dari perangkat-perangkat yang saling berhubungan, baik hubungan tersebut menggunakan kabel maupun nirkabel seperti pada WSN. DSVM dibuat berdasarkan dengan SVM. SVM merupakan *supervised learning* yang digunakan untuk mengklasifikasikan data menjadi beberapa kelas seperti pada gambar 1.2.

Umumnya data yang digunakan pada SVM sudah tersedia secara terpusat, namun SVM juga dapat digunakan pada kondisi yang terdistribusi. Pada jaringan yang terdistribusi jika ingin menggunakan SVM maka training data yang tersebar pada tiap node harus dikirimkan kepada node yang berfungsi sebagai *base station*, yang berfungsi sebagai pusat pemrosesan. Setelah semua training data sudah terkumpul pada *base station* maka komputasi SVM dilakukan.

Tidak disarankan semua node berkomunikasi dengan node pusat pada *Wireless Sensor Network* dimana perangkatnya memiliki daya yang terbatas, sehingga jika seluruh node bertukar informasi langsung ke node pusat, maka daya pada node pusat akan cepat habis. Maka, digunakan algoritma *Distributed Support Vector Machine* yang merupakan algoritma SVM namun sudah dimodifikasi



Gambar 1.2: Pembagian kelas pada SVM

sehingga cocok untuk jaringan terdistribusi.

DSVM melakukan klasifikasi dengan memperoleh *support vector* (SV) yang diperoleh dari data set pada tiap node. SV ini dihitung secara lokal pada masing-masing node dan kemudian dikirimkan ke atau melalui node tetangga, untuk selanjutnya SV tersebut diproses di *base station*, untuk memperoleh fungsi diskriminan (*decision boundary*). Secara inkremental, fungsi diskriminan dibentuk oleh SV-SV yang dihitung di masing-masing node. DSVM tidak membutuhkan pusat pemroses seperti pada SVM terpusat. DSVM dapat digunakan pada WSN dimana pertukaran pesan terjadi hanya pada node-node tetangga. Hal ini mengurangi overhead komunikasi dan meningkatkan skalabilitas. Pada akhirnya, setiap node pada jaringan memiliki fungsi diskriminan yang identik, tanpa ada satu node yang menjadi pusat pemroses.

Namun untuk menguji suatu algoritma di WSN membutuhkan beberapa faktor yang dapat diubah dengan mudah, seperti penyebaran node yang spesifik, dan jumlah node yang dibutuhkan. Tentunya hal ini dapat menguras waktu dan biaya, maka salah satu solusinya adalah dengan menggunakan simulator. Penggunaan simulator berfungsi sebagai prototype dari penerapan pada WSN sebenarnya. Dalam skripsi telah dibangun simulator untuk menguji penerapan DSVM pada WSN dengan topologi *flat*. Data yang digunakan pada simulator DSVM dihasilkan secara acak dengan distribusi Gaussian 2 dimensi.

Simulator dibangun dengan menggunakan Castalia Simulator, yang dapat digunakan untuk membangun simulator WSN. Castalia dibangun berbasis platform OMNeT++ dan dapat digunakan untuk melakukan riset terhadap algoritma terdistribusi dan protokol pada model yang realistis.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari skripsi ini yaitu :

- Bagaimana cara menerapkan algoritma DSVM pada simulator WSN?
- Bagaimana cara membangun simulator DSVM pada WSN menggunakan simulator Castalia?

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari skripsi ini yaitu :

- Menerapkan algoritma DSVM pada simulator WSN.
- Membangun simulator DSVM pada WSN dengan menggunakan simulator Castalia.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari Skripsi ini yaitu :

- Algoritma DSVM yang digunakan adalah linear DSVM.
- Data pelatihan dan *data test* yang digunakan adalah data berdimensi 2 dengan label.

## 1.5 Metodologi

Metodologi penelitian dalam pengerjaan Skripsi ini memiliki tahapan sebagai berikut :

1. Mempelajari permasalahan dari topik skripsi.
2. Melakukan pembelajaran literatur mengenai *Support Vector Machine* dan *Distributed Support Vector Machine*.
3. Melakukan pembelajaran literatur mengenai OMNeT++ dan Castalia Simulator.
4. Mempelajari cara menggunakan *framework* Castalia, dan bahasa pemrograman C++.
5. Melakukan analisis.
6. Melakukan perancangan perangkat lunak dan penulisan dokumen bab 4.
7. Melakukan implementasi dan pengujian terhadap simulator DSVM.
8. Melakukan penulisan dokumen skripsi.

## 1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan pada skripsi ini, terdiri dari beberapa bab yaitu :

- Bab 1 akan berisi latar belakang skripsi, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah pada skripsi ini, dan metodologi pengerjaan skripsi dan sistematika pembahasan. Latar belakang membahas secara singkat apa itu *wireless sensor network*, *distributed support vector machine*, mengapa simulator dibutuhkan dalam pengujian algoritma pada wsn dan Castalia simulator yang digunakan untuk membangun perangkat lunak pada skripsi ini.
- Bab 2 akan berisi landasan teori yang menjadi dasar dalam pengerjaan skripsi ini, yaitu penjelasan mengenai *wireless sensor network* yaitu jaringan yang terdiri dari node-node sensor yang saling berkomunikasi secara nirkabel, *support vector machine* yaitu algoritma pembelajaran mesin untuk mengklasifikasikan data menjadi dua kelas, *distributed support vector machine* yaitu *support vector machine* yang diimplementasikan pada lingkungan terdistribusi seperti *wireless sensor network*, simulasi, dan Castalia yang akan digunakan untuk membangun simulator pada skripsi ini.
- Bab 3 akan membahas analisis yang telah dilakukan saat pengerjaan skripsi ini. Analisis pada bab 3 meliputi analisis mengenai DSVM, Castalia, penerapan simulator DSVM pada Castalia, diagram aktivitas, *use case diagram*, skenario, kebutuhan fungsional dan non-fungsional dari perangkat lunak.
- Bab 4 akan menjelaskan perancangan simulasi untuk simulator DSVM dan diagram kelas. Perancangan simulasi akan berisi penjelasan tiap atribut yang terdapat pada perangkat lunak dan penjelasan mengenai *input*, proses, dan *output* pada tiap *method*.
- Bab 5 akan menjelaskan pengujian yang dilakukan untuk menguji perangkat lunak yang dibangun pada skripsi ini. Pengujian yang dilakukan berfungsi untuk mengetahui performa dari simulator yang dibangun. Performa diukur dengan menggunakan persentase error (*empirical risk*), semakin kecil nilai tersebut maka semakin baik performa dari simulator.
- Bab 6 akan berisi kesimpulan yang ditarik setelah pengerjaan skripsi dan saran-saran untuk pengembangan selanjutnya.

