

**EFISIENSI ENERGI PADA *WIRELESS SENSOR NETWORK* MENGGUNAKAN PROTOKOL *ROUTING* BERBASIS *ANT COLONY OPTIMIZATION***

**TESIS**

**Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister**



**OLEH :  
R. A. FATTAH ADRIANSYAH  
09042621620001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER ILMU KOMPUTER  
FAKULTAS ILMU KOMPUTER  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2019**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**EFISIENSI ENERGI PADA *WIRELESS SENSOR NETWORK* MENGGUNAKAN PROTOKOL *ROUTING* BERBASIS *ANT COLONY OPTIMIZATION***

**TESIS**

Diajukan untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Magister

**OLEH :**  
**R. A. FATTAH ADRIANSYAH**  
**09042621620001**

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi  
Magister Ilmu Komputer



**Dr. Ir. Sukemi, M.T.**  
**NIP. 196612032006041001**

Palembang, Desember 2019  
Pembimbing



**Reza Firsandaya Malik, M.T., Ph.D**  
**NIP. 197604252010121001**

## HALAMAN PERSETUJUAN

Pada hari Jumat tanggal 20 Desember 2019 telah dilaksanakan ujian sidang tesis oleh Magister Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.

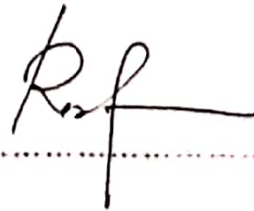
**Nama** : R.A. Fattah Adriansyah

**NIM** : 09042621620001

**Judul** : Efisiensi Energi pada *Wireless Sensor Network* Menggunakan Protokol *Routing* Berbasis *Ant Colony Optimization*

1. Pembimbing

Reza Firsandaya Malik, M.T., Ph.D  
NIP. 197604252010121001



2. Penguji I

Syamsuryadi, M.Kom., Ph.D  
NIP. 197102041997021003



3. Penguji II

Dr. Yusuf Hartono, M.Sc  
NIP. 196411161990031002



Mengetahui,  
Koordinator Program Studi Magister Ilmu Komputer



Dr. Ir. Sukemi, M.T.  
NIP. 196612032006041001

## LEMBAR PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : R. A. Fattah Adriansyah  
NIM : 09042621620001  
Program Studi : Magister Ilmu Komputer  
Judul Tesis : EFISIENSI ENERGI PADA *WIRELESS SENSOR NETWORK* MENGGUNAKAN PROTOKOL *ROUTING* BERBASIS *ANT COLONY OPTIMIZATION*

Hasil Pengecekan Software iThenticate/Turnitin : 1 %

Menyatakan bahwa laporan tesis saya merupakan hasil karya sendiri dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam laporan tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari universitas Sriwijaya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan tidak ada paksaan oleh siapapun



Palembang, 20 Desember 2019



(R. A. Fattah Adriansyah)

NIM. 09042621620001

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala karunia dan ridho-NYA, sehingga tesis dengan judul “Efisiensi Energi Pada *Wireless Sensor Network* Menggunakan Protokol *Routing* Berbasis *Ant Colony Optimization*” ini dapat diselesaikan. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Komputer (M.Kom) pada program studi Magister Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya, Palembang.

Di dalam menyelesaikan tesis ini, penulis banyak memperoleh bantuan baik berupa pengajaran, bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu Penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada para pembimbing dan penguji: Reza Firsandaya Malik, M.T., Ph.D., Syamsuryadi, M.Kom., Ph.D., dan Dr. Yusuf Hartono, M.Sc. Dimana di tengah-tengah kesibukannya masih tetap meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, petunjuk, dan mendorong semangat penulis untuk menyelesaikan penulisan tesis ini.

Perkenankanlah juga, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penyelesaian studi ini, kepada:

1. Rektor Universitas Sriwijaya, Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, MSCE, atas kesempatan dan fasilitas yang diberikan kepada penulis untuk mengikuti dan menyelesaikan pendidikan.
2. Dekan Fakultas Ilmu Komputer, Jaidan Jauhari, S. Pd. M.T., atas kesempatan menjadi mahasiswa Program Magister Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya.
3. Dr. Ir. Sukemi, M.T., sebagai Koordinator Program Studi Magister Ilmu Komputer Fakultas Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya yang telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan pendidikan ini dengan baik.
4. Orang Tua tercinta Ayahanda RHM. Arfah Benny Tjekyan dan Ibunda Hj. Hamda Benny yang mendidik dengan penuh rasa kasih sayang dan senantiasa mendoakan penulis dalam menempuh pendidikan.
5. Istri tercinta Ade Sarah Huzaifah S.Kom., M.Kom., yang telah mendukung penulis dengan rasa cinta kasih dan selalu memberi semangat dan dorongan kepada penulis.
6. Anakku tersayang RA. Asma Aliyah yang selalu memberikan semangat kepada penulis untuk berjuang menyelesaikan pendidikan magister ini.
7. Kepada rekan-rekan di Program Studi Magister Ilmu Komputer Universitas Sriwijaya yang berjuang bersama-sama menempuh pendidikan.
8. Kepada seluruh pegawai administrasi yang telah meluangkan waktunya membantu memproses administrasi kelulusan penulis begitu juga pada saat masa-masa perkuliahan.

Dengan keterbatasan pengalaman, ilmu maupun pustaka yang ditinjau, penulis menyadari bahwa tesis ini masih banyak kekurangan dan pengembangan lanjut agar benar-benar bermanfaat. Oleh sebab itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran agar tesis ini lebih sempurna serta sebagai masukan bagi penulis untuk penelitian dan penulisan karya ilmiah di masa yang akan datang. Akhir kata, penulis berharap tesis ini bisa memberikan manfaat bagi kita semua.

Palembang, Desember 2019

R.A. Fattah Adriansyah

## ABSTRAK

Protokol *routing* berbasis *Ant Colony Optimization* (ACO) sangat baik dalam melakukan pencarian rute sehingga sangat cocok digunakan pada jaringan *Wireless Sensor Network* (WSN), dimana WSN memiliki karakteristik energi yang terbatas sehingga dibutuhkan konsumsi energi yang rendah untuk memperpanjang masa pakai jaringan WSN. Dengan memanfaatkan kejadian tabrakan (*collision*) yang sulit untuk dihindari dan dapat menurunkan performa pada suatu jaringan menjadi penjadwalan *active – sleep* yang dapat meningkatkan efisiensi energi jaringan WSN, maka pada penelitian ini diusulkan protokol *routing* berbasis ACO dengan MAC 802.11 berbasis *collision* yang akan dibandingkan dengan protokol *routing* berbasis ACO dengan MAC 802.11 pada WSN dalam hal efisiensi energi. Dan menguji parameter nilai  $\alpha$  yang mempengaruhi kinerja jaringan WSN menggunakan protokol *routing* berbasis ACO - MAC 802.11 berbasis *collision* dengan beberapa varian nilai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hampir di semua kondisi pada percobaan protokol *routing* ACO dengan MAC 802.11 berbasis *collision* memiliki efisiensi energi yang lebih baik. Sedangkan nilai  $\alpha$  mempengaruhi performa WSN yang menggunakan protokol *routing* berbasis ACO dengan MAC 802.11 berbasis *collision* tergantung pada bentuk topologi dan jumlah nodenya. Protokol *routing* berbasis ACO - MAC 802.11 berbasis *collision* dengan nilai  $\alpha$  0.65 dapat meningkatkan efisiensi energi di jaringan WSN.

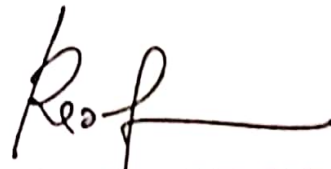
**Kata Kunci:** Efisiensi Energi, *Wireless Sensor Network*, *Routing* Berbasis ACO, MAC 802.11 Berbasis *Collision*, Evaporasi Feromon

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi  
Magister Ilmu Komputer



Dr. Ir. Sukemi, M.T.  
NIP. 196012032006041001

Palembang, Desember 2019  
Pembimbing



Reza Firsandaya Malik, M.T., Ph.D  
NIP. 197604212010121001

## ABSTRACT

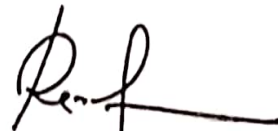
Ant Colony Optimization (ACO)-based routing protocols are very good at searching routes so it is compatible for using on Wireless Sensor Network (WSN) which has limited energy characteristics. So that low energy consumption is needed to extend the life of WSN. By utilizing collision accident which is difficult to avoid so that it can reduce the network's performance and then makes it as an active - sleep scheduling that can improve the energy efficiency of WSN. This research proposes an ACO-based routing protocol with a collision-based MAC 802.11 that will be compared with the ACO based routing protocol with MAC 802.11 on WSN in terms of energy efficiency. And test the parameter value  $\alpha$  that affects WSN's performance using the ACO-based routing protocol and the collision-based MAC 802.11 with several variant values. The results is obtained that almost all experiment conditions, the ACO-based routing protocol with the collision-based MAC 802.11 have better energy efficiency. While the  $\alpha$  value affects the performance of WSN using ACO-based routing protocol with collision-based MAC 802.11 is depending on the network topology type and the number of nodes. The ACO-based routing protocol and the collision-based MAC 802.11 with  $\alpha$  value by 0.65 can improve energy efficiency in WSN.

**Keywords:** Energy Efficiency, Wireless Sensor Network, ACO-Based Routing, Collision-Based MAC 802.11, Pheromone Evaporation

Mengetahui,  
Koordinator Program Studi  
Magister Ilmu Komputer



Palembang, Desember 2019  
Pembimbing



Reza Firsandaya Malik, M.T., Ph.D  
NIP. 197604252010121001



# DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRACT.....	vii
ABSTRAK.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Metodologi Penulisan.....	4
1.7. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Ciri <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN).....	9
2.2. Tantangan dan Masalah Perancangan di WSN.....	10
2.3. Energi WSN.....	11
2.4. Protokol <i>Routing</i> WSN.....	12
2.5 <i>Ant Colony Optimization</i> (ACO).....	13

2.5.1. <i>Route Discovery</i> .....	16
2.5.2. <i>Route Maintenance</i> .....	17
2.5.3. <i>Route Error / Failure Handling</i> .....	17
2.6. AntHocNet.....	17
2.7. Penjadwalan WSN.....	19
2.8. <i>Network Simulator 2</i> .....	24
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN.....	27
3.1. Pendahuluan .....	27
3.2. Kerangka Kerja Penelitian .....	27
3.3. Topologi.....	29
3.3.1. Topologi <i>Grid</i> .....	29
3.3.2. Topologi <i>Random</i> .....	29
3.4. Protokol <i>Medium Access Control</i> (MAC).....	29
3.4.1. Protokol MAC 802.11.....	30
3.4.2. Protokol MAC 802.11 Berbasis <i>Collision</i> .....	31
3.5. Variasi Koefisien Alfa pada Protokol <i>Routing</i> Berbasis ACO.....	34
3.6. Ukuran Penilaian Kinerja .....	35
3.7. Pengaturan Simulasi .....	37
BAB IV. HASIL DAN ANALISA .....	39
4.1. Pendahuluan .....	39
4.2. Hasil Simulasi.....	39
4.2.1. Nilai <i>Drop Packet</i> dan <i>Delivery Packet</i> .....	40
4.2.2. Konsumsi energi .....	50
4.2.3. Total Energi dan Rata-rata Konsumsi ( <i>Average</i> ) Energi .....	56
4.3. Variasi $\alpha$ (Alfa) pada Protokol <i>Routing</i> Berbasis ACO dengan 802.11 Berbasis <i>Collision</i> .....	59
4.3.1. Rasio Selisih Antara <i>Drop Packet</i> dan <i>Delivery Packet</i> .....	59
4.3.2. Konsumsi Energi Tiap Node dan Total Energi.....	64
4.4. Analisa .....	68
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	73

5.1. Kesimpulan.....	73
5.2. Saran .....	74
DAFTAR PUSTAKA .....	75

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1.</b> <i>Wireless Sensor Network</i>	7
<b>Gambar 2.2.</b> Komponen di dalam node sensor	8
<b>Gambar 2.3.</b> Format informasi dari <i>forward ant</i>	14
<b>Gambar 2.4.</b> Diagram alir protokol <i>routing ACO</i>	15
<b>Gambar 2.5.</b> Fase <i>route discovery</i> di <i>routing Ant Colony</i>	17
<b>Gambar 2.6.</b> Cara kerja protokol <i>routing AntHocNet</i>	19
<b>Gambar 2.7.</b> Cara kerja NS2	24
<b>Gambar 2.8.</b> Tampilan <i>Network Animator (NAM)</i>	25
<b>Gambar 2.9.</b> Tampilan <i>NS2 Visual Trace Analyzer</i>	26
<b>Gambar 3.1.</b> Diagram alir kerangka kerja penelitian	28
<b>Gambar 3.2.</b> Diagram alir MAC 802.11	31
<b>Gambar 3.3.</b> Diagram alir MAC 802.11 berbasis <i>collision</i>	33
<b>Gambar 4.1.</b> Topologi <i>grid</i> dengan 12 node	41
<b>Gambar 4.2.</b> Nilai <i>drop packet</i> dan <i>delivery packet</i> topologi <i>grid</i> dengan 12 node	42
<b>Gambar 4.3.</b> Topologi <i>grid</i> dengan 30 node	43
<b>Gambar 4.4.</b> Nilai <i>drop packet</i> dan <i>delivery packet</i> topologi <i>grid</i> dengan 30 node	43
<b>Gambar 4.5.</b> Topologi <i>grid</i> dengan 70 node	44
<b>Gambar 4.6.</b> Nilai <i>drop packet</i> dan <i>delivery packet</i> topologi <i>grid</i> dengan 70 node	45
<b>Gambar 4.7.</b> Topologi <i>random</i> pada 12 node menggunakan ACO dengan MAC 802.11	46
<b>Gambar 4.8.</b> Topologi <i>random</i> pada 12 node menggunakan ACO dengan MAC 802.11 berbasis <i>collision</i>	46
<b>Gambar 4.9.</b> Nilai <i>drop packet</i> dan <i>delivery packet</i> topologi <i>random</i> dengan 12 node	46
<b>Gambar 4.10.</b> Topologi <i>random</i> pada 30 node menggunakan ACO dengan MAC 802.11	47
<b>Gambar 4.11.</b> Topologi <i>random</i> pada 30 node menggunakan ACO dengan MAC 802.11 berbasis <i>collision</i>	47
<b>Gambar 4.12.</b> Nilai <i>drop packet</i> dan <i>delivery packet</i> topologi <i>random</i> dengan 30 node	48
<b>Gambar 4.13.</b> Topologi <i>random</i> pada 70 node menggunakan ACO dengan MAC 802.11	49
<b>Gambar 4.14.</b> Topologi <i>random</i> pada 70 node menggunakan ACO dengan MAC 802.11 berbasis <i>collision</i>	49
<b>Gambar 4.15.</b> Nilai <i>drop packet</i> dan <i>delivery packet</i> topologi <i>random</i> dengan 70 node	49
<b>Gambar 4.16.</b> Konsumsi energi tiap node pada topologi <i>grid</i> dengan 12 node	51
<b>Gambar 4.17.</b> Konsumsi energi tiap node pada topologi <i>grid</i> dengan 30 node	52
<b>Gambar 4.18.</b> Konsumsi energi tiap node pada topologi <i>grid</i> dengan 70 node	53

<b>Gambar 4.19.</b> Konsumsi energi tiap node pada topologi <i>random</i> dengan 12 node	54
<b>Gambar 4.20.</b> Konsumsi energi tiap node pada topologi <i>random</i> dengan 30 node	55
<b>Gambar 4.21.</b> Konsumsi energi tiap node pada topologi <i>random</i> dengan 70 node	56
<b>Gambar 4.22.</b> Total energi pada topologi <i>grid</i> dan <i>random</i> untuk 12 node	57
<b>Gambar 4.23.</b> <i>Average</i> energi pada topologi <i>grid</i> dan <i>random</i> untuk 12 node	57
<b>Gambar 4.24.</b> Total energi pada topologi <i>grid</i> dan <i>random</i> untuk 30 node	58
<b>Gambar 4.25.</b> <i>Average</i> energi pada topologi <i>grid</i> dan <i>random</i> untuk 30 node	58
<b>Gambar 4.26.</b> Total energi pada topologi <i>grid</i> dan <i>random</i> untuk 70 node	59
<b>Gambar 4.27.</b> <i>Average</i> energi pada topologi <i>grid</i> dan <i>random</i> untuk 70 node	59
<b>Gambar 4.28.</b> Nilai <i>drop packet</i> , <i>delivery packet</i> , dan selisihnya pada topologi <i>grid</i> dengan 12 node	60
<b>Gambar 4.29.</b> Nilai <i>drop packet</i> , <i>delivery packet</i> , dan selisihnya pada topologi <i>grid</i> dengan 30 node	61
<b>Gambar 4.30.</b> Nilai <i>drop packet</i> , <i>delivery packet</i> , dan selisihnya pada topologi <i>grid</i> dengan 70 node	61
<b>Gambar 4.31.</b> Nilai <i>drop packet</i> , <i>delivery packet</i> , dan selisihnya pada topologi <i>random</i> dengan 12 node	62
<b>Gambar 4.32.</b> Nilai <i>drop packet</i> , <i>delivery packet</i> , dan selisihnya pada topologi <i>random</i> dengan 30 node	63
<b>Gambar 4.33.</b> Nilai <i>drop packet</i> , <i>delivery packet</i> , dan selisihnya pada topologi <i>random</i> dengan 70 node	63
<b>Gambar 4.34.</b> Grafik konsumsi energi tiap node pada topologi <i>grid</i> dengan 12 node	64
<b>Gambar 4.35.</b> Total energi pada topologi <i>grid</i> dengan 12 node	64
<b>Gambar 4.36.</b> Grafik konsumsi energi tiap node pada topologi <i>grid</i> dengan 30 node	65
<b>Gambar 4.37.</b> Total energi pada topologi <i>grid</i> dengan 30 node	65
<b>Gambar 4.38.</b> Grafik konsumsi energi tiap node pada topologi <i>grid</i> dengan 70 node	65
<b>Gambar 4.39.</b> Total energi pada topologi <i>grid</i> dengan 70 node	65
<b>Gambar 4.40.</b> Grafik konsumsi energi tiap node pada topologi <i>random</i> dengan 12 node	66
<b>Gambar 4.41.</b> Total energi pada topologi <i>random</i> dengan 12 node	66
<b>Gambar 4.42.</b> Grafik konsumsi energi tiap node pada topologi <i>random</i> dengan 30 node	67
<b>Gambar 4.43.</b> Total energi pada topologi <i>random</i> dengan 30 node	67
<b>Gambar 4.44.</b> Grafik konsumsi energi tiap node pada topologi <i>random</i> dengan 70 node	67
<b>Gambar 4.45.</b> Total energi pada topologi <i>random</i> dengan 70 node	67

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>TABEL 1</b> Ringkasan penyelidikan protokol penjadwalan WSN	23
<b>TABEL 2</b> Nilai parameter	38
<b>TABEL 3</b> Perbandingan Energi Protokol <i>Routing</i> ACO dengan AODV	40
<b>TABEL 4</b> Perbandingan hasil simulasi pada topologi <i>grid</i>	68
<b>TABEL 5</b> Perbandingan hasil simulasi pada topologi <i>random</i>	69
<b>TABEL 6</b> Ukuran kinerja dengan varian $\alpha$ di WSN dengan protokol <i>routing</i> berbasis ACO MAC 802.11 berbasis <i>collision</i>	70
<b>TABEL 7</b> Hasil simulasi AODV MAC 802.11 vs MAC 802.11 berbasis <i>collision</i>	71
<b>TABEL 8</b> Hasil simulasi Protokol <i>routing</i> AODV vs Protokol <i>routing</i> berbasis ACO dengan MAC 802.11 berbasis <i>collision</i>	72

# **BAB I. PENDAHULUAN**

## **1.1. Latar Belakang**

Teknologi komputer dan jaringan komputer akan selalu berkembang seiring dengan makin banyaknya penerapan komputer dan jaringan komputer di berbagai bidang kehidupan. Salah satunya adalah *Wireless Sensor Network* (WSN) atau Jaringan Sensor Nirkabel (JSN). Awalnya teknologi ini digunakan untuk kepentingan militer dan perang, namun kemudian mulai berkembang ke bidang-bidang lainnya yaitu pertanian, deteksi bencana alam, lingkungan hidup, dan lain-lain. WSN terus mengalami perkembangan dari waktu ke waktu dan pada beberapa kasus implementasinya digabungkan dengan teknologi-teknologi lain. Misalkan saja dengan teknologi *Cloud Computing*, *Smart City*, *Cluster Computing*, *Grid Computing*, *Data Mining*, *Internet of Things* (IoT), dan sebagainya. (Pratama dan Suakanto, 2015)

Infrastruktur WSN terdiri dari node yang bekerja secara mandiri dengan elemen penginderaan, penghitungan dan jaringan yang memungkinkan pengguna akhir untuk mengukur, memantau dan bertindak terhadap berbagai peristiwa atau fenomena di lingkungan yang berbeda. Node WSN memiliki kemampuan untuk beroperasi dalam lingkungan dan jaringan manapun dengan node lain untuk melaksanakan tugas transmisi data. Sehingga WSN dapat dengan mudah digunakan dalam berbagai bidang.

Namun node sensor yang membentuk WSN memiliki keterbatasan dalam hal memori rendah dan kurangnya kecepatan pemrosesan. Node menggunakan tenaga baterai sebagai sumber daya utama dan satu-satunya, sehingga menjadi sulit untuk mengganti dan mengisi baterai setelah node digunakan. Hal ini tetap menjadi tantangan utama bagi para peneliti untuk meningkatkan efisiensi energi node sensor. Karakteristik WSN adalah penyebaran dari node sensor; kurangnya sumber daya; kurangnya kemampuan komputasi; memori yang terbatas. Oleh

karena itu karakteristik tersebut membuka berbagai tantangan untuk pengembangan jaringan sensor nirkabel di dunia.

Pada WSN disatu sisi perlu untuk menerapkan penghematan energi sedangkan di sisi lain penghematan energi juga mempengaruhi kinerja dari perangkat yang digunakan. Sehingga pengoptimalan fungsi dengan keterbatasan sumber daya yang dimiliki WSN agar dapat beroperasi semaksimal mungkin menjadi tugas yang menantang bagi peneliti.

Anand Nayyar dan Rajeshwar Singh (2017) mensimulasikan dan membandingkan kinerja protokol *routing* AODV, DSDV, DSR dan protokol *routing* berbasis ACO berdasarkan *end to end delay*, *packet delivery rate*, *routing overhead*, *throughput*, dan energi efisiensinya. Secara keseluruhan ACO 150% lebih efisien di seluruh kinerjanya dibandingkan protokol *routing* yang lainnya pada WSN. Sehingga protokol *routing* berbasis ACO bisa mempertahankan efisiensi energi di jaringan WSN.

Energi memang menjadi kendala utama untuk node sensor. Selain jalur komunikasi (*routing*) dimaksimalkan untuk mengatasi tantangan ini, menjadwalkan node sensor untuk tetap berada dalam kondisi *sleep* hampir sepanjang waktu dan hanya mengaktifkan dirinya sendiri saat jalur transmisi mengharuskannya untuk berkomunikasi juga sebaiknya dilakukan. Penjadwalan yang ketat dan efisien diperlukan untuk menjaga agar node tetap tersedia (*available*), dan mempertahankan energi di dalam node.

Pemborosan energi dalam sistem komunikasi WSN berhubungan dengan tabrakan (*collision*), *idle listening*, *overhearing*, dan paket kontrol *overhead*. Oleh karena itu desain protokol MAC harus memiliki kehandalan dalam WSN, khususnya dalam mengatasi tabrakan dan kegagalan node yang umum terjadi pada jaringan WSN.

Venu Accha dan Sindhu Hak Gupta (2018) membandingkan SMAC dan CSMA/CA dengan menggunakan simulator NS2, dimana hasil yang didapat adalah SMAC memiliki efisiensi energi yang lebih tinggi karena menggunakan penjadwalan *active* dan *sleep* tetapi untuk kinerja dari sisi *delay*, CSMA/CA jauh lebih baik.



Ayaz Ullah dkk. (2013) mengusulkan protokol X-MAC/CA yang merupakan pengembangan dari protokol X-MAC yang diusulkan oleh Buettner dkk. (2006) dan kemudian membandingkan kedua protokol tersebut yang hasilnya adalah protokol X-MAC/CA dapat meningkatkan nilai *throughput* hingga 30% lebih tinggi daripada X-MAC.

Pada penelitian yang telah dijabarkan terlihat bahwa cara untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi energi selain dari sisi *routing* juga bisa dari sisi penjadwalan *active - sleep*. Sebagaimana yang telah diketahui bersama bahwa node sensor pada intinya adalah sebuah komputer kecil ataupun perangkat terhubung (*connected device*) yang memiliki karakteristik dapat saling berkomunikasi; dapat memanfaatkan jaringan *wireless*; serta memiliki sumber daya yang berasal dari baterai. Sehingga dengan sumber daya yang terbatas tersebut, pemilihan algoritma *routing* dan penjadwalan yang tepat sangat penting untuk diterapkan didalamnya agar terjamin kinerja dan efisiensi pemanfaatan sumber daya di WSN.

## 1.2. Perumusan Masalah

Latar belakang yang telah dijabarkan terdapat beberapa isu yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana cara mendesain penjadwalan (*rule active – sleep*) berbasis *collision* pada protokol MAC 802.11 yang bertujuan untuk mengurangi pemborosan energi dalam sistem komunikasi WSN.
2. Bagaimana mensimulasikan protokol *routing* berbasis ACO dengan menerapkan penjadwalan (*rule active – sleep*) berbasis *collision* agar dapat memaksimalkan kinerja WSN khususnya dalam hal masa hidup jaringan WSN.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang ada maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk merancang penjadwalan (*rule active – sleep*) pada WSN yang bertujuan mengoptimalkan penggunaan energi.

2. Untuk menerapkan algoritma ACO pada protokol *routing* di WSN.
3. Untuk menganalisis kinerja QoS (*quality of service*) dalam penerapan protokol *routing* berbasis ACO dan penjadwalan (*rule active – sleep*) berbasis *collision*.

#### 1.4. Batasan Masalah

Hal berikutnya yang dibatasi dalam penelitian ini adalah:

1. Topologi yang digunakan adalah topologi *grid* dan *random* pada kondisi node statik (tidak bergerak).
2. Pada kondisi topologi *random*, simulasi dijalankan dengan kondisi *real random* dengan jumlah node 12, 30, dan 70.
3. Tipe trafik data yang dipakai adalah *Constant Bit Rate* (CBR).

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Sedangkan manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengoptimalkan fungsi WSN dengan keterbatasan sumber dayanya.
2. Menjadikan WSN tetap beroperasi secara baik dengan masa hidup (*life time*) jaringan yang lebih lama.
3. Memberikan alternatif model penjadwalan (*rule active – sleep*) untuk digunakan pada jaringan WSN.

#### 1.6. Metodologi Penulisan

Penulisan penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan utama, yaitu:

1. Studi literatur

Tahapan ini diawali dengan studi literatur yang berkaitan dengan bidang jaringan komputer khususnya WSN dan komputasi jaringan kemudian secara khusus dengan metode dan teknik yang bisa digunakan. Tahapan ini juga dilakukan pengumpulan penelitian-penelitian terkini yang berkaitan dengan topik penelitian yaitu protokol *routing* berbasis ACO dan penjadwalan (*rule active – sleep*).

## 2. Hipotesis awal

Tahapan ini digunakan untuk menentukan hipotesis awal dari penelitian. Hipotesis awal penelitian adalah dengan menerapkan protokol *routing* berbasis ACO dan penjadwalan *active-sleep* dapat meningkatkan efisiensi energi di WSN.

## 3. Perancangan dan pengujian

Tahapan ini dimulai dengan merancang penjadwalan *active-sleep* yang diintegrasikan dengan protokol *routing* berbasis ACO, yang kemudian akan dilakukan uji coba terhadap metode tersebut untuk menguji hipotesis awal dan melihat kinerjanya.

## 4. Analisis hasil uji coba

Data hasil eksperimen yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis lebih lanjut. Hasil analisis tersebut, beserta kesimpulan dan saran selanjutnya akan dibuat dalam laporan.

### **1.7. Sistematika Penulisan**

Tahapan sistematika penulisan tesis ini adalah sebagai berikut:

#### 1. BAB I Pendahuluan

Bab ini berisi mengenai latar belakang masalah, perumusan dan batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, metodologi penulisan dan sistematika penulisan tesis.

#### 2. BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi landasan teori yang digunakan sebagai bahan referensi dalam pengerjaan penelitian ini.

#### 3. BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini berisi penjelasan tentang tahapan dan langkah-langkah kerja yang dilakukan dalam melaksanakan penelitian ini.

#### 4. BAB IV Hasil dan Analisis

Bab ini menampilkan hasil pengukuran performa dan analisa kinerja metode yang digunakan dalam penelitian yang berbentuk tabel, diagram dan grafik.

#### 5. BAB V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisikan kesimpulan tentang hasil yang telah diperoleh selama proses penelitian, serta saran-saran untuk penelitian berikutnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Accha, V., dan Gupta, S. H. (2018): **Performance analysis of wireless sensor network MAC protocols using NS-2**. *2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)*, 859 – 862.
- Anchora, L., Capone, A., Mighali, V., Patrono, L., dan Simone, F. (2014): **A novel MAC scheduler to minimize the energy consumption in a wireless sensor network**. *Ad Hoc Networks Elsevier*, Vol. 16, 88 – 104.
- Saputra, A. H., Trisnawan, P. H., dan Bakhtiar, F. A. (2019): **Analisis kinerja protokol 6LoWPAN pada jaringan sensor nirkabel dengan topologi jaringan grid dan topologi jaringan random menggunakan Cooja simulator**. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, Vol. 3, No. 4, 3548 – 3556.
- Anjali dan Kaur, N. (2013): **Routing based ant colony optimization in wireless sensor networks**. *Global Journal of Computer Science and Technology Network, Web & Security*, Vol. 13, No. 4, 35 – 40.
- Buettner, M., Yee, G. V., Anderson, E., dan Han, R. (2006): **X-MAC: A short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks**. *Proceedings of The 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, 307 – 320.
- Chu, X., dan Yan, Y. (2007): **Performance evaluation of IEEE 802.11 infrastructure mode with intra-cell UDP traffic**. *2007 Second International Conference on Communications and Networking in China*, 893 – 898.
- Di Carro, G., Ducatelle, F., dan Gambardella, L. M. (2004): **AntHocNet: An adaptive nature-inspired algorithm for routing in mobile ad hoc network**. *Parallel Problem Solving from Nature - PPSN VIII. Lecture*

- Notes in Computer Science*, Vol. 3242, 461-470, Heidelberg (Berlin): Springer.
- Dorigo, M., dan Stützle, T. (2004): **Ant Colony Optimization**. Massachusetts (England): The MIT Press.
- Ducatelle, F. (2007): **Adaptive routing in ad hoc wireless multi-hop networks** (disertasi). Lugano (Switzerland): Università Della Svizzera Italiana.
- Fathima, K. S. A., dan Sindhanaiselvan, K. (2013): **Ant colony optimization based routing in wireless sensor networks**. *International Journal of Advanced Networking and Applications*, Vol. 4, No. 4, 1686 – 1689.
- Goh, H. G., Sim, M. L., dan Ewe, H. T. (2006): **Energy efficient routing for wireless sensor networks with grid topology, Embedded and Ubiquitous Computing**. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4096, 834 – 843. Heidelberg (Berlin): Springer.
- Gungor, V. C., dan Hancke, G. P. (2009): **Industrial wireless sensor networks: challenges, design principles, and technical approaches**. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 56, No. 10, 4258 – 4265.
- Pratama, I. P. A. E., dan Suakanto, S. (2015): **Wireless Sensor Network**. Bandung (Indonesia): Penerbit Informatika.
- Jangra, R., dan Kait, R. (2017): **Principles and concepts of wireless sensor network and ant colony optimization: a review**. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, Vol. 8, No. 5, 1180 – 1191.
- Khatarkar, S., dan Kamble, R. (2013): **Wireless sensor network MAC protocol: SMAC & TMAC**. *Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)*, Vol. 4, No. 4, 304 – 310.
- Li, Z., Chen, Q., Zhu, G., Choi, Y., dan Sekiya, H. (2015): **A low latency, energy efficient MAC protocol for wireless sensor networks**. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, Vol. 11, No. 8, 1 – 9.
- Liu, M., dan He, Z. (2018): **Research and improvement about SMAC protocol for wireless sensor networks**. *2018 3rd International Conference on Computational Modelling, Simulation and Applied Mathematics (CMSAM 2018)*, 299 – 305.

- Meenaghan, P., dan Delaney, D. (2004): **An introduction to NS, Nam and OTcl scripting (technical report series)**. Maynooth (Ireland): National University of Ireland.
- Nayyar, A., dan Singh, R. (2017): **Simulation and performance comparison of Ant Colony Optimization (ACO) routing protocol with AODV, DSDV, DSR routing protocols of wireless sensor networks using NS-2 simulator**. *American Journal of Intelligent Systems*, 7(1), 19 – 30.
- Poe, W. Y., dan Schmitt, J. B. (2009): **Node deployment in large wireless sensor networks: coverage, energy consumption, and worst-case delay**. *Asian Internet Engineering Conference*, 77 – 84.
- Salehpour, A. A., Mirmobin, B., Afzali-Kusha, A., dan Mohammadi, S. (2008): **An energy efficient routing protocol for cluster-based wireless sensor networks using ant colony optimization**. *2008 International Conference on Innovations in Information Technology*, 455 – 459.
- Shanbarg, T., Hussain, A., Shah, D., dan Borade, J. (2015): **Comparative Performance Analysis of AODV, DSDV and DSR for Wireless Devices**. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(4), 195 – 198.
- Ullah, A., Ahn, J. S., dan Kim, G. (2013): **X-MAC protocol with collision avoidance algorithm**. *Fifth International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN 2013)*, 228 – 233.