

Studi Penggunaan Energi pada Implementasi Protokol Routing RPL dan LOADng di Wireless Sensor Network

Rozali Syahputra¹, Reza Andria Siregar², Dany Primanita Kartikasari³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹rozali.putra@gmail.com, ²reza.jalin@ub.ac.id, ³dany.jalin@ub.ac.id

Abstrak

Wireless Sensor Network secara umum dapat didefinisikan sebagai jaringan *wireless* yang terdistribusi menggunakan pemanfaatan perangkat sistem benam yang dilengkapi *node* sensor. Pada *node* sensor memiliki sumber daya terbatas yang setara dengan dua baterai tipe AA. Beberapa hal yang mempengaruhi konsumsi energi pada WSN adalah *Packet Control* pada routing WSN. *Routing over Low Power and Lossy Network* (RPL) merupakan salah satu protokol yang digunakan untuk routing jaringan WSN. Namun, untuk beberapa kasus perlu menggunakan protokol lain sebagai alternatif. *Lightweight On-demand Ad hoc Distance-vector Routing* (LOADng) merupakan protokol ringan yang tepat untuk menggantikan RPL. Kedua protokol ini kemudian diimplementasikan pada beberapa skenario topologi dan juga dilihat bagaimana faktor penempatan *node*, jarak transmisi radio, serta paket kontrol tiap *node* mempengaruhi konsumsi energi kedua protokol tersebut. Dari penelitian ini didapatkan hasil untuk skenario Paket Kontrol terdapat penurunan konsumsi energi rata-rata sebesar 19% untuk protokol RPL dengan perubahan *DIO Interval Minimum* (Imin) 4 detik menjadi 8 detik, kemudian penurunan konsumsi energi rata-rata sebesar 14% untuk LOADng dengan perubahan *Route Hold Time* 5 menit ke 10 menit.

Kata kunci: WSN, RPL, LOADng, Paket Kontrol, Konsumsi Energi

Abstract

Wireless Sensor Networks can generally interpret as *wireless* networks that are distributed using embedded devices equipped with sensor nodes. The sensor node has limited resources that are equivalent to two AA type batteries. Some of the things that spend more energy on WSN are Package Control in the WSN routing. *Routing over Low Power and Lossy Network* (RPL) is one of the protocols used for routing WSN networks. However, in some cases, it is necessary to use other protocols as an alternative. *Light On-demand Ad hoc Distance-vector Routing* (LOADng) is the right lightweight protocol for RPL alternative. Both of this protocol then implemented in several topology scenarios and is also on node placement factor, radio transmission distance, and control package for each node affecting the RPL and LOADng protocol's energy consumption. From this study, the results obtained for the Package Control scheme around reducing energy consumption by an average of 19% for the RPL protocol with Imin changes 4 seconds to 8 seconds and then cutting the average energy consumption by 14% for LOADng with changes in Route Hold Time from 5 minutes to 10 minutes.

Keywords: WSN, RPL, LOADng, Packet Control, Energy Consumption

1. PENDAHULUAN

Wireless Sensor Network secara umum dapat didefinisikan sebagai jaringan nirkabel yang terdistribusi memanfaatkan perangkat sistem benam yang dilengkapi *node* sensor. Pada *node* sensor memiliki sumber daya terbatas yang setara dengan dua baterai tipe AA, kecuali jika perangkat sensor menggunakan sumber daya

seperti panel surya.

Dalam upaya penghematan konsumsi energi pada implementasi *Wireless Sensor Network* (WSN), terdapat beberapa protokol jaringan komputer yang berperan yaitu protokol IEEE 802.15.4 dan IPv6 Low Power PAN (6LoWPAN). IEEE 802.15.4 merupakan protokol yang diperuntukkan untuk perangkat berukuran kecil dengan penggunaan daya rendah

dan kecepatan transmisi data rendah (Pratama & Suakanto, 2015). *IPv6 Over Low Power Wireless Personal Area Network* (6LoWPAN) merupakan protokol sederhana yang dapat diterapkan untuk perangkat keras jaringan komputer, khususnya pada *Wireless Network* (termasuk juga WSN), dengan sumber daya energi terbatas. Beberapa protokol routing telah diajukan oleh komunitas 6LoWPAN seperti LOAD, DYMO-LOW dan HI-LOW. Namun, pada saat ini hanya dua routing protokol yang dapat diterapkan secara luas yaitu, LOADng yang di standardisasi oleh ITU atas rekomendasi ITU-T G.9903 dan RPL yang di standardisasi oleh IETF ROLL. LOADng dan RPL memiliki beberapa paket kontrol yang berfungsi untuk membangun topologi dan mengontrol aliran paket data yang bertukar pada tiap perangkat. Semakin banyak kontrol terhadap data maka semakin sering pula perangkat melakukan transmisi melalui radio. Transmisi radio pada perangkat berperan penting terhadap jumlah konsumsi energi yang digunakan oleh tiap perangkat. Oleh karena itu, Paket kontrol memiliki pengaruh besar terhadap konsumsi energi tiap perangkat dari WSN. Makalah ini membahas penggunaan protokol yang tepat pada skenario tertentu dan jumlah paket kontrol pada tiap protokol dapat mempengaruhi tingkat konsumsi energi pada *Wireless Sensor Network*.

2. DASAR TEORI

2.1. WSN

WSN (*Wireless Sensor Network*) merupakan sebuah jaringan yang memiliki infrastruktur berbasis nirkabel, terdiri dari perangkat sensor yang diimplementasikan pada area tertentu. Secara umum, setiap perangkat memiliki sumber energi yang terbatas karena sumber energi hanya dari baterai. Perangkat biasanya disebar pada area seperti wilayah militer, otomatisasi industri dan manufaktur, lingkungan, kesehatan, rumah dan area komersial lainnya.

Node sensor memiliki keterbatasan pada energi dan *bandwith* yang mengharuskan pertimbangan terhadap energi pada semua tingkatan layer di jaringan. Layer pada jaringan bertujuan untuk menemukan cara agar konsumsi energi routing dan pengiriman data ke *sink* dapat diefisiensi agar dapat meningkatkan jangka hidup jaringan. Memilih routing yang tepat merupakan suatu permasalahan pada WSN.

Semua routing memiliki tujuan yang sama, yaitu agar jaringan tetap dapat berjalan, meningkatkan jangka hidup sensor, mengurangi kompleksitas serta *delay* dari informasi dan meningkatkan performa WSN (Warrier & Kumar, 2016).

2.2. IEEE 802.15.4 dan 6LoWPAN

IEEE 802.15.4 adalah standar yang mendefinisikan lapisan fisik dan *Wireless Medium Access Control* (MAC Layer) dari konsumsi energi yang rendah pada jaringan *Wireless Personal Area* (WPAN). Protokol ini ditujukan untuk komunikasi dengan energi serta *rate* yang rendah, sangat sesuai dengan perangkat benam kecil, seperti *node* sensor. Protokol MAC 802.15.4 mempunyai dua tipe mode operasi yaitu tanpa *framework* manajemen, sedangkan *channel node* menggunakan mekanisme klasik (*unslotted*) CSMA-CA (*Multiple access with listening to carrier and collision avoidance*) dan sebuah mode dengan *frame administrative*, sehingga mode ini menggunakan mekanisme *slotted* CSMA-CA yang mendukung *duty cycle* untuk menghemat energi.

IPv6 over Low Power Wireless Personal Area Network (6LoWPAN) adalah protokol *Adaptation Layer* yang menggunakan IP untuk mengoneksikan perangkat kecil berdaya rendah dan berada pada cakupan jaringan nirkabel dengan frekuensi 2.4 GHz. *Wireless Personal Area Network* (WPAN) sendiri adalah jaringan yang digunakan untuk menghubungkan perangkat-perangkat pada area yang spesifik di jaringan tersebut yang bersifat nirkabel. IPv6 pada IOT dan jaringan heterogen digunakan untuk meningkatkan fungsi dari protokol sehingga dapat langsung diintegrasikan pada jaringan (Nurul, 2012).

2.3. LOADng

6LoWPAN Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing – Next Generation (LOADng) merupakan protokol reaktif yang disederhanakan dari AODV, ditujukan untuk digunakan pada perangkat IEEE 802.15.4 untuk 6LoWPAN (*low power personal area networks*) dan LLN.

LOADng berasal dari protokol LOAD. LOAD memiliki karakteristik yang sederhana dan membutuhkan memori rendah yang membuat protokol ini dapat diterapkan dalam WSN. Setiap *router* LOADng membuat dan memproses RREQ, RREP, RREP-ACK dan RERR. Ketika *router* akan melakukan

pengiriman data ke *router* lain, maka *router* akan melihat informasi routing pada LOADng routing set, jika tidak ditemukan maka LOADng akan memulai *route discovery*. Tujuan LOADng melakukan *route discovery* ini juga untuk menemukan jalur komunikasi dua arah.

Langkah-langkah LOADng *route discovery* yaitu:

- RREQ dibuat dan disebar ke jaringan.
- *Node* yang menerima RREQ ini akan memperbaharui rutenya ke sumber jika dibutuhkan.
- Ketika RREQ diterima oleh tujuan, maka tujuan akan mengirim paket RREP yang akan di *unicast* ke *node* sumber.
- Jika RREP-ACK sudah disematkan, maka *nodes* yang menerima RREP dari *node* tujuan akan melakukan *unicast* RREP-ACK ke tetangganya agar *node* mengetahui bahwa *link* mereka berkomunikasi dua arah.
- Jika *node* sumber sudah menerima RREP dari *node* tujuan maka *route* akan dimasukkan ke dalam routing set.

2.4. RPL

Routing Protocol for Low-power and Lossy Networks (RPL) merupakan sebuah *protocol distance-vector* dan *source routing* yang didesain bekerja di atas beberapa *link layer* termasuk IEEE 802.15.4 dan layer MAC. Link Layer ini dapat terbatas, berpotensi hilang, atau dipasang pada perangkat yang memiliki *resource* terbatas, seperti pada jaringan nirkabel berdaya rendah atau teknologi PLC (*Power Line Communication*). RPL berjalan pada jaringan yang mengoleksi data, sehingga *node* secara berkala mengirimkan data pengukuran ke *node* penerima.

RPL membangun topologinya menggunakan DODAG (*Destination-Oriented Directed Acyclic Graph*). Sebuah DODAG merupakan DAG yang bersumber di satu tujuan. Sebuah DODAG *root* tidak mempunyai *edge* keluar. Sebuah DODAG dapat diidentifikasi dengan kombinasi dari ID *Instance* RPL dan DODAG ID. Setiap DODAG mempunyai sebuah DODAG *root* yang berasal dari DODAG. Sebuah *rank*/tingkatan menentukan posisi tiap *node* yang berhubungan dengan *node* lainnya dengan melihat dari DODAG *root*. *Rank* harus meningkat pada saat aliran data menuju ke bawah (dari *sink* ke *node*) dan harus berkurang jika aliran data menuju ke atas (dari *node* ke *sink*). Cara yang benar untuk menghitung *Rank*

ini bergantung pada DAG *Objective Function*. Rank secara analog dapat melacak sebuah topologi sederhana, dan dihitung sebagai fungsi dari *link metrics*, dan dapat mempertimbangkan faktor lainnya seperti keterbatasan (*constraint*).

2.5. Contiki Cooja

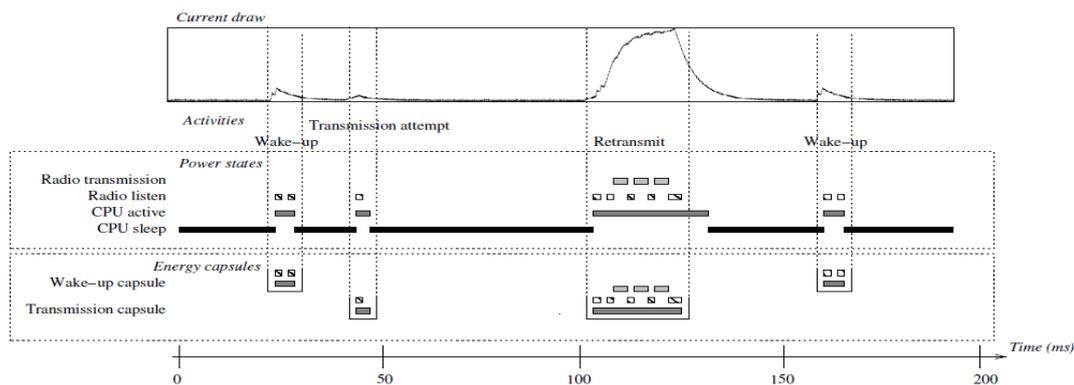
Contiki merupakan sebuah sistem operasi untuk Wireless Sensor Network. Contiki terdiri dari *kernel*, *library*, *loader* program serta beberapa pasang proses. Hal ini digunakan pada jaringan dengan sistem benam dan objek pintar (*smart object*). Contiki menyediakan mekanisme yang membantu untuk memprogram aplikasi dari *smart object*. Contiki menyediakan *library* untuk alokasi memori, manipulasi *linked list* dan abstraksi komunikasi. Contiki merupakan sistem operasi pertama yang menyediakan komunikasi berbasis *Internet Protocol* (IP). Contiki dibuat dengan bahasa pemrograman C, semua aplikasi di dalam Contiki juga dibuat dengan bahasa pemrograman C, oleh karena itu dapat diterapkan di berbagai perangkat seperti *Texas Instruments MSP430*.

Cooja merupakan simulator berbasis bahasa Java yang didesain untuk melakukan simulasi jaringan sensor pada sistem operasi Contiki. Simulator diimplementasikan dalam bahasa Java, namun dapat digunakan pada *software* sensor berbasis bahasa pemrograman C. Salah satu kelebihan dari simulator lain yaitu Cooja dapat melakukan simulasi secara simultan pada tiga level berbeda: level Network, level sistem operasi dan level kode instruksi mesin. Cooja juga dapat menjalankan program dari Contiki yang dikompilasi secara internal pada *host* CPU.

2.6. Powertrace

Powertrace merupakan sebuah *tool power profiling* yang menggunakan *tracking* terhadap kondisi *power* pada tiap *node*. *Powertrace* juga melakukan pelacakan terhadap aktivitas *power* yang dilakukan oleh sistem. Langkah yang perlu dilakukan sebelum mendapatkan hasil dari *powertrace* yaitu:

1. Tambahkan "APPS += powertrace" tanpa tanda petik, pada *makefile* yang ada pada folder *rime*.
2. Tambahkan juga "#include "powertrace.h" tanpa tanda petik, pada awal *source code*
3. Tambahkan "powertrace_start (CLOCK_SECOND * 10);" tanpa tanda petik, setelah *PROCESS_BEGIN()* pada *source code*.



Gambar 1. Mekanisme powertrace

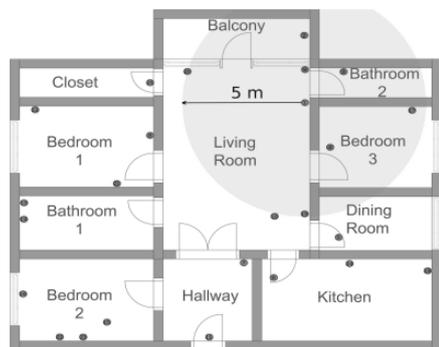
Gambar 1 menunjukkan bahwa *powertrace* melakukan *profiling* terhadap beberapa kondisi sistem seperti transmisi, *listen*, *cpu active* dan *cpu idle*.

2.7. Home Automation

Home Automation merupakan satu di antara “*Internet of Things*” yang telah ada dengan pemanfaatan pembatasan pada *node* jaringan. Beberapa contohnya dapat dilihat pada *light dimmers*, *motion sensors*, *typical monitoring sensors*, *window shades*, *remote control units*.

Terdapat dua pendekatan, yaitu:

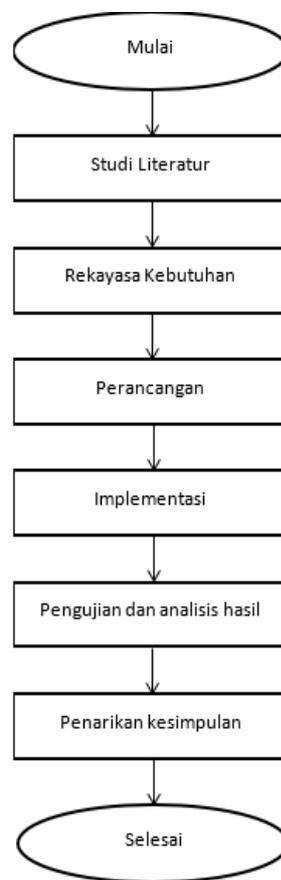
1. Arsitektur terpusat (*Centralized architecture*) yang perangkat jaringannya berkomunikasi dengan *node* pusat.
2. Arsitektur terdistribusi (*Distributed architecture*) yang bekerja sama antar perangkat terhubung.



Gambar 2 Topologi home automation

3. METODOLOGI

Pada Gambar 3 merupakan gambaran metodologi penelitian yang digunakan, pada penelitian ini.



Gambar 3. Metodologi

3.1 Studi Kepustakaan

Studi kepustakaan merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mempelajari dan memahami teori dan referensi yang digunakan pada penelitian. Teori dan referensi tersebut dapat berasal dari jurnal, buku dan penelitian sebelumnya. Adapun bahan studi kepustakaan yang perlu dijelaskan adalah: *Wireless Sensor Network*, *6LOWPAN*, *RPL*, *LOADng*, *Contiki Cooja*, dan *Energy Consumption*.

Studi kepustakaan tersebut dirancang sebagai pedoman pengetahuan dasar dalam melakukan analisis, perancangan, implementasi dan pengujian dalam tahap-tahap penelitian. Hal ini bertujuan agar mendapat pemahaman yang lebih mendalam terhadap pokok bahasan yang diangkat.

3.2 Rekayasa Kebutuhan

Rekayasa kebutuhan dilakukan untuk mengetahui kebutuhan pengujian yang dilakukan. Hal ini dilakukan agar pengujian yang dilakukan sesuai dengan tujuan penelitian.

Sistem berjalan dengan mengimplementasikan protokol routing RPL dan LOADng pada Wireless Sensor Network. Implementasi ini dilakukan untuk mengetahui konsumsi energi tiap protokol pada *node* sensor. *Node* akan melakukan pengiriman data kepada *sink/root* dengan interval waktu tertentu. Dengan bantuan *tools* dari simulator, peneliti dapat memperoleh jumlah konsumsi energi dari tiap-tiap *node*.

Pada sistem, pengguna hanya melihat animasi jaringan melalui *Network Viewer* yang terdapat pada Contiki Cooja beserta log aktivitas routing yang sedang disimulasikan baik itu tahap awal *node* sensor, *route discovery*, pengiriman data dan Jumlah Konsumsi energi (*Timer Tick*). Perangkat lunak yang akan dipakai untuk menunjang penelitian ini disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan perangkat lunak

| No. | Perangkat Lunak | Fungsi |
|-----|------------------------------|--|
| 1 | VMware Workstation v11.0 | <i>Virtual machine</i> untuk menjalankan Instant Contiki |
| 2 | Cooja Simulator v2.7 | Simulator Jaringan WSN |
| 3 | <i>Powertrace (build in)</i> | Digunakan untuk menampilkan konsumsi daya |

Tabel 2. Kebutuhan perangkat keras

| No. | Perangkat Keras | Spesifikasi |
|-----|-----------------|-------------------------------|
| 1 | Nama Perangkat | Acer Aspire TC-710 |
| 2 | CPU | Intel Core I5-6400 2.7 GHz |
| 3 | RAM | 4Gb |
| 4 | HDD | 1Tb |

Penelitian ini menggunakan 1 buah komputer untuk konfigurasi dan simulasi WSN serta simulasi *motes* berbasis protokol 6LoWPAN. Perancangan perangkat keras dapat dilihat pada Tabel 2.

3.3 Perancangan

Pada perancangan simulasi ini dijelaskan parameter simulasi yang digunakan dalam implementasi protokol routing hingga mendapatkan hasil konsumsi energi. Parameter ini digunakan sebagai acuan dalam simulasi. Parameter yang penulis tetapkan selama simulasi berlangsung terdapat pada tabel 3.3

Tabel 3. Parameter simulasi

| Parameter | Nilai |
|-----------------------------|---|
| Simulator | Contiki Cooja 2.7 |
| Waktu Simulasi | 30 Menit |
| Jumlah Simulasi | 10 |
| Topologi | <i>Home Automation, Smart Grid, Building Automation</i> |
| Jumlah <i>Node</i> | 25, 35, 45 |
| Ukuran paket | 30 bytes |
| Tipe Kanal | <i>Wireless</i> |
| Model Kanal | <i>UDG Model with Distance Loss</i> |
| Jarak Komunikasi | 5m, 20m, 65m |
| Tipe Sensor | <i>Tmote sky</i> |
| Layer Transport dan Network | UDP + 6LOWPAN + IPV6 + IPV4 |
| Tipe MAC | 802.15.4 |
| Layer MAC | <i>Non-slotted CSMA</i> |
| Report Interval | 1 Menit |



Gambar 4. Home automation
Sumber: Vucinic (2013)

3.4 Perancangan Topologi

Topologi yang digunakan yaitu topologi dari masing-masing skenario uji. Ada 3 skenario uji yang dilakukan pada penelitian ini yaitu, *Home Automation*, *Smart Grid* dan *Building Automation*.

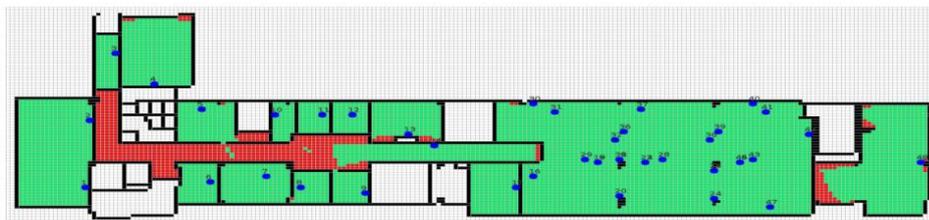
Pada skenario *Home Automation*, node diletakkan pada masing-masing ruangan seperti pada Gambar 4 Node tersebut terdiri dari 1 sink yang diletakkan di ruang tamu, kemudian node lainnya disebar pada tiap ruangan dengan jumlah total 25 node.

Smart Grid secara umum digunakan pada jaringan *Power Line Communication (PLC)*.

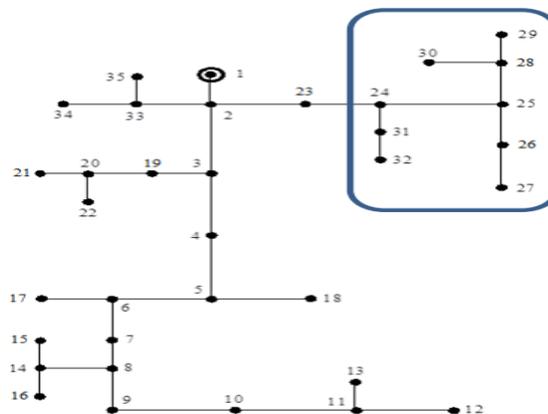
Topologi ini diambil dari Paper yang melakukan analisis pada jaringan G3-PLC. G3-PLC merupakan standar yang direkomendasikan untuk pengimplementasian

Smart Metering. Standar ini memiliki mekanisme dan protokol yang berbeda yang dapat mengatasi transmisi yang rendah pada *channel power line*.

Skenario pada Gambar 5 dan Gambar 6 diambil dari Paper yang melakukan evaluasi terhadap jaringan sensor pada bangunan. Peneliti mengambil denah salah satu gedung yang ada pada Paper tersebut.



Gambar 5. Building automation
Sumber: Sitanayah (2016)



Gambar 6. Smart grid
Sumber: Katumba (2015)

3.5 Perancangan Skenario Pengujian

Perancangan skenario dilakukan untuk mengetahui konsumsi energi pada tiap-tiap kondisi pada saat simulasi pengujian dilakukan. Kondisi yang dimaksudkan yaitu pada saat *node* mengirim atau menerima data (termasuk routing) dan pada saat *node* dalam kondisi *idle*.

Pengujian akan dilakukan untuk mengetahui bagaimana tingkat penggunaan energi pada topologi *Home Automation*. Kondisi pengujian yaitu sebagai berikut:

1. Pengujian dilakukan dengan membuat *node*. *Node* terdiri dari 1 *Sink* yang berfungsi sebagai penerima data dan sisanya *Node* Sensor sebagai pengirim serta penerus data.
2. Posisi *node* disesuaikan dengan denah / skema topologi yang didapatkan dari Paper.
3. Data yang dikirim dalam bentuk teks yaitu 'Hello 1 from the client' sebesar 30 bytes.
4. Waktu simulasi yang dilakukan adalah 30 menit dan interval pengiriman data yaitu 60 Detik
5. Konsumsi energi dari *node* akan diukur oleh *Powertrace*.

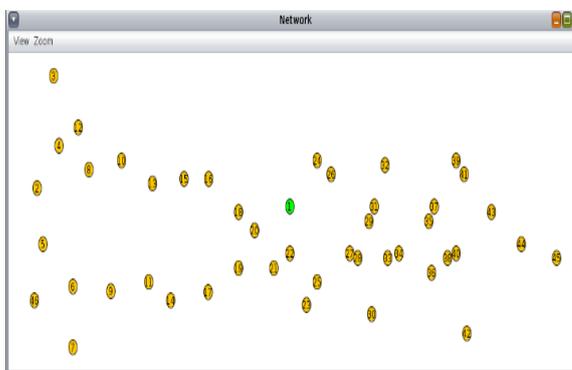
3.6 Analisis Hasil

Data yang diperoleh dari pengujian digunakan pada proses analisis untuk menganalisis hasil konsumsi energi tiap-tiap *node* sensor yang diimplementasikan protokol routing RPL dan LOADng. Pada proses ini peneliti menyesuaikan skenario topologi dan melakukan 10 simulasi untuk mendapatkan hasil rata-rata konsumsi energi tiap *node* sensor. Analisis hasil dilakukan untuk melihat variansi/perbedaan konsumsi energi pada tiap skenario topologi pada simulasi. Kemudian dengan uji ANOVA dapat diketahui apakah ada perbedaan signifikan antara ketiga topologi yang diuji.

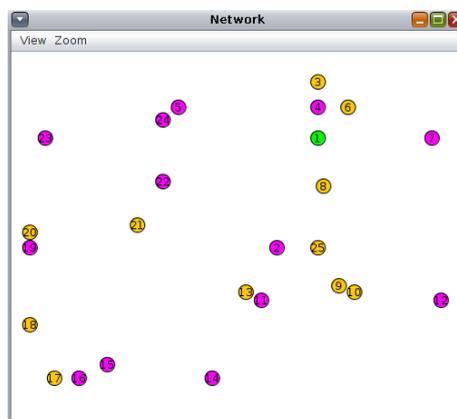
4. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

Implementasi Protokol routing RPL dan LOADng pada *Wireless sensor network* menggunakan simulator Contiki Cooja dengan Bahasa pemrograman C++. Sebelum melakukan simulasi perlu dibangun topologi mengikuti skenario pada bab sebelumnya. Topologi tersebut terdiri dari *node* sensor dengan dua tipe yaitu *node sink/root* dan *node* sensor. Topologi ini terdiri dari *Home Automation*, *Smart Grid* dan *Building Automation* dengan jumlah *Node*

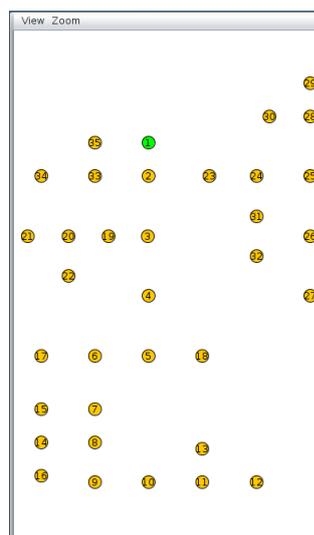
secara berurut yaitu 25,35, dan 46. Pada gambar 7, 8 dan 9 akan ditampilkan topologi tiap skenario yang digunakan.



Gambar 7. Building automation



Gambar 8. Home automation



Gambar 9. Smart Grid

Pada Gambar 8 ditampilkan topologi *Smart Grid* yang diimplementasikan pada simulator. Kemudian parameter topologi akan ditampilkan pada tabel. Setelah topologi dibuat, sebelum itu lakukan pengecekan pada topologi agar parameter simulasi sudah sesuai dengan masing-

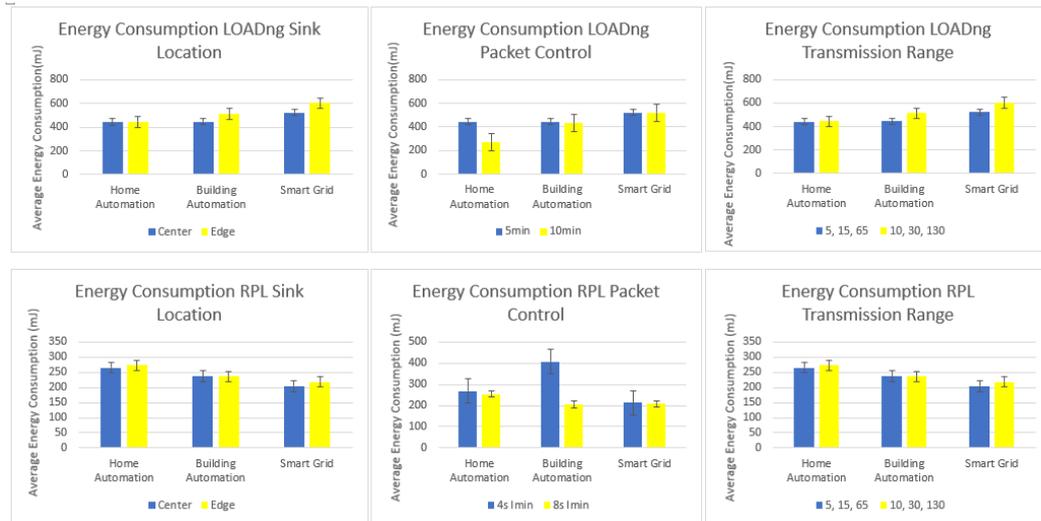
masing skenario pengujian. Topologi *Building Automation* akan ditampilkan pada Gambar 9 sebagai acuan untuk skenario topologi dan penempatan *sink node* Wireless Sensor Network.

5. HASIL DAN ANALISIS

Chapter ini akan membahas dan menganalisis penggunaan energi pada masing-

masing protokol *Low Power and Lossy Network* (RPL dan LOADng) berdasarkan skenario uji yang dilakukan oleh masing-masing protokol dan pengaruhnya terhadap rata-rata konsumsi energi pada simulasi.

Simulasi dilakukan selama 30 menit dengan parameter pada tiap skenario yang telah ditentukan. Dengan *tool powertrace* didapatkan data berupa konsumsi energi per *Timer Ticks*.



Gambar 10. Grafik komsumsi *energy* per skenario

Tabel 4. Data dari *powertrace*

| Node ID | Total <i>Energest_Values</i> (<i>Timer Ticks</i>) | | | |
|---------|---|----------|----------|--------|
| | CPU | LPM | Transmit | Listen |
| 1 | 2488054 | 56490485 | 25751 | 431838 |
| 2 | 2232998 | 56745925 | 22036 | 381503 |
| 3 | 2492381 | 56486963 | 37002 | 382396 |
| 4 | 2208565 | 56770466 | 27656 | 371566 |
| 5 | 2343293 | 56635181 | 81091 | 364818 |
| 6 | 2478386 | 56501423 | 35059 | 375023 |
| 7 | 2184437 | 56794245 | 19144 | 364687 |
| 8 | 2597457 | 56382645 | 58984 | 396868 |
| 9 | 2498506 | 56480820 | 33355 | 379983 |
| 10 | 2650112 | 56329422 | 59732 | 418191 |
| 11 | 2395519 | 56582858 | 66825 | 416731 |
| 12 | 2252118 | 56726828 | 48922 | 361102 |
| 13 | 2544153 | 56435485 | 51202 | 383387 |
| 14 | 2418118 | 56560597 | 78131 | 408153 |
| 15 | 2479454 | 56499463 | 83316 | 422391 |
| 16 | 2308351 | 56671193 | 51104 | 374814 |
| 17 | 2673562 | 56306362 | 76963 | 379799 |
| 18 | 2801034 | 56178935 | 116977 | 423876 |
| 19 | 2356900 | 56621872 | 72341 | 396752 |
| 20 | 2735092 | 56244408 | 102438 | 402518 |

| | | | | |
|----|---------|----------|--------|--------|
| 21 | 2728811 | 56250489 | 101746 | 398264 |
| 22 | 2321594 | 56656933 | 65732 | 374660 |
| 23 | 2333801 | 56644800 | 68307 | 387485 |
| 24 | 2298146 | 56680413 | 53372 | 377902 |
| 25 | 2689237 | 56290215 | 64675 | 454878 |

Pada tabel 4 tersebut merupakan contoh data yang didapatkan dari skenario *Home Automation* pada menit ke 30 yang kemudian dihitung pada Excel untuk memperoleh rata-rata konsumsi energinya. Nilai ini kemudian dihitung dengan rumus konsumsi energi pada persamaan (1):

$$Energy\ Consumption\ (mJ) = \frac{Energest_Value * Current * Voltage}{RTIMER_SECOND} \quad (1)$$

Energest_value merupakan selisih interval dua *tick* (selisih angka pada *ALL_CPU*). Kita dapat melihat data *Current* untuk CPU, LPM, TX dan RX dari *datashet Sky mote*. Tegangan 3 volt. *RTIMER_SECOND* platform yaitu 32768.

Setelah CPU, LPM, TX dan RX tersebut dihitung menggunakan rumus tersebut, maka didapatkan hasil konsumsi energi semua *node* untuk skenario *Home Automation* yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rata-rata konsumsi energi

| Simulasi | Home Automation |
|----------|-----------------|
| Ke-1 | 443,8535333 |
| Ke-2 | 444,9918395 |
| Ke-3 | 436,8738197 |
| Ke-4 | 426,8738197 |
| Ke-5 | 449,5452372 |
| Ke-6 | 444,5800349 |
| Ke-7 | 439,527602 |
| Ke-8 | 449,527602 |
| Ke-9 | 459,6726914 |
| Ke-10 | 452,3876244 |

5.1 Hasil

Hasil pengujian dianalisis menggunakan Two Way ANOVA, terdapat dua variabel independen dari penelitian ini yaitu Skenario Topologi dan Skenario Uji. Skenario Topologi terdiri dari Skenario *Home Automation*, *Building Automation* dan *Smart Grid*. Sedangkan untuk skenario uji yaitu lokasi peletakan *sink*, paket kontrol dan radius transmisi. Pada gambar 10 akan ditampilkan grafik konsumsi energi per skenario uji dan gambar 11 merupakan ANOVA pada skenario uji paket kontrol. Dari ANOVA tersebut dapat disimpulkan bahwa peneliti dapat menolak Hipotesis Nol (H_0) yang berarti terdapat perbedaan signifikan pada kelompok data konsumsi energi yang dianalisis.

Tabel 6. Hasil Two Way Anova skenario paket kontrol RPL

| ANOVA | | | | | | |
|---------------------|------------------|-----------|----------|---------|------------------------|--------|
| Source of Variation | SS | df | MS | F | P-value | F crit |
| Sample | 79813,46 | 1 | 79813,46 | 2961,65 | $7,39 \times 10^{-49}$ | 4,02 |
| Columns | 91651,04 | 2 | 45825,52 | 1700,45 | $1,72 \times 10^{-49}$ | 3,17 |
| Interaction | 120894,47 | 2 | 60447,23 | 2243,03 | $1,08 \times 10^{-52}$ | 3,17 |
| Within | 1455,24 | 54 | 26,95 | | | |
| Total | 293814,21 | 59 | | | | |

6. KESIMPULAN

Implementasi protokol routing pada jaringan *Wireless Sensor Network*, dari penelitian ini diketahui berpengaruh langsung terhadap konsumsi energi dari tiap *node* sensor. Hal ini dipengaruhi oleh pola komunikasi yang dilakukan oleh masing-masing protokol. Untuk membuat jalur komunikasi dari *node* sensor ke arah *sink*, tiap protokol menggunakan *control message* untuk melakukan hal tersebut. Maka dari itu, sensor melakukan transmisi radio untuk mengirim paket-paket tersebut hingga tiap *node* sensor dapat menemukan jalurnya masing-masing.

Analisis Varian yang dilakukan pada penelitian ini menyimpulkan bahwa ketiga skenario topologi memiliki konsumsi energi yang berbeda. Hal ini dibuktikan oleh dua kriteria, sehingga jika nilai P di bawah nilai Alfa (0,05) dan nilai F-crit lebih kecil dari nilai F maka data konsumsi energi tersebut berbeda. Sebagai contoh, pada skenario variasi paket

kontrol untuk protokol RPL dengan DIO Interval Minimum (Imin) 4 detik dan 8 detik, didapatkan hasil P yaitu $7,39 \times 10^{-49}$, $1,72 \times 10^{-49}$ dan $1,08 \times 10^{-52}$, dua nilai P ini jauh di bawah nilai Alfa (0,05) serta nilai F 1700,45, 2961,65 dan 2243,03 di atas nilai F-crit (4,02 dan 3.17). Kemudian untuk LOADng dengan *Route Hold Time* 5 menit dan 10 menit, didapatkan hasil P yaitu $1,80 \times 10^{-29}$, $1,06 \times 10^{-45}$ dan 17×10^{-33} kedua nilai P ini juga jauh di bawah nilai Alfa (0,05) serta nilai F 524,06, 1223,54 dan 410,62 di atas nilai F-crit (4,02 dan 3.17). Hal ini berarti semua data yang didapatkan dan dianalisis menggunakan ANOVA dengan asumsi H_0 yang menyatakan bahwa semua data konsumsi energi sama dapat ditolak oleh peneliti.

Paket kontrol dari protokol routing mempengaruhi konsumsi energi tiap *node* di jaringan *Wireless Sensor Network*. Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan energi pada routing protokol RPL dengan memvariasikan Imin dari protokol tersebut. Perubahan Imin dari 4 detik ke 8 detik menurunkan konsumsi energi tiap *node* sensor

sebesar 49,22% untuk skenario topologi *Building Automation*, 5,22% untuk topologi *Home Automation* dan 2,36% untuk topologi *Smart Grid*. Sedangkan untuk protokol LOADng dengan mengubah *Route Hold Time* (RHT) dari 5 menit ke 10 menit menurunkan konsumsi energi sebesar 39,31% untuk topologi *Home Automation*, kemudian 2,79% untuk *Building Automation* dan 0,36% pada topologi *Smart Grid*.

Pada masing-masing skenario topologi terdapat variasi jumlah *node* dan cakupan transmisi yang berbeda. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, protokol routing RPL mengonsumsi energi yang cukup rendah seiring pertambahan jumlah *node*. Sedangkan untuk LOADng, routingsnya mengonsumsi energi yang cukup signifikan karena bertambahnya jumlah *node* serta faktor perbedaan cakupan transmisi. Hal ini dipengaruhi oleh perilaku masing-masing protokol serta paket kontrol yang digunakan.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Domingues, P., Et Al., 2016. *Building Automation Systems: Concepts and technology review*. Elsevier B.V. Portugal.
- Dunkels A., Et Al., 2011. *Powertrace: Network-level Power Profiling for Low-power Wireless Networks*. Swedish Institute of Computer Science.
- Elyengui, S. Bouhouchi, R. & Ezedine, T. 2015. A comparative performance study of the routing protocols RPL, LOADng, and LOADng-CTP with bidirectional traffic for AMI scenario. *International Conference on Smart Grid and Clean Energy Technologies (ICSGCE)*.
- Gee, Ee., Et Al., 2010. *A Review of 6LowPAN Routing Protocols*. V. 30, p. 71-81.
- Katumba, G. B., Et Al., 2015. *IMPACT OF THE NODES DENSITY ON G3-PLC NETWORKS PERFORMANCE*. *International Conference on Electricity Distribution*. Belgium.
- Narasimha, S., 2016. *Performance Analysis of 6LowPAN Routing Protocols for IoT*. Volume 3, Issue 2.
- Pratama, I. & Sakamoto, S., 2015. *Wireless Sensor Network*. Bandung: INFORMATIKA
- Sahraoui, S. 2016. *Mécanismes de sécurité pour l'intégration des RCSFs à l'IoT (Internet of Things)*. S2. University of Batna 2. Tersedia di < <https://docplayer.fr/>> [Diakses 7 Desember 2018].
- Schaefer, F. Grob, T. & Kays R. 2013. *Energy Consumption of 6LowPAN and Zigbee in Home Automation Networks*. Dortmund, Germany
- Sitanayah, L., Sreenan C. J., Fedor S. 2016. *A Cooja-Based Tool for Coverage and Lifetime Evaluation in an In-Building Sensor Network*. *Journal of Sensor and Actuator Networks*. Rome, Italy.
- Velinov. A. & Mileva A. 2016. *Running and Testing Applications for Contiki OS Using Cooja Simulator*. *International Conference on Information Technology and Development of Education – ITRO*. Zrenjanin, Republic of Serbia.
- Vijayapriya, T., Kothari, D. P., 2011. *Smart Grid: An Overview*. Scientific Research. India.
- Vucinic, M., Tourancheau, B., Duda, A., 2013. *Performance Comparison of the RPL and LOADng Routing Protocols in a Home Automation Scenario*. *IEEE Wireless*