

ANALISIS PERFORMANSI PROTOKOL ROUTING GPSR PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL

PERFORMANCE ANALYSIS OF GPSR ROUTING PROTOCOL IN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Muhammad Fuad¹, Gandeva Bayu S., S.T., M.T.², Anton Herutomo, S.T., M.Eng.³

Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

¹billy.fuad@gmail.com, ²gbs@telkomuniversity.ac.id, ³anton.herutomo@gmail.com

Abstrak

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan suatu peralatan sistem *embedded* yang didalamnya terdapat satu bahkan ribuan sensor, peralatan ini dapat disusun hingga membentuk node pada jaringan yang dapat saling berkomunikasi. WSN tersebut menggunakan jaringan WPAN 802.15.4 atau disebut juga dengan *low-energy wireless personal area network*. Salah satu perangkat yang menggunakan standar WPAN 802.15.4 ini ialah Zigbee. Namun kekurangan dari perutingan standar pada Layer Network WPAN tersebut ialah kurang mendukung masalah reliabilitas dan skalabilitas. Selain itu juga memungkinkan adanya node yang terisolasi jika terdapat router yang mati. Atas dasar hal tersebut maka diperlukannya sebuah metode perutingan yang dapat mencari rute alternatif dari node sensor menuju coordinator. Agar node-node sensor tersebut dapat berkomunikasi secara baik, maka diperlukan Routing Protocol yang sesuai agar komunikasi data dapat tersampaikan dengan cepat dan akurat serta sedikit memakan energi pada baterai. Protokol *wireless ad-hoc routing* dinilai cocok untuk Wireless Sensor Network karena topologinya yang dinamis serta beroperasi dengan energi yang terbatas. Tugas akhir ini menganalisa bagaimana performansi Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR) yang merupakan routing protocol yang bersifat *energy aware* ketika di implementasikan pada Wireless Sensor Network (WSN) Zigbee untuk sistem monitoring pada kasus di lahan pertanian yang membutuhkan banyak sensor yang tersebar secara luas dan membutuhkan daya energi yang terbatas. Protokol routing tersebut akan dibandingkan dengan riset sebelumnya pada jaringan sensor nirkabel 802.15.4 dengan menggunakan protokol routing Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) yang juga merupakan *low-energy routing protocol*. Pengukuran akan dilakukan pada saat proses pengiriman data dari node pengirim sampai di node tujuan dengan parameter perhitungan berupa End-to-end Delay, Packet Delivery Ratio, dan Throughput. Performansi routing protocol tersebut akan memperlihatkan Quality of Service yang baik dengan perhitungan parameter tersebut sesuai dengan yang diharapkan. Selain itu juga dilakukan pengukuran terhadap Energy Consumption sebagai indikator Low Energy Routing Protocol.

Kata Kunci: Wireless Sensor Network, 802.15.4, ad-hoc, GPSR, AODV, Energy Aware, NS-2

Abstract

Wireless Sensor Network (WSN) is *embedded system equipment*, which consists of one or even thousands of sensors. This equipment can be arranged to form nodes in the network that can communicate with each other. The WSN uses 802.15.4 WPAN network, which is also referred as *low-energy wireless personal area network*. One of the devices that use this 802.15.4 WPAN standard is ZigBee. However, one of the weaknesses of the standard routing on the layer Network WPAN is the fact that it is less supportive in the reliability and scalability. Moreover, it makes the existence of the isolated node possible if some of the router are off. Therefore, a method of routing that can seek for alternative route from sensor node to the coordinator is needed. To make the sensor nodes communicate properly, appropriate Routing Protocol is needed in order for the data communication delivered quickly and accurately while only using less energy from the battery. Protocol *wireless ad-hoc routing* is considered suitable for Wireless Sensor Network because of its dynamic topology and because it can also operate with limited energy. This final project is intended to analyze the performance of the Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR), which is an *energy aware* routing protocol, when it is implemented in the Wireless Sensor Network (WSN) Zigbee for monitoring system in the case of agricultural land that needs lots of widely dispersed sensors and requires limited energy resources. The routing protocol will be compared with previous research on the 802.15.4 wireless sensor network using the Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) routing protocol, which is also a *low-energy routing protocol*. The measurements will be proceed when the process of data transmission from the sender node to the destination node by calculating parameters such as End-to-end Delay, Packet Delivery Ratio, and throughput. The performance of the routing protocol will show good Quality of Service with the calculation of these parameters as expected. measurements of the Energy Consumption as indicators Low Energy Routing Protocol.

Keywords: *Wireless Sensor Network, 802.15.4, ad-hoc, GPSR, AODV, Energy Aware, NS-2*

1. Pendahuluan

Dewasa ini teknologi semakin hari semakin berkembang pesat terutama di bidang teknologi informasi dan komunikasi. Kebutuhan manusia semakin meningkat ini mendorong semakin berkembangnya perangkat telekomunikasi yang berbasis wireless atau nirkabel. Tidak hanya pada smartphone yang sering kita gunakan, teknologi nirkabel ini juga banyak diterapkan pada pertanian, perkebunan, kesehatan, hingga di bidang militer. Salah satu teknologi wireless yang sedang banyak dikembangkan saat ini ialah Wireless Sensor Network (WSN). Wireless Sensor Network (WSN) merupakan suatu peralatan sistem embedded yang didalamnya terdapat satu bahkan ribuan sensor, peralatan ini dapat disusun hingga membentuk node pada jaringan yang dapat saling berkomunikasi. Jaringan WSN ini dapat didistribusikan untuk memantau kondisi fisik atau lingkungan seperti suhu, tekanan, suara, udara, dan masih banyak lagi tergantung dengan sensor yang akan digunakan[1].

Salah satu WSN yang sedang banyak dikembangkan saat ini ialah ZigBee. Zigbee diimplementasikan dengan sejumlah node yang saling terhubung dan Node Coordinator atau Base Station sebagai pusatnya[16]. Salah satu kegunaan teknologi Wireless Sensor Network yaitu dalam sistem monitoring pada lahan pertanian, dimana seorang pengelola lahan pertanian dapat mengecek kondisi kelembaban tanah pertanian dari jarak jauh agar tidak memakan waktu dan biaya pengelolaan lahan pertanian seperti penyiraman yang saat ini masih dipantau secara manual[14]. Di tanah lahan pertanian tersebut dapat dipasang sensor yang kemudian akan dihubungkan dengan Zigbee agar informasi tersebut dapat terhubung dengan Coordinator. Dari coordinator, data tersebut akan dikirimkan ke pengelola lahan dengan menggunakan koneksi jaringan nirkabel. Jika jumlah node sensor sedikit bisa saja tidak diperlukannya routing protocol dan bisa dilakukan komunikasi secara peer-to-peer, akan tetapi pada kondisi nyata di lapangan dibutuhkan banyak sekali node yang terpasang dengan jarak yang saling berjauhan antar node juga dengan coordinator itu sendiri. Ditambah lagi dengan terbatasnya jarak jangkauan zigbee dan konsumsi daya pada node sensor, semakin jauh jarak antar node maka akan menghabiskan energi yang lebih besar. Agar node tersebut dapat saling berkomunikasi dengan baik, dibutuhkan routing protocol untuk menentukan rute pengiriman data yang optimal[15]. Dalam hal penentuan routing protocol, maka kita harus mengetahui performansi routing protocol mana yang paling baik dan sedikit mengkonsumsi energi bila diterapkan pada teknologi Zigbee Wireless Sensor Network pada kondisi di lingkungan pertanian.

Terdapat banyak Ad-hoc routing protocol yang kompeten yang digunakan pada WSN, akan tetapi salah satu permasalahan pada WSN ialah perlu menggunakan routing protocol yang sedikit mengkonsumsi energi dan dapat mengatasi masalah node yang terisolasi. Salah satu energy aware routing protocol ialah Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)[4][12]. GPSR adalah protokol routing yang responsif dan efisien untuk Wireless Sensor Network. GPSR memanfaatkan korespondensi antara posisi geografis dan konektivitas dalam jaringan nirkabel dengan menggunakan letak posisi node itu sendiri untuk membuat keputusan pengiriman paket data[5]. Routing protocol lainnya pada riset sebelumnya adalah Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV). AODV juga merupakan salah satu routing protocol MANET yang serupa dengan GPSR dalam hal efisiensi energi karena tidak memerlukan routing table dalam route discovery[6]. Kedua routing protocol tersebut akan disimulasikan dan dianalisis pada tugas akhir ini, sehingga dapat diambil kesimpulan manakah protocol routing yang paling baik diantara kedua protocol routing tersebut dalam kasus penghematan energi.

Perumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah

- Bagaimana karakteristik dari routing protocol GPSR dan AODV?
- Bagaimana performansi routing protocol tersebut?
- Seberapa besar pengaruh routing protocol GPSR dan AODV untuk menangani masalah konsumsi energi pada *Wireless Sensor Network*?

Dari perumusan diatas dibuat tujuan dari tugas akhir ini :

- Mendapatkan rekomendasi routing protokol yang bersifat *energy aware* dengan membandingkan protokol routing GPSR dengan protokol routing AODV yang keduanya merupakan *energy aware routing protocol*.
- Analisis besar atau kecilnya nilai *Average End-to-end Delay*, *Throughput*, *Packet Delivery Ratio* serta *Energy Consumption* sebagai indikator *Low Energy Routing Protocol* tersebut pada skenario di lahan pertanian

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan cara studi literatur, yaitu mempelajari materi yang berhubungan dengan konsep *wireless sensor network*. Selanjutnya dilakukan analisis dan perancangan sistem. Dibuat juga dataset untuk pengujian sistem. Kemudian mensimulasikan sistem yang telah dirancang dan melakukan pengujian terhadap sistem. Lalu dilakukan pengujian untuk tiap skenario pengujian sehingga mendapatkan hasil sistem lalu ditarik kesimpulan.

2. Dasar Teori

2.1 Wireless Sensor Network (WSN)

Wireless Sensor Network (WSN) atau yang kita kenal jaringan sensor nirkabel merupakan suatu jaringan yang terdiri dari beberapa *node* sensor kecil dan sederhana yang tersebar secara luas pada bidang tertentu. *Node-node* sensor tersebut terdiri dari radio *transceiver* sebagai alat komunikasi, mikro kontroler, serta sumber energi yang dapat berupa baterai sebagai catuan dayanya[1].

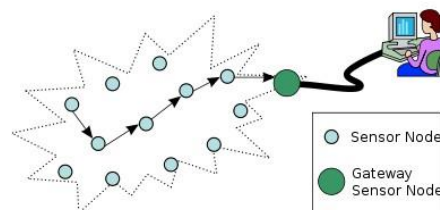
Sensor-sensor ini akan mengubah data analog menjadi data digital sebelum nantinya akan dikirimkan melalui media komunikasi *wireless* seperti *bluetooth*, *infrared*, *wifi* dan lain-lain

Kemampuan sensor *Wireless Sensor Network* yang luas membuat penggunaannya dapat diterapkan di berbagai macam aplikasi dalam bentuk *monitoring*, *tracking* dan *controlling*. Beberapa contoh penggunaannya di berbagai bidang antara lain:

- Pengontrol reaktor nuklir pada bidang militer.
- Pendeteksi api dan pengawasan lingkungan.
- Monitoring lalu lintas dan pertanian.
- Pengamatan gejala alam.
- Target tracking

Dengan adanya *Wireless Sensor Network* yang mendukung aplikasi jarak jauh, maka kita tidak perlu terjun langsung ke lokasi untuk mengetahui keadaan objek yang ingin amati.

Perkembangan *Wireless Sensor Network* telah menyebabkan integrasi sensor, elektronik digital dan komunikasi radio ke dalam paket sirkuit yang terintegrasi (*Intergrated Circuit* (IC)). *Wireless Sensor Network* umumnya memiliki *base station* atau bias juga disebut *node coordinator* yang berkomunikasi melalui koneksi radio untuk *node* sensor lainnya. Data yang dibutuhkan dikumpulkan pada sensor *node* akan diproses, dikompresi dan dikirim ke *gateway* secara langsung atau melalui sensor lainnya [9] .

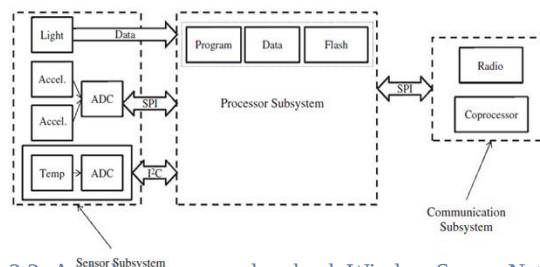


Gambar 2.1: Contoh penggunaan Wireless Sensor Network untuk aplikasi Monitoring [2]

2.2 Arsitektur Wireless Sensor Network

Setiap node pada *Wireless Sensor Network* umumnya terdiri dari sistem sensing, processing, komunikasi dan power. Yang sangat perlu diperhatikan adalah bagaimana cara menggabungkan keseluruhan sistem tersebut agar menghasilkan *Wireless Sensor Network* yang perancangannya baik.

Sistem processor merupakan bagian yang terpenting dalam perancangan *Wireless Sensor Network*, karena dapat mempengaruhi performansi jaringan maupun konsumsi energinya. Adapun beberapa pilihan processor yang dapat digunakan pada *Wireless Sensor Network*, diantaranya Microcontroller, Digital Signal Processor, Application Specific IC, Field Programmable Gate Array dan lainnya [14].



Gambar 2.2: Arsitektur umum pada sebuah Wireless Sensor Network [10]

2.3 Tipe Node dan Topologi WPAN 802.15.4

Pada WPAN 802.15.4 yang berperan sebagai node – node dalam jaringan dibedakan menjadi 3 jenis [15],

a. PAN Coordinator

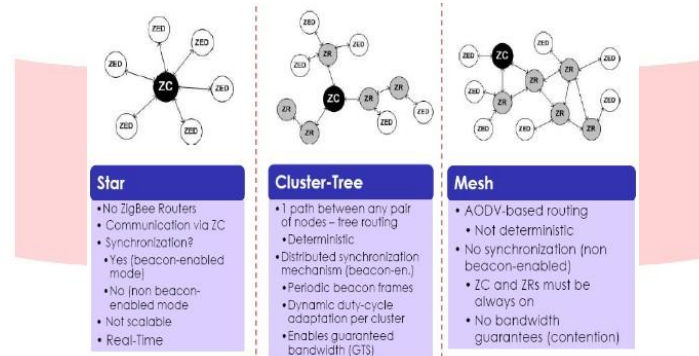
PAN coordinator pada 802.15.4 hanya terdapat satu buah per networknya. PAN coordinator bertugas memulai (initiates network formation) dan mengontrol jaringan selain itu PAN coordinator menyimpan seluruh informasi mengenai jaringan dan kadang berperan sebagai router saat jaringan dibangun.

b. Router

Router dalam 802.15.4 diperlukan ketika ingin membangun topologi cluster tree dan mesh pada jaringan sensor nirkabel. Router dapat menerima data dari sesama router dan end-devide dan meneruskan/merutingkan data menuju PAN coordinator. Router ini berpartisipasi dalam pengiriman data secara multihop.

c. End-device

End-device adalah node yang men-sensor keadaan area yang diteliti. Informasi yang didapatkan oleh End-device dikirimkan menuju PAN coordinator. Pengiriman data dapat langsung ke PAN coordinator atau melalui router terlebih dahulu tergantung topologi serta radius node yang dibangun.



Gambar 2.3: Tipe Node Zigbee [16]

2.4 Aplikasi Wireless Sensor Network

Wireless Sensor Network memiliki berbagai aplikasi seperti *monitoring* lingkungan dan *tracking*. Bagian-bagian dari aplikasi adalah untuk meneliti objek, pengawasan dalam bidang kesehatan, deteksi terhadap munculnya api atau pengontrol reaksi nuklir. Penyebaran dari *node-node* sensor di dalam suatu area digunakan untuk pengumpulan data merupakan karakteristik dari aplikasi-aplikasi pada *Wireless Sensor Network*.

a. *Monitoring* Lingkungan

Wireless Sensor Network dengan skala jangkauan yang besar disebar untuk memonitor lingkungan, yang dapat berupa deteksi terhadap kebakaran hutan atau banjir, *monitoring* kondisi eksplorasi tanah dan lahan.

b. *Monitoring* Kondisi Pasien di Rumah Sakit

Sistem *monitoring* kesehatan ini dapat memonitor perubahan bagian-bagian vital manusia dengan cara menempatkan sensor tersebut pada bagian yang akan dipantau. Pasien (user) dapat memperoleh keuntungan dari *monitoring* jangka pendek maupun jangka panjang sebagai bagian dari prosedur *diagnostic* dan dapat mencapai perawatan optimal dari kondisi kronis atau dapat mengawasi selama masa penyembuhan kejadian akut atau pasca operasi. Karena dengan adanya teknologi ini dokter dapat lebih mudah memantau kondisi pasien dari jarak jauh.

c. *Monitoring* terhadap Area Komersial

Wireless Sensor Network memiliki banyak aplikasi yang memperhatikan hal-hal bersifat niaga, contohnya kantor-kantor, lingkungan perumahan, aplikasi kesehatan, kontrol lingkungan gedung-gedung, *monitoring* tanaman industri.

d. *Monitoring* Area

Aplikasi yang kerap digunakan menggunakan *Wireless Sensor Network* adalah untuk memonitor suatu area. Segala hal yang terjadi pada suatu lingkungan termonitor oleh *node-node* sensor yang tersebar di salah satu wilayah. Proses *monitoring* area melibatkan deteksi gangguan oleh *node-node* sensor yang tersebar secara skala besar. Deteksi kejadian tersebut akan dilaporkan ke *base station* untuk ditindaklanjuti.

e. Aplikasi *Tracking*

Contoh aplikasi *Wireless Sensor Network* meliputi *tracking intelligent amunition* serta dokter-dokter dan pasien-pasien di dalam suatu rumah sakit. Sistem ini dibuat menggunakan sensor yang bersifat *connectionless* dengan menggunakan frekuensi radio yang berbeda. Sistem ini berbasis *sensor mobile*, *aksespoint*, dan GPS.

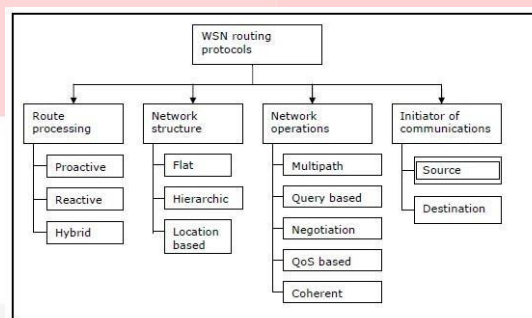
2.5 Protokol Routing Pada WSN

Protokol adalah seperangkat aturan yang mengatur setiap komputer untuk saling bertukar informasi melalui media jaringan, sedangkan *routing* adalah proses memindahkan informasi dari pengirim ke penerima melalui sebuah jaringan[6].

Routing adalah mekanisme penentuan link dari node pengirim ke node penerima yang bekerja pada layer 3 OSI (*Layer Network*). Protokol *routing* diperlukan karena untuk mengirimkan paket data dari node pengirim ke node penerima, akan melewati beberapa node penghubung (*intermediate node*), dimana protokol *routing* berfungsi untuk mencari *route link* yang terbaik dari *link* yang akan dilalui. Pemilihan rute terbaik tersebut didasarkan atas beberapa pertimbangan seperti *bandwidth link* dan jaraknya[3].

Wireless Sensor Network berkomunikasi secara *ad-hoc*. Komunikasi terjalin setelah terjadi hubungan antara 2 atau lebih perangkat tanpa melibatkan sebuah *server* yang mengontrol. Ketidakadaan *server* di dalam komunikasi ini mengakibatkan peran klien menjadi dinamis. Saat ini telah berkembang berbagai macam teknik *routing* yang memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Pemilihan teknik *routing* yang tepat dapat menentukan baik atau buruknya performansi dari suatu jaringan[4].

Teknik pencarian rute dengan menggunakan *routing protocol* dibutuhkan untuk mengirimkan data diantara node sensor dan base station untuk berkomunikasi. Terdapat beberapa *routing protocol* yang direkomendasikan untuk digunakan pada *Wireless Sensor Networks* yang diklasifikasikan seperti gambar 2.4 [3].



Gambar 2.4: Klasifikasi Routing Protocol untuk Wireless Sensor Network [3]

2.6 AODV

AODV ini pertama kali dikembangkan oleh C. E. Perkins, E.M. Belding-Royer dan S. Das pada RFC 3561 yang awalnya ditujukan untuk *Ad Hoc* yang bersifat *mobile* setelah itu diadaptasi untuk digunakan dalam jaringan Zigbee. *Ad Hoc On Demand Vektor (AODV)* termasuk dalam *reaktif routing*. AODV menggunakan pendekatan *on-demand* untuk pencarian rute. Karena AODV merupakan algoritma *on-demand*, sebuah rute dibangun hanya jika dibutuhkan oleh *node* sumber untuk mentransmisikan paket. Prinsip *kerja protocol routing* AODV adalah memperbolehkan setiap *node* melewati paket data melalui *node* tetangganya ke *node* tujuan, dikarenakan *node* – *node* tersebut tidak bisa berkomunikasi secara langsung[21].

AODV akan mencari tahu terlebih dahulu rute – rute yang mungkin dilalui dengan mengirimkan pesan – pesan. AODV memastikan bahwa dalam rute – rute ini tidak akan terjadi *looping* dan terus menemukan jalur yang terpendek menuju ke *node* tujuan. AODV menggunakan nomor urut tujuan untuk menemukan rute terbaru menuju *node* tujuan. Sebuah *node* memperbaharui informasinya hanya jika nomor urut tujuan paket yang diterima sekarang lebih besar dibandingkan nomor tujuan yang disimpan pada *node*. Untuk menghindari pengiriman ganda pada paket yang sama, AODV menggunakan nomor identitas pengiriman yang menjamin bebas *looping* karena *node intermediate* hanya meneruskan salinan pertama dari paket yang sama dan membuang duplikasi salinan[21].

Karakteristik lain dari AODV yaitu minimal *space complexity* yang artinya hanya *node* tertentu yang menjaga informasi rute. Dengan kata lain *node* yang aktif saja yang menjaga informasi rute. AODV juga ditandai dengan memiliki *bandwidth* yang besar karena pemaksimalan penggunaan *bandwidth* dalam peng-update-an *routing table*. Selain itu AODV juga mencegah terjadinya *loop* dan topologinya dinamis[21].

AODV memiliki *route discovery* dan *route maintenance*. *Route discovery* berupa *route request (RREQ)* dan *route reply (RREP)*. Sedangkan *route maintenance* berupa data, *route update* dan *route error (RERR)*. Ketiga paket pesan tersebut (RREQ, RREP dan RERR) akan dijelaskan sebagai berikut.

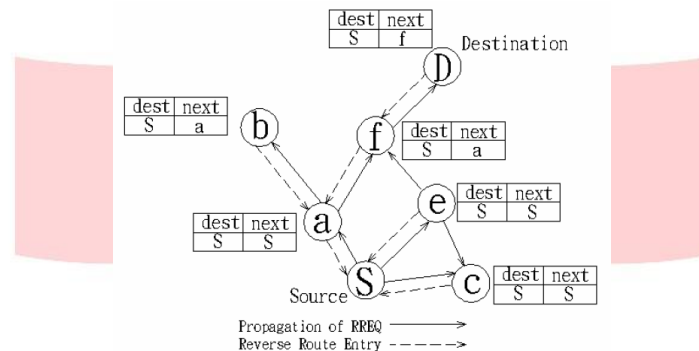
2.6.1 Route Reply (RREP)

RREQ akan dikirimkan secara *broadcast* ke jaringan ketika *node* sumber ingin mengirimkan paket pesan kepada *node* tujuan dan yang belum terbangun rute diantaranya. *Message format* RREQ berisi :

1. *Source node address*
2. *Source sequence number*
3. *Broadcast id*
4. *Destination address*
5. *Destination sequence number*

6. Hop count.

Setelah paket RREQ sampai ke suatu *node* (bisa juga *destination node* sendiri) maka hal pertama yang dilakukan oleh *node* penerima RREQ adalah mengecek *broadcast id* dari RREQ ini. Jika *node* ini sudah pernah menerima RREQ dengan *broadcast id* yang sama maka paket RREQ ini akan diabaikan. Jika RREQ ini adalah RREQ baru maka *node* ini akan membuat *route* kembali ke *node* asal RREQ dan mengecek *destination sequence number* dari RREQ yang diterima. Jika *node* ini mempunyai *destination sequence number* yang lebih besar atau sama dengan *destination sequence number* yang ada di RREQ, maka *node* ini akan membalas RREQ ini dengan *route reply* (RREP)[21]. Jika terjadi sebaliknya yaitu RREQ yang diterima memiliki *destination sequence number* yang lebih besar, maka *node* ini akan meneruskan RREQ ini ke semua *neighbor node* setelah menambahkan *hop count* pada RREQ dan memperbarui *entry* tabelnya. Untuk lebih jelas mengenai mekanisme dari RREQ perhatikan Gambar.



Gambar 2.5 : Proses Pencarian Node Tujuan[20]

Source address adalah *entry* yang berisi alamat ip *source node*. *Source sequence* adalah nilai yang mengindikasikan *update* atau tidaknya suatu *route* menuju *source node*. Seperti halnya *source sequence*, *destination sequence number* adalah nilai yang mengindikasikan *update* atau tidaknya *route* menuju *destination node*. *Destination address* adalah *entry* yang berisi alamat ip *destination node*. Sedangkan *hop count* adalah *entry* yang menunjukkan banyaknya *hop* yang harus dilalui sebuah paket. Setiap *node* dalam jaringan memiliki suatu tabel yang berisi tentang informasi *route* menuju setiap *node* yang ada dalam jaringan[21]. Setiap *entry* dari tabel ini berisi :

1. *Destination node*
2. *Next Hop*
3. *Hop count*
4. *Destination Sequence Number*
5. *Routing Flags*
6. *Time to live*

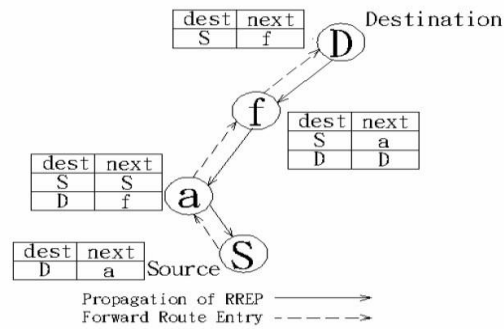
2.6.2 Route Reply (RREP)

Dalam perjalanan kembali RREP menuju *source node* melalui jalur yang telah dibangun bersama RREQ, setiap *node* yang dilalui RREP akan membangun *route* menuju *destination node*. Setiap *node* yang dilewati RREP ini juga akan memperbaharui informasi *time to live* baik menuju *source* atau *destination node* dan memperbaharui *destination sequence number* yang ada dalam *entry table* *routingnya*. Jika suatu *node* menerima RREP yang sama, maka akan dilihat *sequence number* dari RREP yang baru. Jika *sequence number*-nya lebih kecil, maka RREP ini akan diabaikan. Jika *sequence number*-nya sama dengan atau lebih besar dari RREP sebelumnya, maka *node* tersebut akan memproses RREP seperti halnya RREP pertama yang diterima[21]. Adapun RREP berisi :

1. *Destination node*
2. *Next Hop*
3. *Hop count*
4. *Destination Sequence Number*
5. *Routing Flags*
6. *Time to live*

Ketika RREP sampai di *source node*, hal pertama yang dilakukan *source node* adalah melihat *sequence number* dari RREP tersebut. Hal ini dilakukan untuk memilih *route* terbaik dari semua *route* yang ditemukan berdasarkan jumlah RREP yang sampai. *Route* yang dipilih adalah *route* yang menyampaikan RREP dengan *sequence number* terbesar. Jika ada dua atau lebih RREP yang mempunyai *sequence number* yang sama maka *route* yang dipilih adalah *route* dengan *hop count* terkecil. Segera setelah *end to end route* menuju

destination node terbentuk, *source node* dapat mulai mengirimkan data menuju *destination node*[21].



Gambar 2.6: Proses Pencarian Node sumber [20]

2.6.3 Route Error (RRER)

Ketika sebuah lintasan terputus, *node* yang terhubung dengan *link* tersebut akan menyatakan seluruh jalur yang menggunakan *link* tersebut tidak terpakai. *Node* akan me- *broadcast* pesan *route error* (RRER) ke seluruh *neighbor node*. Setelah *neighbor node* RRER, *node* akan melihat *cache route* yang dimilikinya untuk mencari jalur lain menuju tujuan yang terputus. *Node* penerima RRER ini akan meneruskan pengiriman RRER hingga *source node*. Ketika *source node* menerima RRER, *source node* akan menyatakan *route* yang dahulu dimilikinya tidak berlaku dan memulai pencarian *route* jika *route* menuju *destination node* masih dibutuhkan[21].

2.7 GPSR

GPSR (*Greedy Perimeter Stateless Routing*) merupakan sebuah *routing protocol* terbaik berbasis lokasi *node*. Menggunakan metode beacon untuk pencarian informasi pada tetangga yang terdekat dengan tujuan untuk meneruskan paket. Setiap *node* pada GPSR memiliki informasi tentang posisi *node* itu sendiri maupun *node* tetangga. *Node* tetangga berfungsi membantu meneruskan keputusan yang benar tanpa campur tangan dari informasi yang ada di topologi[7].

GPSR terbagi menjadi dua bagian yaitu *Greedy forwarding* dan *Perimeter Forwarding*. *Greedy forwarding* digunakan untuk mengirim data dari *node* terdekat ke tujuan sedangkan *perimeter forwarding* digunakan untuk daerah-daerah dimana tidak ada *node* untuk tujuan atau digunakan ketika *greedy forwarding* gagal.

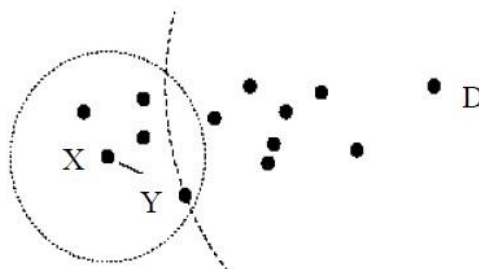
GPSR menggunakan *Distance Vectors* (DV), *Link State* (LS), dan *Path Vector* algoritma routing. Adanya DV setiap *node* akan menemukan tujuan dari tetangganya berdasarkan beacon yang periodik. LS akan langsung memberikan informasi perubahan status *node* ke setiap *node* dalam topologi jaringan. [5]

2.7.1 Greedy Forwarding

Dalam strategi *forwarding* paket data diketahui dari posisi fisik tujuan. Sebagai originator mengetahui posisi *node* tujuan maka wilayah *greedy* atau hops dipilih untuk meneruskan paket ke *node* yang lebih dekat ke tujuan. Proses ini diulangi hingga paket berhasil dikirim ke tujuan yang diinginkan. Posisi fisik tetangga terdekat dikumpulkan dengan memanfaatkan algoritma *beaconing* atau *beacon*.

Ketika sebuah *node* tetangga meneruskan paket ke daerah yang lebih dekat ke tujuan, *node* yang meneruskan akan menerima pesan sinyal yang berisi alamat IP dan informasi posisi. Kemudian lakukan *update* informasi pada *routing table*. Jika *node forwarding* tidak menerima sinyal dari *node* tetangga dalam jangka waktu tertentu, maka diasumsikan *node* tetangga gagal untuk meneruskan paket ke wilayah yang lebih dekat ke tujuan atau tetangga yang tidak dalam jangkauannya.

Keuntungan dari *greedy forwarding* adalah total dari jarak yang ditempuh ke tujuan menjadi berkurang dan paket dapat ditransmisikan dalam waktu yang singkat. Sedangkan kelemahannya yaitu membatasi paket untuk berpindah ke kisaran tertentu atau jarak dari tujuan. Kemudian strategi ini akan gagal jika tidak ada tetangga dekat yang tersedia ke tujuan [19]. Contoh dari pemilihan hop selanjutnya secara Greedy ialah pada gambar 2.7.

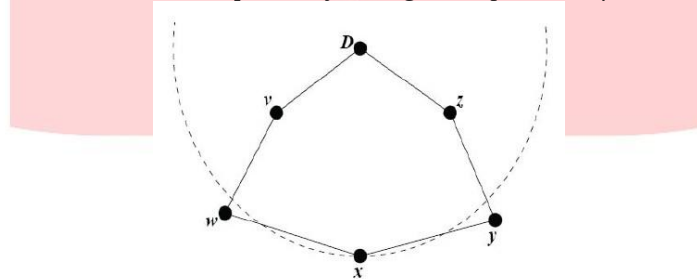


Gambar 2.7: Greedy Forwarding [5]

Node X menerima paket yang ditujukan ke D. Jangkauan radio pada X ditandai dengan lingkaran bergaris putus-putus yang melingkari X. Node Y merupakan node yang paling dekat dengan D dibandingkan dengan node lain di radius jangkauan X. Maka dari itu paket dari X akan dikirimkan ke node Y dengan tujuan base station D. Inilah yang disebut proses *Greedy Forwarding*. Kondisi ini akan berulang terus sampai paket tersebut sampai di node tujuan.

Keuntungan dari *Greedy Forwarding Protocol* ini adalah ketergantungan algoritma routing protokol ini hanya pada pengetahuan tentang forwarding node tetangga terdekat dengan node tujuan dan keadaan lingkungan node bergantung pada kepadatan node dalam jaringan sensor nirkabel, bukan bergantung dari jumlah tujuan dalam jaringan^[8].

Namun, terdapat kelemahan pada algoritma *greedy forwarding* jika terjadi pada topologi seperti gambar 2.8. Pada jenis topologi tersebut hanya ada satu kemungkinan rute dan akan menyebabkan x mengirim informasi ke tetangga yang jauh dari D. Jadi, x lebih dekat dengan D dari tetangganya w dan y. Oleh karena itu, x akan dipaksa untuk mengirimkan informasi kepada w atau y yang jauh dilihat dari jarak geometrik dari tujuan D. Algoritma *greedy forwarding* tidak akan membiarkan hal ini terjadi sehingga mekanisme yang berbeda harus digunakan untuk meneruskan informasi dalam situasi seperti ini yaitu algoritma *perimeter forwarding*.

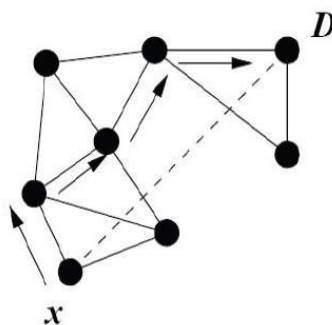


Gambar 2.8: Kesalahan pada greedy Forwarding [5]

2.7.2 Perimeter Forwarding

Strategi ini digunakan ketika strategi *greedy forwarding* gagal yang merupakan strategi *recovery* dari GPSR. Berarti ketika tidak ada hop berikutnya dari tetangga terdekat ke tujuan yang tersedia maka *perimeter forwarding* digunakan. Strategi ini menggunakan “aturan tangan kanan” dan menggunakan node yang berada pada wilayah *void* untuk meneruskan paket ke tujuan. Sebuah *void* terjadi karena interferensi sinyal yang tinggi pada komunikasi akibat banyaknya gedung penghalang. Dalam “aturan tangan kanan”, daerah *void* dieksploitasi dengan melintasi jalan berlawanan arah dalam rangka mencapai tujuan tertentu. *Perimeter Forwarding* disebut juga *void handling* dalam menangani *communication void*. Hal ini dapat terjadi ketika sebuah node sumber ingin mengirim paket ke node tujuan, namun ternyata node sumberlah yang paling dekat dengan node tujuan dibandingkan dengan node-node tetangga dalam radiusnya. Akibatnya, paket tidak mungkin dapat dikirim dengan cara *greedy forwarding*[19].

Ketika sebuah paket diteruskan oleh node sumber, diteruskan ke arah berlawanan, termasuk node tujuan sampai kembali di node sumber. Menurut aturan ini setiap node yang terlibat untuk meneruskan paket di seluruh wilayah kosong dan masing-masing tepi yang dilalui disebut *perimeter*. Tepi dapat menyeberang ketika aturan tangan kanan menemukan *perimeter* yang tertutup dalam kekosongan dengan memanfaatkan “pendekatan heuristik”. Heuristik memiliki kelemahan yaitu menghilangkan tanpa pertimbangan tepi yang diulang dan dapat menyebabkan partisi jaringan [19].



Gambar 2.9: Perimeter Forwarding [5]

2.8 Parameter Routing Protocol Yang Digunakan pada Simulasi

Untuk mendapatkan hasil performansi protokol routing dilakukan beberapa pengujian, yaitu *Average End-to-End Delay*, *Energy Consumption*, *Throughput*, dan *Packet Delivery Ratio*.

2.8.1 Average end-to-end Delay

Average end-to-end delay merupakan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk sebuah paket sampai dari sumber ke penerima []. Satuan yang digunakan adalah millisecond (ms)

$$\text{Average_Delay} = \frac{\sum_{i=1}^n \text{waktu diterima} - \text{waktu dikirim}}{n}$$

2.8.2 Energy Consumption

Dapat didefinisikan sebagai total energi yang dikonsumsi rata-rata saat suatu *node* melakukan *transmisi* paket maupun *receive* paket. Satuan energi adalah *joule*.. Satuan yang digunakan adalah *joule*.

$$\text{konsumsi energi rata - rata} = \frac{\text{jumlah konsumsi energi}}{\text{jumlah node}}$$

2.8.3 Throughput

Merupakan banyaknya bit yang diterima dengan benar dalam suatu selang waktu tertentu dengan satuan yang digunakan pada tugas akhir ini adalah bit per second. Satuan yang digunakan adalah kbps (kb/second).

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Total bit yang diterima}}{\text{Total waktu pengamatan}}$$

2.8.4 Packet Delivery Ratio

Packet Delivery Ratio adalah rasio atau perbandingan antara paket data yang sukses diterima di *node* tujuan dengan total paket data yang dikirimkan dari *node* sumber. Satuan yang digunakan adalah persen (%).

$$\text{Packet_Delivery_Ratio} = \frac{\sum \text{paket_data_yang_diterima}}{\sum \text{paket_data_yang_dikirim}} \times 100\%$$

3. Perancangan Sistem

3.1 Deskripsi Sistem

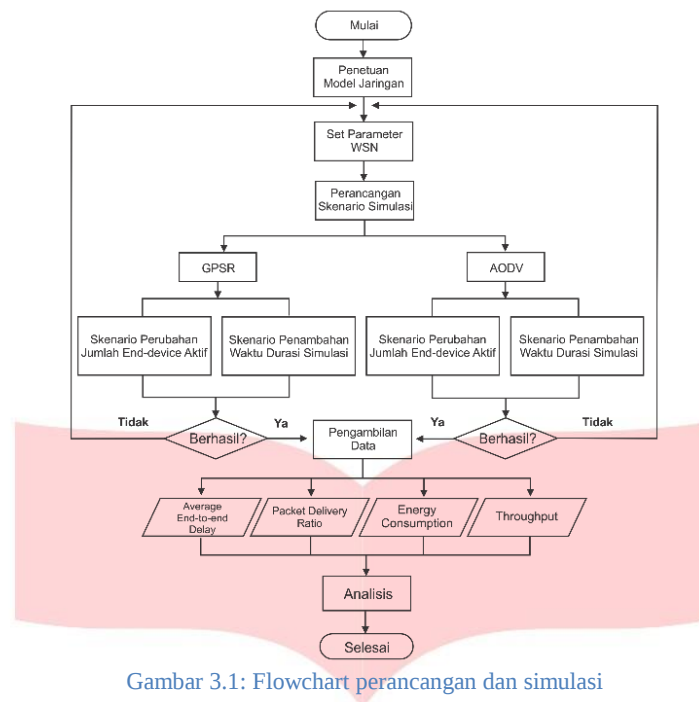
Analisis performansi routing protocol pada Wireless Sensor Network ini disimulasikan dengan menggunakan Network Simulator (NS 2.34) dengan penerapan dua buah geographic routing protocol yang sama sama menggunakan Greedy Forwarding yaitu *Greedy Perimeter Stateless Routing* (GPSR) dan *Ad Hoc On Demand Distance Vector* (AODV). Inputan dari WSN itu sendiri adalah sebuah data statis dalam rentang waktu serta pengirim paket pun akan ditentukan oleh penulis. Data tersebut akan dikirimkan oleh *source node* dan akan diteruskan hingga sampai ke anggota group melalui jalur-jalur yang sudah dibuat oleh routing protocol.

3.2 Simulasi Jaringan

Tahapan simulasi WSN :

- Membuat model yang akan disimulasikan
- Menentukan parameter simulasi
- Menentukan skenario simulasi
- Mensimulasikan model jaringan dengan menggunakan Network Simulator (NS 2.34)

Flowchart simulasi untuk analisis performansi dari ketiga routing protocol pada jaringan sensor nirkabel Zigbee dapat dilihat pada gambar 3.1



Gambar 3.1: Flowchart perancangan dan simulasi

3.3 Analisis Kebutuhan Sistem

Terdapat beberapa analisis untuk kebutuhan system yang akan digunakan untuk menunjang pengujian simulasi yang akan dibahas sebagai berikut.

3.3.1 Spesifikasi Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang menunjang untuk melakukan simulasi adalah sebagai berikut:

- VMWare Workstation 10.0.2
- Operating System Linux Ubuntu 12.04 LTS
- Network Simulator NS-allinone-2.34

3.3.2 Parameter Input

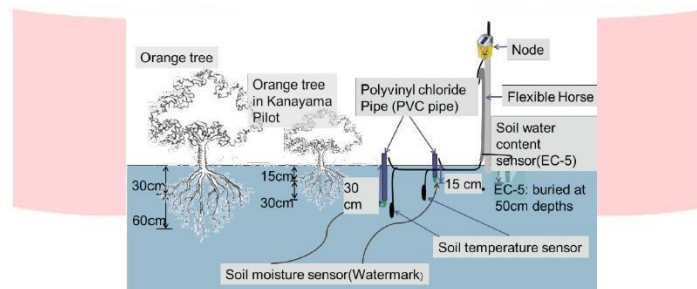
Tabel 3.1: Parameter umum simulasi

No	Parameter	Nilai
1	Jumlah Node	49
2	Mobilitas Node	Statis
3	Routing Protokol	GPSR AODV
4	Radius Node	100 meter
5	Tipe Trafik	CBR
6	Interface Jaringan	802.15.4
7	Model Antena	<i>Omnidirectional Antenna</i>
8	Model Propagasi Radio	<i>TwoRayGround</i>
9	Initial Energy	1000 Joule
10	Transmit Power	0,1 Watt
11	Receive Power	0,1 Watt
12	Packet Size	70 bytes
13	Dimensi Simulasi	300m x 300 m (9ha)
14	Waktu simulasi	100 – 200 detik

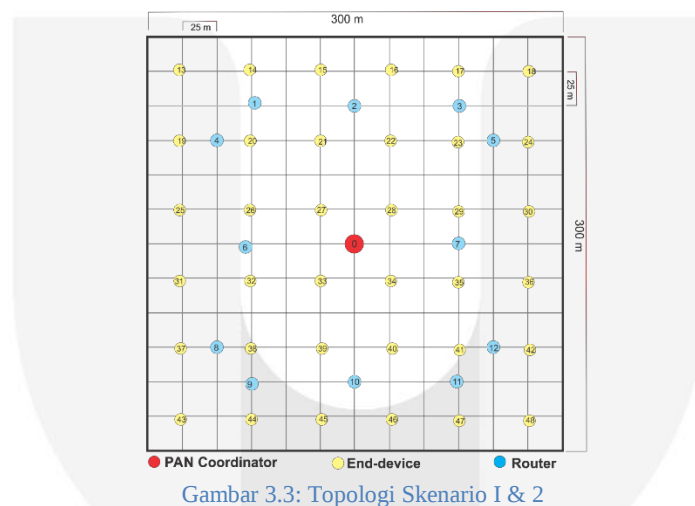
Parameter input adalah asumsi penyusun yang diperlukan untuk simulasi agar tujuan dari tugas akhir ini dapat terlaksana. Adapun parameter trafik dan input yang diperlukan pada simulasi disajikan pada tabel 3.1.

3.3.3 Skenario Pengujian & Pemodelan

Mengingat fokus tugas akhir adalah untuk melakukan analisis performansi routing protocol terhadap efisiensi energi pada jaringan sensor nirkabel. Analisis performansi dapat diperoleh dari pengamatan hasil skenario yang dibuat dalam tiga buah model skenario. Simulasi yang dilakukan dengan menyesuaikan dengan kondisi di lapangan pada kasus kebun Jeruk Mandarin dengan luas area $300 \times 300 \text{ m}^2$ atau 9 hektar. Dalam riset sebelumnya tentang wireless sensor network untuk manajemen air tanah pada kebun buah jeruk mandarin dijelaskan bahwa dalam 1 ha ($100\text{m} \times 100\text{m}$) kebun buah jeruk mandarin dapat dikelola dengan 4 buah node sensor (*end-device*) dengan komunikasi yang stabil [18]. Simulasi node diletakan pada koordinat area X, Y, dan Z. Sensor node Zigbee diletakan pada ketinggian 3m dari permukaan tanah, hal ini dilakukan untuk mengurangi *obstacle* pada komunikasi antar node sensor dikarenakan tinggi pohon jeruk mandarin $< 3\text{m}$. contoh peletakan node beserta sensornya diperlihatkan pada gambar 3.2. Sedangkan topologi yang akan digunakan pada simulasi ialah topologi mesh seperti pada gambar 3.3



Gambar 3.2: Contoh Peletakan Node Pada Instalasi Sensor Kelembaban Tanah Pada Kebun Buah Jeruk Mandarin [18]



Gambar 3.3: Topologi Skenario I & 2

3.3.3.1 Skenario 1

Pada skenario 1 ini *node* yang digunakan berjumlah 49 *node* (1 *PAN Coord*, 12 *router* dan 36 *end-device*) yang akan diletakkan pada daerah $300 \times 300 \text{ m}^2$ (9 Ha). *PAN Coord* terletak pada koordinat 150 x dan 150 y atau berada persis di tengah area pengujian. Untuk parameter simulasi lengkapnya dapat dilihat dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2: Parameter Khusus Skenario I

Parameter skenario	Nilai
Jumlah <i>node</i>	49 <i>node</i> dengan: 1 <i>PAN Coord</i> , 12 <i>router</i> , 36 <i>end-device</i>
Radius <i>node</i>	100 meter
Jumlah <i>end-device</i> aktif bersamaan	5, 9, 18, 27 dan 36 <i>end-device</i> aktif bersamaan
Posisi sink (x,y)	150,150
Durasi simulasi	100 s

3.3.3.2 Skenario 2

Pada skenario 2 ini, node yang digunakan berjumlah 49 node (1 PAN Coord, 12 router, 36 end-device) yang akan diletakkan pada daerah 300 x 300 m² (9 Ha). Pada skenario 2 ini waktu menjalankan simulasi bertambah mulai dari 100s, 120s, 140s, 160s, 180s, dan 200s. Hal ini bertujuan untuk mengetahui performansi *protocol routing* pada perubahan durasi waktu simulasi. Posisi PAN Coord sama dengan skenario 1 yaitu terletak pada koordinat 150 x dan 150 y. Untuk parameter simulasi lengkapnya dapat dilihat dalam Tabel 3.3

Tabel 3.3: Parameter Khusus Skenario II

Parameter skenario	Nilai
Jumlah node	49 node dengan: 1 PAN Coord, 12 router, 36 end-device
Radius node	100 meter
Jumlah end-device aktif bersamaan	36 end-device aktif bersamaan
Posisi sink (x,y)	150,150
Durasi simulasi	100s, 120s, 140s, 160s, 180s, 200s.

4. Analisis Hasil Simulasi

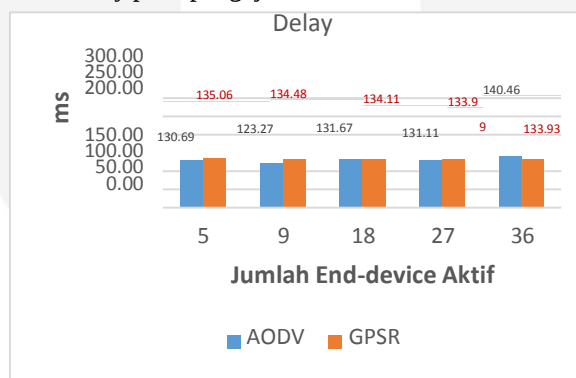
4.1 Hasil Simulasi dan Analisis Skenario I

Pada skenario ini terdapat 49 jumlah node yang terdiri dari 1 PAN coordinator, 12 router, dan 36 end-device. Pengujian dilakukan dengan menguji kepadatan jumlah node end-device secara bertahap, antara lain 5, 9, 18, 27, dan 36 end-device aktif secara bersamaan dengan radius jangkauan masing-masing node 100 meter pada area simulasi 300 m x 300 m (9ha). PAN coordinator terletak pada koordinat 150X 150Y yang terletak tepat di tengah tengah area simulasi.

4.1.1 Average End-to-end Delay

Gambar 4.1 menunjukkan hasil delay rata-rata pada skenario 1. Pada routing protocol GPSR terlihat bahwa nilai rata-rata end-to-end delay terus meningkat sedangkan pada protocol routing AODV nilai rata-rata end-to-end delay semakin bertambahnya jumlah node semakin turun. Pada kasus ini dilihat secara garis besar bahwa protocol routing AODV lebih cepat dalam pengiriman data dibandingkan dengan protocol routing GPSR

Dari hasil pengujian tersebut terlihat bahwa delay rata-rata kedua routing protocol tidak berubah secara signifikan karena pada simulasi wsn ini node tidak bergerak, sehingga tidak ada mobilitas atau pergerakan node yang sangat mempengaruhi waktu delay pada pengujian.



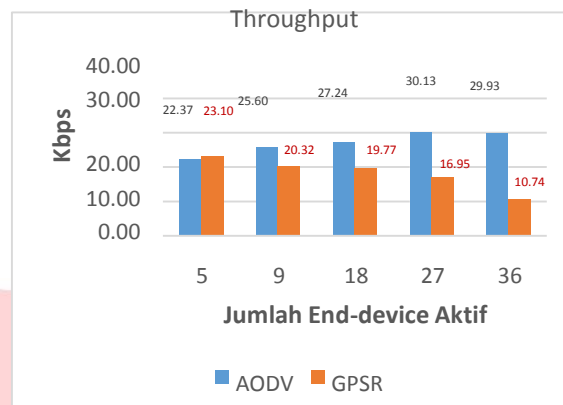
Gambar 4.1: Grafik rata-rata end-to-end delay berdasarkan kepadatan node pada skenario 1

4.1.2 Throughput

Pada gambar 4.2 menunjukkan nilai throughput rata-rata skenario 1 dalam satuan *kilobit per second* (kbps), terlihat pada skenario 1 bahwa ketika jumlah node lebih banyak, nilai throughput routing protocol AODV tersebut pun semakin bertambah, hal ini disebabkan letak posisi PAN Coordinator berada di tengah-tengah area simulasi. Ketika dilakukan percobaan dengan protocol routing AODV, semakin bertambahnya jumlah node yang berada di dekat PAN coordinator maka node tersebut langsung tersinkronisasi dengan PAN Coordinator, sehingga pengiriman data tidak perlu melalui perantara router. Sedangkan pada GPSR, semakin banyak jumlah node end-device maka semakin banyak juga adanya kemungkinan drop packet yang menyebabkan nilai *throughput* semakin menurun.

Dari grafik hasil simulasi terlihat bahwa nilai throughput AODV lebih baik jika dibandingkan dengan GPSR dikarenakan protocol routing AODV mempunyai keunggulan berupa cakupan area yang dapat dirutekan lebih

besar dan memiliki ukuran frame data yang relatif konstan. Selain itu juga AODV memiliki mode RERR yang ketika terjadinya *broken link* maka AODV mengambil cache yang tersimpan pada router untuk mengambil jalur tercepat lainnya. Nilai throughput tersebut berubah seiring jumlah node end-device semakin bertambah.

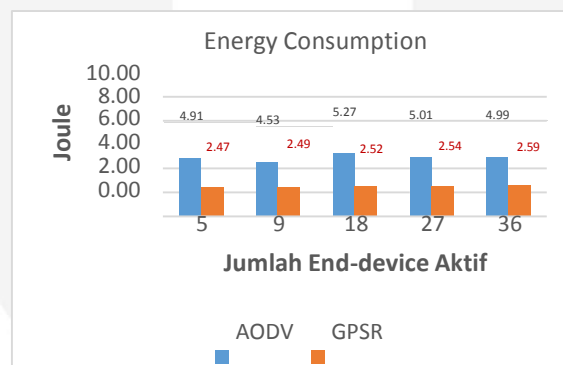


Gambar 4.2: Grafik nilai throughput berdasarkan kepadatan node pada skenario 1

4.1.3 Energy Consumption

Pada gambar 4.3 menunjukkan nilai konsumsi energy kedua buah routing protocol yang menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah node maka semakin besar pula energy yang dibutuhkan untuk mengirimkan data. Dari hasil pengujian yang dilakukan maka didapat protocol routing GPSR lebih sedikit mengkonsumsi energy bila dibandingkan dengan protocol routing AODV.

Perbandingan konsumsi energy secara signifikan ini terjadi karena tiap protocol routing memiliki algoritma perutingan tersendiri. GPSR tidak perlu mengkonsumsi energy banyak dikarenakan karakteristik protocol routing ini tidak perlu membroadcast ke seluruh node tetangga untuk mengetahui node destination, GPSR melakukan greedy forwarding untuk mengetahui dimana posisi PAN coordinator berada, sehingga konsumsi energy menjadi lebih sedikit bila dibandingkan dengan protocol routing AODV. Hal ini membuat protocol routing GPSR lebih baik dalam hal konsumsi energy yang sangat mempengaruhi lamanya waktu hidup baterai sensor.



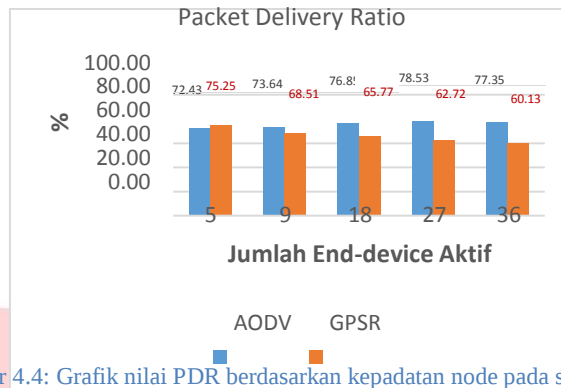
Gambar 4.3: Grafik nilai konsumsi energi berdasarkan kepadatan node pada skenario 1

4.1.4 Packet Delivery Ratio

Pada gambar 4.4 dilihat bahwa nilai packet delivery ratio dari kedua buah routing protocol pada scenario 1 memiliki nilai yang berbeda sesuai dengan jumlah end-device yang hidup. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah node semakin besar persentase keberhasilan pengiriman data, namun hal ini hanya berlaku pada routing protocol AODV karena pada saat simulasi dijalankan semakin banyak node yang aktif dan berada di radius jangkauan PAN Coordinator maka persentase keberhasilan paket yang dikirim semakin besar. Berbeda dengan GPSR, semakin banyaknya node yang aktif justru semakin banyak kemungkinan drop paket yang terjadi.

Nilai PDR tersebut berubah – ubah walaupun tidak ada mobilitas pada node. Hal ini disebabkan waktu yang dimiliki oleh table routing untuk menyimpan data pada kedua buah routing protocol tersebut. Pada GPSR, algoritma greedy yang agresif membuat adanya paket yang tidak terkirim ketika dilakukannya peroutingan pada saat waktu penyimpanan pada table routing sudah habis. Demikian pula pada AODV, namun pada algoritma AODV terdapat mode RERR yang ketika terjadinya *broken link* maka AODV mengambil cache yang tersimpan pada router untuk mengambil jalur tercepat lainnya,

selain itu juga ketika pada saat simulasi dijalankan terdapat sekitar 12 buah node end-device langsung tersinkronisasi dengan PAN Coordinator tanpa melalui perantara router. Hal ini mengakibatkan ratio perbandingan paket yang berhasil terkirim lebih besar dibandingkan dengan GPSR

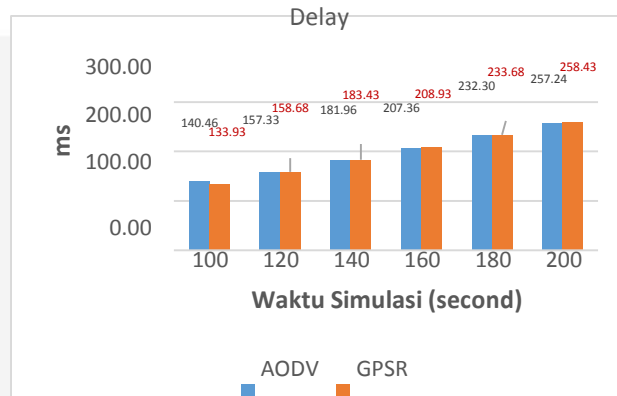


Gambar 4.4: Grafik nilai PDR berdasarkan kepadatan node pada skenario 1

4.2 Hasil Simulasi dan Analisis Skenario II

4.2.1 Average End-to-end Delay

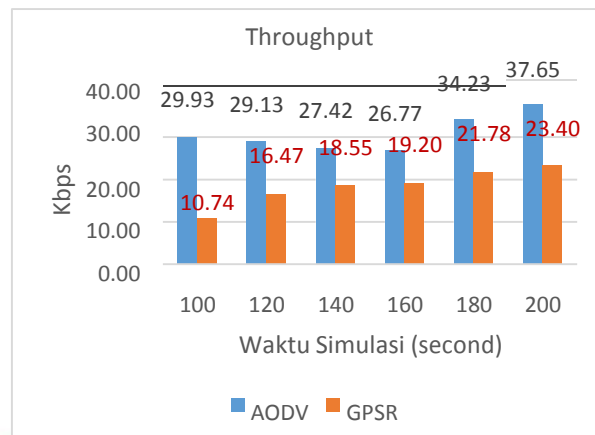
Gambar 4.5 menunjukkan hasil delay rata-rata pada skenario 2. Nilai delay AODV dan GPSR semakin bertambah ketika durasi simulasi bertambah. Terlihat bahwa delay kedua routing protocol tersebut tidak begitu berbeda secara signifikan, akan tetapi secara garis besar waktu delay GPSR selalu lebih besar bila dibandingkan dengan waktu delay AODV. Pada kasus ini terlihat bahwa protocol routing AODV secara garis besar lebih cepat dalam pengiriman data dibandingkan dengan protocol routing GPSR.



Gambar 4.5: Grafik nilai rata-rata end-to-end delay berdasarkan durasi simulasi pada skenario

4.2.2 Throughput

Gambar 4.6 menunjukkan nilai throughput rata-rata skenario 2 dalam satuan *kilobit per second* (kbps), hasil simulasi pada skenario 2 ini terus meningkat ketika waktu durasi simulasi bertambah. Dari grafik hasil simulasi terlihat bahwa nilai throughput AODV selalu lebih besar jika dibandingkan dengan GPSR dikarenakan protocol routing AODV mempunyai keunggulan berupa cakupan area yang dapat dirutekan lebih besar dan memiliki ukuran frame data yang relatif konstan. Selain itu juga AODV memiliki mode RERR yang ketika terjadinya *broken link* maka AODV mengambil cache yang tersimpan pada router untuk mengambil jalur tercepat lainnya.

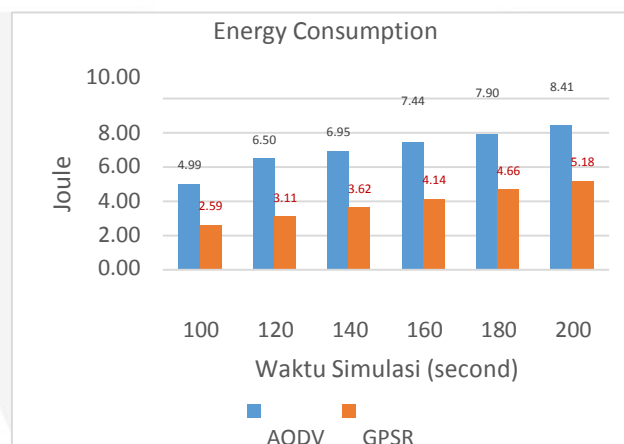


Gambar 4.6: Grafik nilai rata-rata throughput berdasarkan durasi simulasi pada skenario 2

4.2.3 Energy Consumption

Pada grafik 4.7 menunjukkan nilai konsumsi energy kedua buah routing protocol yang menunjukkan bahwa semakin lama durasi simulasi maka semakin besar pula energy yang dibutuhkan untuk mengirimkan data. Dari hasil pengujian yang dilakukan pada skenario 2, hasilnya pun tetap sama, yaitu didapat protocol routing GPSR lebih sedikit mengkonsumsi energy bila dibandingkan dengan protocol routing AODV.

Didapat nilai konsumsi energy tersebut disebabkan karena terjadinya *broken link*, sehingga node sumber melakukan perutean ulang ketika routing table tidak lagi mencantumkan jalur perutean pada saat waktu penyimpanan table routing sudah habis. Semakin banyak terjadinya *broken link* maka semakin besar pula energy yang digunakan untuk melakukan perutean ulang.

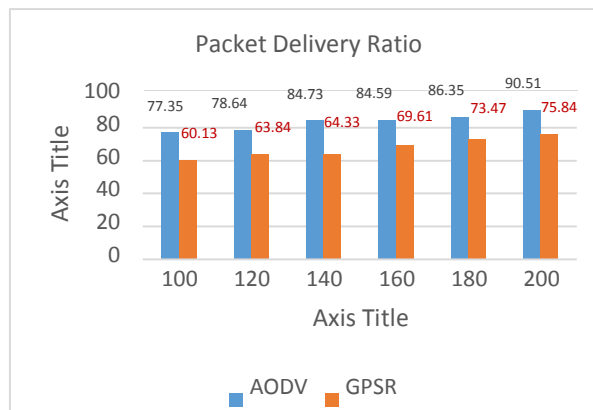


Gambar 4.7: Grafik rata-rata konsumsi energi berdasarkan durasi simulasi pada skenario 2

4.2.4 Packet Delivery Ratio

Pada gambar 4.8 dilihat bahwa nilai packet delivery ratio dari kedua buah routing protocol pada skenario 2 selalu meningkat sesuai lamanya durasi simulasi. Hal ini menunjukkan lamanya durasi simulasi sangat mempengaruhi kinerja kedua buah routing protocol tersebut. Dari data yang diambil pada simulasi, kinerja routing protocol AODV lebih baik dalam hal rasio paket yang berhasil dikirim bila dibandingkan dengan protocol routing GPSR.

Nilai PDR tersebut berubah – ubah walaupun tidak ada mobilitas pada node. Hal ini disebabkan waktu yang dimiliki oleh table routing untuk menyimpan data pada kedua buah routing protocol tersebut. Pada GPSR, algoritma greedy yang agresif membuat adanya paket yang tidak terkirim ketika dilakukannya perutean pada saat waktu penyimpanan pada table routing sudah habis. Demikian pula pada AODV, namun pada algoritma AODV terdapat mode RERR yang ketika terjadinya *broken link* maka AODV mengambil cache yang tersimpan pada router untuk mengambil jalur tercepat lainnya, hal ini mengakibatkan ratio perbandingan paket yang berhasil terkirim lebih besar dibandingkan dengan GPSR.



Gambar 4.8: Grafik nilai rata-rata PDR berdasarkan durasi simulasi pada skenario 2

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil simulasi dengan skenario perubahan jumlah node pada posisi PAN coordinator 150x dan 150y dan pada skenario penambahan durasi simulasi, didapat kesimpulan bahwa:

1. AODV memiliki performansi yang lebih baik pada skenario posisi PAN coordinator di 150x 150y dan pada skenario penambahan durasi simulasi bila dibandingkan dengan protocol routing GPSR dilihat dari 3 parameter *throughput*, *delay*, dan *packet delivery ratio*
2. *Delay* kedua buah routing rotocol tidak begitu berubah secara signifikan, hal ini dikarenakan pada skenario jaringan sensor nirkabel yang dijalankan ini merupakan skenario simulasi untuk monitoring lahan pertanian yakni tidak adanya pergerakan dari seluruh node sensor (diam).
3. Pada parameter *energy consumption*, routing protocol GPSR memiliki performansi yang lebih baik bila dibandingkan dengan protocol routing AODV. Dapat dilihat bahwa nilai konsumsi energy GPSR pada skenario penambahan jumlah node dan skenario penambahan durasi simulasi. Besarannya energy yang dikonsumsi kisaran 2.47 – 2.59 joule. Namun pada protocol routing AODV besaran energy yang di konsumsi sebesar 4.91 -5.27 joule dan pada skenario penambahan durasi simulasi besaran konsumsi energy GPSR 2.59 – 5.18 joule sedangkan pada AODV 4.99 – 8.41. Hal ini disebabkan protocol routing GPSR memiliki sifat greedy forwarding yang membuat protocol routing ini lebih hemat dalam mengkonsumsi energi pada WSN.
4. Secara keseluruhan, AODV lebih direkomendasikan pada kedua skenario WSN yang diujikan dengan mengambil kasus lahan pertanian, karena alasan yang sudah dijelaskan pada point 1, walaupun konsumsi energy pada GPSR lebih kecil dibandingkan AODV akan tetapi begitu kecilnya *throughput* GPSR sehingga data yang didapat tidak begitu akurat bila dibandingkan dengan AODV.

Beberapa saran dari penulis berdasarkan hasil dan analisis simulasi pada Tugas Akhir ini yang dapat digunakan untuk pengembangan Tugas Akhir ini ke depannya adalah:

1. Perlu dianalisa lebih lanjut mengenai penggunaan perangkat Zigbee sebagai low-rate WPAN 802.15.4 pada kondisi sesungguhnya dengan perangkat yang sesuai.
2. Perlu dianalisa lebih lanjut mengenai pengaruh hambatan jaringan.
3. Perlu dianalisa lebih lanjut ketika jumlah *node* lebih banyak lagi.
4. Perlu dianalisa lebih lanjut mengenai keamanan jaringan .
5. Perlu dianalisa lebih lanjut dengan membandingkan protokol routing yang lain.

Daftar Pustaka:

- [1] Waltenegus Dargie and Christian Poellabauer, *Fundamental of Wireless Sensor Networks*, Wiley & Sons, 2010. pp 5
- [2] Dekivadiya, Darpan., & Vadharia, Vivek. 2012. *Performance Analysis of Routing Protocols of Wireless Sensor Networks*. Ahmedabad : Nirma University
- [3] Al-Karaki, J. N., & Kamal, A. E. *Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey*. Iowa: Iowa State University.
- [4] Singh S., Woo M., Raghavendra C.S. *Power-aware routing in mobile ad-hoc networks*. Proceedings of the 4th IEEE/ ACM International Conference on Mobile Computing and Networking; Dallas, TX, USA. 1998. pp. 181–190

- [5] Karp, B. and Kung, H. T. "GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks". In Proceedings of the 6th Annual international Conference on Mobile Computing and Networking (Boston, Massachusetts, United States, August 06 - 11, 2000). MobiCom '00. ACM, New York, NY, pp. 243-254.
- [6] Devika, R., Santhi, B., Sivasubramanian, T. 2013. *Survey on Routing Protocol in Wireless Sensor Network*. India: Sastra University.
- [7] Maghsoudlou, A., St-Hilaire, M., Kunz, T. 2011. *A Survey on Geographic Routing Protocols for Mobile Ad hoc Networks*. Canada : Carleton University.
- [8] Nouh, S., & Geta, Z. 2011. *Energy Aware GPSR Routing Protocol in A Wireless Sensor Network*. Addis Ababa: Addis Ababa University.
- [9] *Wireless Sensor Networks: Principles and Applications*, Available: <http://microstrain.com/white/wilson-chapter-22.pdf> Diakses pada 8 April 2014
- [10] Yusuf, Firas. (2014). *ZigBee wireless network for collection of physical data*. Masaryk University Faculty of Informatics. Brno.
- [11] Network Simulator Homepage. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Diakses tanggal 8 April 2014
- [12] Sharma, Kalpana., Rathor, Anurag S., Biradar, R., Ghose M.K. 2010. *Power-efficient Routing & Increased Yield Approached for WSNs*. In Proceedings of International Journal on Computer Science and Engineering Vol.2, No.03, 2010.
- [13] Xu, Ya. Heidemann. Jhon. Estri, Deborah. *Geography-informed Energy Conservation for Ad Hoc Routing*. In Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference 2001.
- [14] T. P.Lambrou and C. G. Pamayiotou, *Collaborative Area Monitoring Using Wireless Sensor Networks with Stationary and Mobile Nodes*, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Cyprus, Cyprus, Vol. 2009, Mar. 2009
- [15] Stevanovic, Dusan & Natalija Vljajic. 2008. *Performance Of IEEE 802.15.4 in Wireless Sensor Nirkabel With A Mobile Sink Implementing Various Mobility Strategies*. Helington: York University
- [16] Kouba, Annis. 2009. *Engineering IEEE 802.15.4/ZigBee Wireless Sensor networks Lecture 12*. Makalah disajikan dalam seminar The First International School on Cyber-Physical and Sensor Networks Monastir, Tunisia, December 17-21, 2009
- [17] Leif Millar., David Jackson., and Chase Casgrain. 2013. *Low-power Networking Protocol*. EECS University Of Michigan.
- [18] Tokogami. T., Yamamoto K., Ito R., Hashimoto A. & Kamenoka T. (2011). *A Wireless Sensor Network for Precise Soil Water Management in an Orchard*. Japan.
- [19] Qabajeh L.K., Kiah L.M., dan Qabajeh M.M. "A Qualitative Comparison of Position-Based Routing Protocols for Ad-Hoc Networks". IJCSNS. 2009
- [20] Anonim. *Project - Building a Zigbee Multi-hop Wireless Network with AODV Routing*. Diakses pada 3 April 2015 dari http://www.powershow.com/view/22c08-MjMzN/Project_Building_a_Zigbee_Multihop_Wireless_Network_with_AODV_routing_protocol_powerpoint_ppt_presentation
- [21] C. Perkins., Belding Royer., and S. Das. 2003. *Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing*. RFC3561.