

Aspek Penerapan Wireless Sensor Network Untuk Mendeteksi Pencemaran Udara Akibat Kabut Asap Kebakaran Hutan

Natanael Firnandus M*, Indra Yasri**

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: naelfm12@yahoo.com

ABSTRACT

Air pollution effect of the forest fire become one of important issues in Indonesia. Air pollution can be bad for impact community which able to eliminate the visibility when driving and also become worse for person who having respiratory problem. Therefore is needed an accurate and real-time system for monitoring the level of air pollution base on WSN. This work purposes sensor placement survey to achieve efficiency on routing protocol. The survey will focus on directed diffusion and cluster directed diffusion protocol. The reason to select this two routing protocol base on their performance indicator which cover average delay, total energy and lowest life node. All process of design will perform through Java Simulator.

Keywords : *Sensor Placement, Wireless Sensor Network, Directed Diffusion, Clustering, Average Delay, Efficiency Energy, Lowest Life Node.*

1. PENDAHULUAN

Fungsi hutan sangat penting bagi kehidupan dimuka bumi ini, termasuk untuk manusia yang ada didalamnya. Hutan berfungsi sebagai paru-paru dunia, habitat flora dan fauna, pengendali bencana banjir serta longsor dan masih banyak lagi fungsi hutan bagi makhluk hidup. Maka sudah sepatutnya kita menjaga dan melestarikan hutan tersebut agar tetap lestari sepanjang zaman.

Tetapi meski pun demikian masih saja ada pihak-pihak yang lalai dan tidak peduli dengan kelestarian hutan.

Demi membuka lahan untuk perkebunan pihak-pihak tersebut memilih cara yang singkat dan lebih hemat daripada menebang pohon yaitu dengan membakar hutan. Dan akibat kurangnya pengawasan mengakibatkan kebakaran hutan dan lahan menjadi sangat luas. Maka terjadilah pencemaran kabut asap.

Oleh karena itu pengamatan terhadap penurunan kualitas udara tersebut penting untuk dilakukan. Dengan semakin canggihnya perkembangan teknologi maka untuk mengukur tingkat pencemaran udara pun semakin mudah dan efisien. Untuk mengetahui kualitas udara di suatu wilayah secara online maka perlu dibangun suatu sistem monitoring kualitas udara. Di sini akan dijelaskan suatu rancang bangun sistem monitoring kualitas udara menggunakan teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN).

Wireless Sensor Network (WSN) adalah suatu infrastruktur jaringan *wireless* yang menggunakan sensor untuk memonitor fisik atau kondisi lingkungan sekitar, seperti suhu, suara, getaran, gelombang elektromagnetik, tekanan, gerakan, dan lain-lain. Masing-masing *node* dalam jaringan sensor nirkabel biasanya dilengkapi dengan radio *transceiver* atau alat komunikasi *wireless* lainnya, mikrokontroler dan sumber energi.

Pada WSN, *node* sensor disebar dengan tujuan untuk menangkap adanya gejala atau fenomena yang hendak diteliti. Jumlah *node* yang disebar dapat ditentukan sesuai kebutuhan dan tergantung beberapa faktor misalnya luas area, kemampuan *sensing node*, dan sebagainya. Tiap *node* memiliki kemampuan untuk mengumpulkan data dan meroutingkannya kembali ke *Base Station*. *Node* sensor dapat mengumpulkan data dalam jumlah yang besar dari gejala yang timbul dari lingkungan sekitar. Dewasa ini perkembangan *node* sensor mengikuti trend teknologi nano, dimana ukuran *node* sensor menjadi semakin kecil dari tahun ke tahun.

Node sensor yang berukuran kecil disebar dalam di suatu area sensor. *Node* sensor tersebut memiliki kemampuan untuk merutekan data yang dikumpulkan ke *node* lain yang berdekatan. Data dikirimkan melalui transmisi radio akan diteruskan menuju BS (*Base Station*) yang merupakan penghubung antara *node* sensor dan *user*. Informasi tersebut dapat diakses melalui berbagai *platform* seperti koneksi internet atau satelit sehingga memungkinkan *user* untuk dapat mengakses secara real time melalui remote server.

Komponen Hardware Pada Sensor WSN terbagi atas 5 bagian, yaitu:

1. *Transceiver*

Transceiver ini berfungsi untuk menerima / mengirim data dengan menggunakan protokol IEEE 802.15.4 atau IEEE 802.11b kepada *device* lain seperti *concentrator*, modem *Wifi*, dan modem RF.

2. *Mikrokontroler*

Mikrokontroler ini berfungsi untuk melakukan fungsi perhitungan, mengontrol dan memproses *device* yang terhubung dengan *mikrokontroler*.

3. *Power Source*

Power Source ini berfungsi sebagai sumber energi bagi sistem *wireless sensor* secara keseluruhan.

4. *External Memory*

External Memory ini berfungsi sebagai tambahan memory bagi sistem *wireless sensor*,

pada dasarnya sebuah unit *mikrokontroler* memiliki unit memori sendiri.

5. Sensor

Sensor berfungsi untuk men-sensing besaran-besaran fisis yang hendak diukur. Sensor adalah suatu alat yang mampu untuk mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lain, dalam hal ini adalah mengubah dari energi besaran yang diukur menjadi energi listrik.

2. Parameter Sensor

2.1 Spesifikasi Sensor

Ada beberapa sensor yang bisa digunakan untuk mendeteksi asap akibat kebakaran hutan, yaitu sensor suhu, sensor asap dan sensor gas.

Sensor suhu digunakan untuk merubah besaran panas menjadi besaran listrik yang dapat dengan mudah dianalisis besarnya. Sensor ini dapat mendeteksi gejala perubahan temperature suhu pada suatu dimensi atau ruang tertentu. Sensor suhu ini berguna untuk mendeteksi adanya di dalam kawasan hutan terlalu panas, dan terdeteksi adanya suhu panas akibat api.



Gambar 2.1 Sensor Suhu LM35

Sensor gas adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur senyawa gas polutan yang ada di udara, seperti karbonmonoksida, hidrokarbon, nitrooksida, dan lain-lain. Ada banyak jenis sensor gas tergantung pada senyawa polutan apa yang ingin diukur. Misalnya sensor sensor MQ-7 yang berfungsi untuk mendeteksi kadar gas CO.

Sedangkan sensor asap biasanya terdiri dari *photoelectric* dan *dioda* atau sering disebut *photoelectric smoke detector*. Pada sensor

photoelectric, metode deteksi yang digunakan adalah cahaya. Apabila sensor asap yang ada di dalam detektor kebakaran terhalang oleh adanya asap yang ditimbulkan sekitar area hutan, maka sensor akan segera mendeteksi. Selama sensor belum benar-benar tertutup oleh asap, sensor ini tidak akan mendeteksi. Jika sensor mendeteksi adanya asap yang pekat maka sensor akan memberikan peringatan berupa bunyi atau alarm.

Salah satu jenis sensor asap diantaranya adalah sensor **Asap ICNE555**. Jika sensor tersebut mendeteksi keberadaan asap diudara dengan tingkat konsentrasi tertentu, maka sensor akan menganggap terdapat asap di udara. Ketika sensor mendeteksi keberadaan asap maka resistansi elektrik sensor akan turun.

2.3 Standar IEEE 802.15.4

Dalam pengoperasiannya *wireless sensor* menggunakan standar komunikasi *wireless* yaitu IEEE 802.15.4. Protokol IEEE 802.15.4 ini merupakan salah satu macam dari protokol-protokol pada WPAN (*Wireless Personal Area Networks*). Protokol IEEE 802.15.4 ini merupakan standar untuk gelombang radio (RF). Protokol ini bekerja pada *data rate* yang rendah agar baterai bisa tahan lama. Suatu *device* yang menggunakan protokol ini, dapat terkoneksi dengan baik dengan *data rate* maksimal 250 Kbit/s dengan alat lainnya. .

Tabel 2.1 Band Frekuensi Standar IEEE 802.15.4

Frequency Range	Data Rate	Geographical Area
868-868.8 MHz	20 kbps	Eropa
902-928 MHz	40 kbps	Amerika Utara
2400-2483.5	250 kbps	Daerah Lain di Seluruh Dunia

Dari tabel diatas maka dapat ditentukan frekuensi dan data rate yang cocok untuk wilayah Indonesia. Pada penelitian ini menggunakan frekuensi 2,4 GHz dan *data rate* 250 kbps.

Adapun beberapa parameter yang akan dipakai dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Parameter Yang Digunakan

Parameter	Nilai
Metode / Protokol	Directed Diffusion Directed Diffusion berbasis Cluster
Waktu Simulasi	1800 detik
Jumlah Node	20, 30, dan 40
Luas Area	500m*200m
Simulator	J-Sim 1.3

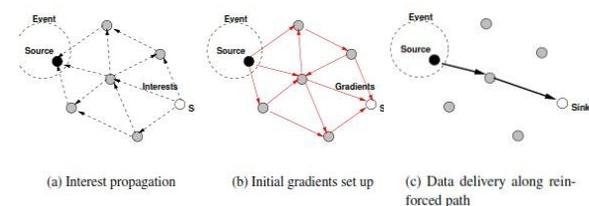
3. Metodologi Penelitian

Routing protokol yang digunakan

3.1 Protokol Directed Diffusion

Pada penelitian ini akan menggunakan protokol *directed diffusion* (DD) dan *directed diffusion* berbasis *Cluster* (DD Cluster). DD adalah metode *routing* untuk mengumpulkan data dengan cara *sink node* mencari sumber data dengan mengirimkan paket tujuan dan menemukan rute terbaik untuk menerima data (Intanagonwiwat dkk, 2003).

Directed diffusion terdiri dari beberapa elemen: *Interests*, pesan data, *gradient* dan *reinforcements*. **Gambar 3.1** menunjukkan elemen dan skema dari *directed diffusion*



Gambar 3.1 Skema Sederhana Dari *Directed Diffusion*

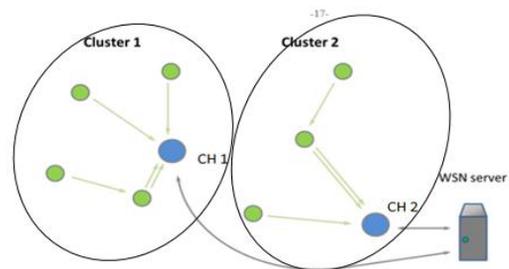
(Intanagonwiwat et al., 2003)

- A. Pesan *interest* yaitu spesifik dari paket yang diinginkan. Setiap permintaan diberi detail mengenai tugas penginderaan.
- B. Pesan data berisi segala informasi mengenai hasil dari penginderaan pada fenomena fisik.
- C. *Gradient* memiliki arti arah yang dibuat di setiap node yang menerima permintaan. *Gradient* arah diatur ke node tetangga dari mana permintaan tersebut diterima. Paket data mulai mengalir ke arah asal permintaan bersamaan beberapa dengan jalur *gradient*.
- D. *Reinforcements* adalah satu atau sekumpulan kecil jalur yang diperkuat *sink node* untuk menarik data informasi dengan mengikuti kembali arah awal *interest* sepanjang jalur *gradient*.

3.2 Clustering Wireless Sensor Network

Protokol *directed diffusion* mempunyai kelemahan sehingga dibutuhkan solusi yang lebih efisien. Maka digunakanlah metode *clustering* untuk mendukung protokol *directed diffusion*. *Clustering* adalah suatu metode mengelompokkan berdasarkan kedekatan jarak dan kemiripan dari suatu karakteristik sampel yang ada.

Pada setiap kelompok area akan ditentukan pemimpin kelompok atau sering disebut *cluster head* (CH). Pada Protokol *directed diffusion*, *cluster head* berperan sebagai *sink* untuk menyebarkan pesan permintaan dan juga mengumpulkan data. (Mamalis et al.,2009)

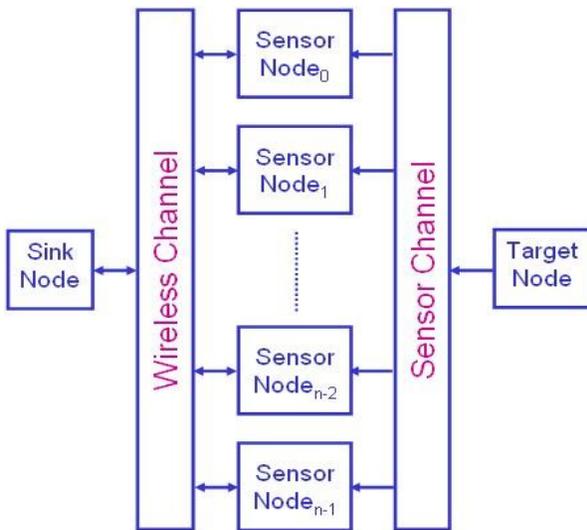


Gambar 3.2 Contoh *Cluster* Sederhana.

3.3 J-Sim

Java *Simulator* (JSim) adalah *software* yang khusus melakukan simulasi dan dibentuk pada arsitektur berbasis komponen, yaitu arsitektur komponen otonom (ACA). Komponen dalam Java *Simulator* memiliki sifat otonom dan merupakan realisasi dari sebuah *Integrated Circuit* (IC). Komponen Java dapat didesain secara individual, dieksekusi, diuji, dan dengan cara bertahap digunakan pada sistem perangkat lunak. Java *Simulator* telah dikembangkan sepenuhnya dan ditambah lagi dengan arsitektur komponen otonom (ACA), sehingga *software* Java *Simulator* memiliki *platform* yang netral, *extensible*, dan dapat digunakan kembali. Java *Simulator* juga menyediakan *script* penghubung untuk memungkinkan integrasi dengan bahasa *script* yang berbeda seperti *Perl*, *Tcl*, atau *Python*. Java *Simulator* terintegrasi dengan implementasi Java dari *Tcl interpreter* (dengan *ekstensi Tcl / Java*), yang disebut *Jacl*. (Sobeih & Hou, 2003)

Software Java *Simulator* jauh lebih akurat dari ns-2 (dengan penekanan pada penggunaan memori). Java *Simulator* juga merupakan *simulator* dua bahasa seperti ns-2 (Java *Simulator* menggunakan Java dan *Tcl*, sementara ns-2 menggunakan C ++ dan *Tcl*), metode / bidang di Java tidak perlu secara eksplisit diekspor untuk diakses dalam Lingkungan *tcl*. (Paulo A.C.S Neves et al., 2008)



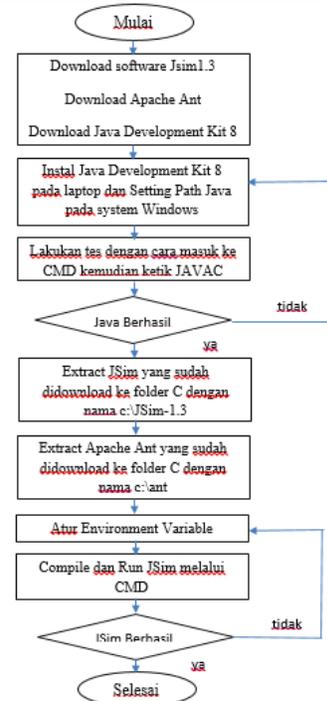
Gambar 3.3. J-Sim Simulation Model For WSNs

Untuk melakukan simulasi dan analisa tahapan perancangan pada penelitian ini, akan menggunakan Java Simulator versi 1.3 agar didapat jumlah *node* yang efisien, sehingga kelemahan dari protokol *directed diffusion* dapat ditutupi dengan mengusulkan penggunaan *routing directed diffusion* berbasis *cluster*.

Adapun Alat dan Bahan yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini antara lain:

1. Laptop Toshiba Satellite L745
2. Java
3. J-Sim 1.3
4. Patch *directed diffusion*

Penelitian menggunakan software Java Simulator versi 1.3. Berikut adalah cara menginstal Java Simulator dan dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 Diagram Alir Instalasi JSim

Dari **Gambar 3.1** dapat dilihat cara menginstal J-SIM 1.3 yang digunakan sebagai *simulator* pada penelitian ini. Setelah J-Sim 1.3 terinstal untuk menganalisa *directed diffusion* berbasis *cluster* pada WSN, tambahkan *patch directed diffusion* pada J-Sim 1.3. Cara memasang Patch Directed Diffusion adalah dengan memindahkan folder Patch Directed Diffusion ke folder C tempat instalasi software Java Simulator dan langsung ditindih sehingga data-data dalam Patch Directed Diffusion menggantikan data-data lama dalam folder instalasi software Java Simulator.

4. Strategi Pelaksanaan WSN

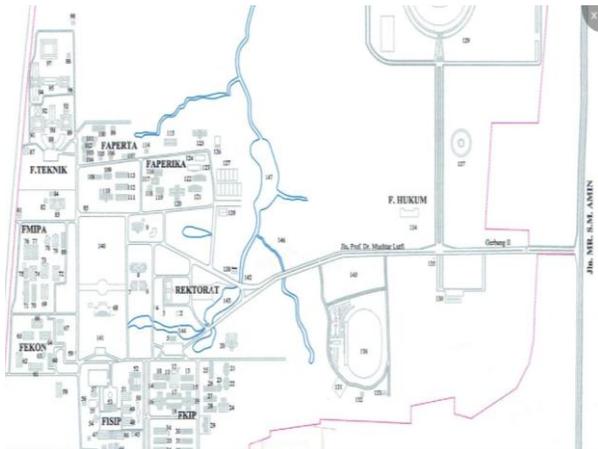
4.1 Peta Lokasi Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada kawasan Fakultas Teknik Universitas Riau. Peneliti menetapkan luas kawasan yang akan dijadikan sampel penelitian adalah 500 m x 200 m. Berikut adalah peta Fakultas Teknik Universitas Riau yang diambil dari Google Earth Pro.



Gambar 4.1 Peta Fakultas Teknik Universitas Riau (Google Earth Pro)

Berikut adalah peta yang diambil dari Publikasi *Engineering Service Unit* Universitas Riau.



Gambar 4.2 Peta Fakultas Teknik Universitas Riau (ESU UR)

4.2 Asumsi Mengenai Batas Antara Sehat Dan Tidak Sehat Pada Kadar Pencemaran Udara.

Udara yang tercemar memberikan dampak yang sangat buruk pada kesehatan masyarakat. Karena itu perlu untuk diketahui batas antara keadaan sehat dan tidak sehat pada kadar udara yang tercemar. Hal itu dapat dilihat pada Indeks Standar Pencemar Udara.

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) adalah laporan kualitas udara kepada masyarakat untuk menerangkan seberapa bersih

atau tercemarnya kualitas udara kita dan bagaimana dampaknya terhadap kesehatan kita setelah menghirup udara tersebut selama beberapa jam atau hari.

ISPU ditetapkan berdasarkan 5 pencemar utama yaitu karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), nitrogen dioksida (NO₂), ozon permukaan (O₃) dan partikel debu (PM₁₀).

Di Indonesia ISPU diatur berdasarkan Keputusan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) Nomor KEP-107/Kabapedal/11/1997. Berikut adalah tabel Indeks Standar Pencemar Udara.

Tabel 4.1 Indeks Standar Pencemar Udara

ISPU	Pencemaran Udara Level	Dampak kesehatan
0 - 50	Baik	Tidak memberikan dampak bagi kesehatan manusia atau hewan.
51 - 100	Sedang	Tidak berpengaruh pada kesehatan manusia ataupun hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang peka.
101 - 199	Tidak Sehat	Bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang peka atau dapat menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika.
200 - 299	Sangat Tidak Sehat	Kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
300 - 500	Berbahaya	Kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi (misalnya iritasi mata, batuk, dahak dan sakit tenggorokan).

Pada penelitian ini, parameter sensor diasumsikan bekerja pada range ISPU 101 atau dibatas antara level pencemaran udara sedang dan tidak sehat. Pada saat range ISPU mencapai 101, maka sensor node akan bereaksi dan melakukan penginderaan. Setelah dipastikan berada pada level pencemaran tidak sehat, maka sink node akan mengambil dan menerima data tersebut dari sensor node.

5. Aspek Penerapan

5.1 Asumsi Cara Kerja Sensor yang digunakan

Beberapa sensor yang bisa digunakan untuk mendeteksi asap akibat kebakaran hutan, yaitu sensor suhu, sensor asap, sensor api dan sensor gas.

Sensor suhu digunakan untuk merubah besaran panas menjadi besaran listrik yang dapat dengan mudah dianalisis besarnya. Sensor ini dapat mendeteksi gejala perubahan temperatur suhu pada suatu dimensi atau ruang tertentu. Sensor suhu ini berguna untuk mendeteksi adanya di dalam kawasan hutan terlalu panas, dan terdeteksi adanya suhu panas akibat api.

Sensor Api (*Uvtron Flame Detector*) digunakan untuk mendeteksi keberadaan api yang mengindikasikan adanya kebakaran. Sensor hanya mendeteksi keberadaan api, tapi tidak mampu mendeteksi besar kecilnya api.

Sensor gas adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur senyawa gas polutan yang ada di udara, seperti karbonmonoksida, hidrokarbon, nitrooksida, dan lain-lain. Ada banyak jenis sensor gas tergantung pada senyawa polutan apa yang ingin diukur. Misalnya sensor sensor MQ-7 yang berfungsi untuk mendeteksi kadar gas CO.

Pada dasarnya prinsip kerja dari sensor tersebut adalah mendeteksi keberadaan gas-gas yang dianggap mewakili asap. Sensor gas tertentu harus mempunyai tingkat sensitifitas yang tinggi terhadap jenis gas tersebut. Jika sensor tersebut mendeteksi keberadaan gas-gas tersebut diudara dengan tingkat konsentrasi tertentu, maka sensor akan bereaksi. Ketika sensor mendeteksi keberadaan gas-gas tersebut, maka resistansi elektrik sensor akan turun. Sensor ini dapat mendeteksi secara akurat gas dengan merasakan unsur yang terkena untuk satu sisi suatu keramik *substrate*. Didalamnya mempunyai sejumlah suatu penyerap keramik untuk perlindungan melawan terhadap debu atau

gas yang tidak diketahui. Sehingga sensor gas hanya bisa mendeteksi gas-gas tertentu saja.

Sedangkan sensor asap biasanya terdiri dari *photoelectric* dan *dioda* atau sering disebut *photoelectric smoke detector*.

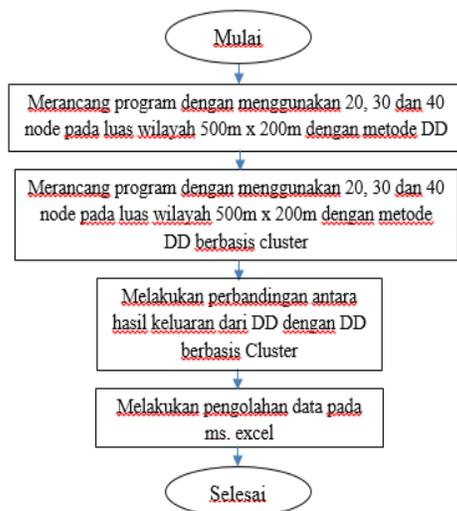
Pada sensor *photoelectric*, metode deteksi yang digunakan adalah cahaya. Apabila sensor asap yang ada di dalam detektor kebakaran terhalang oleh adanya asap yang ditimbulkan sekitar area hutan, maka sensor akan segera mendeteksi. Selama sensor belum benar-benar tertutup oleh asap, sensor ini tidak akan mendeteksi. Jika sensor mendeteksi adanya asap yang pekat maka sensor akan memberikan peringatan berupa bunyi atau alarm.

5.2 Aspek Penerapan Pada Penelitian

Dalam penelitian ini ada beberapa tahap yang akan dilakukan, yaitu langkah pertama yaitu dengan memakai metode *routing directed diffusion* pada luas area dan jumlah node yang telah ditentukan agar didapatkan hasil yang efisien.

Dan langkah kedua adalah menggunakan metode *routing directed diffusion* yang berbasis *cluster* dengan sampel yang sama dengan langkah pertama.

Terakhir pada langkah ketiga adalah membandingkan metode *routing directed diffusion* dengan metode *routing directed diffusion* yang berbasis *cluster* untuk mendapatkan metode *routing* yang terbaik. Lebih jelasnya mengenai langkah - langkah pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar diagram alir dibawah ini.



Gambar 5.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian

Berikut penjelasan lebih detail dari diagram alir tahapan penelitian diatas.

Langkah pertama yaitu merancang sebuah program memakai metode konvensional menggunakan protokol *routing directed diffusion*. Dalam langkah ini penulis akan merancang sebuah program menggunakan protokol *routing directed diffusion* dengan jumlah *node* bervariasi yaitu 20 *node*, 30 *node* dan 40 *node* pada luas wilayah Fakultas Teknik Universitas Riau yaitu 500m x 200m sesuai dengan batasan masalah pada penelitian. Untuk *sink node* diposisikan pada $x=250$ dan $y=100$ atau pada posisi tengah dari luas wilayah dan untuk *sensor node* dan *target node* akan diletakkan secara random. Waktu untuk melakukan simulasi ini diatur pada 1800 detik.

Kemudian pada langkah kedua yaitu memakai metode *cluster* dengan menggunakan protokol *routing directed diffusion* berbasis *cluster*. langkah ini sama seperti langkah pertama, bedanya hanya pada metode/protokol yang digunakan.

Pada langkah terakhir yaitu melakukan komparasi antara hasil *output* dari metode konvensional menggunakan protokol *routing directed diffusion* dengan metode *cluster* menggunakan protokol *routing directed diffusion* berbasis *cluster*. Dari langkah ini akan diketahui metode protokol *routing* yang terbaik

berdasarkan hasil analisa tersebut dengan mempertimbangkan efisiensi energi.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa protokol *routing directed diffusion* berbasis *cluster* lebih baik daripada protokol *routing directed diffusion*. Dapat dilihat dari persentase rata-rata *delay*, total energi yang digunakan dan *lowest life node*. Rata-rata *delay* protokol *directed diffusion* berbasis *cluster* jauh lebih rendah dibandingkan *directed diffusion*, ini berarti pengiriman informasi atau data ke *sink node* hanya membutuhkan waktu yang cukup singkat sehingga berdampak terhadap total energi yang digunakan juga bisa lebih hemat. Begitu juga dengan *lowest life node* atau *life node* terlemah. Penambahan jumlah *node* dari 20 *node* menjadi 40 *node*, *life node* terlemah pada protokol *directed diffusion* terjadi penurunan. Sedangkan pada protokol *directed diffusion* berbasis *cluster* terjadi kenaikan sehingga menghasilkan waktu yang cukup lama.

6.2 Saran

Diharapkan dapat melakukan perbandingan dengan protokol *routing* berbasis *cluster* lainnya. Kemudian dapat melakukan perbandingan dengan berbagai aplikasi *simulator* lainnya,. Terakhir diharapkan dapat membuat penerapan *wireless sensor network* pada area yang sering terdapat *hot spot* atau titik api.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Dr. Indra Yasri, ST., MT selaku pembimbing yang telah mengarahkan dan membimbing penulis selama penelitian ini. Terima kasih kepada orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dan motivasi selama ini. Terima kasih kepada para sahabat dan rekan-rekan Teknik Elektro FT UR yang

telah banyak membantu penulis dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Iwan Muhammad E, Bambang Sugiarto, Indra Sakti, November 2009 Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Teknologi Wireless Sensor Network (WSN).
- Hafiizh Ashshiddiqi Prabowo Jati, Danang Lelono, Oktober 2013 Deteksi dan Monitoring Polusi Udara Berbasis Array Sensor Gas.
- Maribun Sibarani, pada tahun 2008 Implementasi Wireless Sensor Network berbasis (Internet Protocol) IP Untuk Pemantauan Tingkat Polusi Udara.
- Yulfiani Fikri, Sumardi dan Budi Setiyono sistem monitoring kualitas udara berbasis mikrokontroler ATMEGA 8535 dengan komunikasi protokol TCP/IP.
- Paulo A.C.S. Neves, Iuri D. C. Veiga, Joel J. P. C. Rodrigues, 2008. *G-JSim- A GUI Tool For Wireless Sensor Networks Simulations Under J-Sim*.
- Intanagonwiwat, C., Govindan, R., Estrin, D., Heidemann, J., & Silva, F. (2003). Directed diffusion for wireless sensor networking.
- Handziski, V., Köpke, A., Karl, H., Frank, C., & Drytkiewicz, W. (2004). Improving the energy efficiency of directed diffusion using passive clustering.
- Singh, S. K., Singh, M. ., & Singh, D. K. (2010). Routing Protocols in Wireless Sensor Networks - A Survey.
- Mamalis, B., Gavalas, D., Konstantopoulos, C., & Pantziou, G. (2009). Clustering in wireless sensor networks. *RFID and Sensor Networks: Architectures, Protocols, Security and Integrations*, Y. Zhang, LT Yang, J. Chen, Eds, 324–353.
- Sobeih, A., & Hou, J. C. (2003). A simulation framework for sensor networks in J-Sim. *Urbana*, 51, 61801.
- Neha Singh, Prof.Rajeshwar Lal Dua, Vinita Mathur; 2012 , Wireless Sensor Networks: Architecture, Protocols, Simulator Tool.
- Dargahi, F., Rahmani, A., Jabehdari, S., 2008. *Nodes' credit based directed diffusion for wireless sensor networks*. Int. J. Grid Distrib. Comput. 1, 39–48.
- Kabapedal ,2007. Keputusan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) Nomor KEP-107/Kabapedal/11/1997
- Laboratorium Udara Kota Pekanbaru, 2012 Laporan Tahunan Kualitas Udara Ambient Kota Pekanbaru.