

ANALISIS PENGARUH POLA PENYEBARAN NODE PADA JARINGAN SENSOR NIRKABEL

ANALYSIS THE EFFECT OF NODE DEPLOYMENT IN WIRELESS SENSOR NETWORK

Ari Satrio¹, Dr. Ir. Rendy Munadi, M.T.², Ratna Mayasari, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹arisatrio61@gmail.com, ²rendy_munadi@yahoo.co.id, ³ratnamayasari07@yahoo.com

Abstrak

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan infrastruktur jaringan nirkabel yang menggunakan node sensor untuk memonitor fisik atau kondisi lingkungan sekitar dimana salah satu karakteristik WSN yaitu daya power yang terbatas. Salah satu usaha untuk menghemat konsumsi energi adalah dengan menghindari collision (tabrakan data). Salah satu metode untuk menghindari collision yaitu dengan metode control pada node.

Control pada node adalah metode penempatan dan pengaturan jarak antar node dengan memperhatikan posisi node tetangganya. Dengan memperhatikan penempatan pada node maka akan menghindari kemungkinan terjadinya collision dimana salah satu penyebab konsumsi energi yang besar adalah adanya collision. Pada penelitian kali ini penulis akan membandingkan persebaran random, persebaran grid dan persebaran regular hexagonal.

Dari hasil yang dilakukan pada jaringan dengan traffic padat untuk packet delivery ratio regular hexagonal menghasilkan 36.10% dan 15.82% lebih baik dari random dan grid. Untuk throughput, regular hexagonal menghasilkan 37.74% dan 18.37% lebih baik dari random dan grid. Untuk energy consumption, regular hexagonal mengkonsumsi energi 6.42% dan 11.05% lebih kecil dari random dan grid. Pada kondisi traffic normal, untuk packet delivery ratio grid menghasilkan 12.92% dan 26.51% lebih besar dari regular hexagonal dan random. Untuk throughput, grid menghasilkan 12.16% dan 28.21% lebih baik dari regular hexagonal dan random.

Kata kunci : WSN, Persebaran Random, Persebaran Grid, Persebaran Regular Hexagonal.

Abstract

Wireless Sensor Network (WSN) is a wireless network infrastructure that uses sensor nodes to monitor physical or environmental that one of the characteristics of wireless sensor network is limited power. One attempt to save energy consumption is to avoid the collision. One method to avoid the collision is control of nodes.

Control of node is a method of placement and spacing between nodes by observing the position of its neighbor nodes. Having observing the position of neighbor nodes will avoid the possibility of a collision in which one of the causes of more energy consumption is the collision. In the present study the authors will compare random deployment, grid deployment and regular hexagonal deployment.

From the results on WSN with high traffic, for packet delivery ratio regular hexagonal 36.10% and 15.82% is better than random and grid. For throughput, regular hexagonal 37.74% and 18.37% is better than random and grid. For energy consumption, regular hexagonal 6.42% and 11.05% is less than random and grid. In condition normal traffic, for packet delivery ratio grid 12.92% and 26.51% is better than regular hexagonal and random. For throughput, grid 12.16% and 28.21% is better than regular hexagonal and random.

Keywords: WSN, Random Deployment, Grid Deployment, Regular Hexagonal Deployment.

1. Pendahuluan

Saat ini, orang-orang ingin berkomunikasi data/informasi satu sama lain dimana saja dan kapan saja. Tentu saja hal ini tidak dapat dipenuhi oleh teknologi jaringan kabel/wired yang bersifat fixed atau tidak dapat berpindah-pindah. Perkembangan kebutuhan akan konektivitas yang fleksibel dan membutuhkan mobilitas tinggi merupakan pendorong berkembangnya teknologi wireless. Teknologi wireless sudah familiar digunakan di kalangan masyarakat. Salah satu teknologi wireless yang sedang berkembang pesat pengaplikasiannya di berbagai bidang adalah teknologi wireless sensor network[1]. Wireless Sensor Networks dapat terdiri dari ratusan atau bahkan ribuan node yang terpasang secara penuh dalam area geografis yang luas atau secara umum wireless sensor network dapat didefinisikan sebagai sekumpulan node-node sensor terorganisir yang terdapat pada jaringan secara kooperatif yang dapat merasakan dan mengendalikan lingkungan sekitarnya, berinteraksi antar orang atau computer dengan lingkungan sekitarnya[2]. Wireless Sensor Network (WSN) telah menjadi teknologi yang memiliki potensi aplikasi yang luas termasuk dalam monitoring lingkungan, pencarian objek, perkiraan dan pengamatan ilmiah, pengendalian trafik dan lainnya [3]. Kelebihan wireless network inilah yang dimanfaatkan untuk mengendalikan berbagai instrumen, terminal, jaringan lokal, regional tertentu, event tertentu, sistem dengan high- risk (pembangkit listrik, reaktor nuklir, geothermal, dsb); bahkan pengontrolan pada area dengan jarak jangkauan benda angkasa[3]. Wireless Sensor Network dibangun pada suatu jaringan komunikasi data tanpa dibatasi terhadap topologi yang digunakan, tipe data yang berjalan, dan keterbatasan area komunikasi (sepanjang dalam jarak pandang sinyal pancar/terima)[4].

Beberapa karakteristik yang identik dengan WSN adalah daya yang terbatas, kemampuan untuk bertahan pada kondisi dan lingkungan yang tidak mudah dikontrol secara terus menerus, kemampuan untuk mengatasi kesalahan node, mobilitas dari node, topologi jaringan yang dinamis, penyebaran dengan skala besar[5]. Fokus utama dalam WSN adalah bagaimana penggunaan energi seminim mungkin dengan coverage yang luas dan connectivitas yang terjamin[6]. Dengan begitu masalah WSN menjadi sangat kompleks apalagi jika diimplementasikan dengan skala yang besar. Terlebih lagi node yang tidak beraturan dapat mengganggu proses pengiriman data karena terdapat hidden node tanpa kita sadari[7]. Dengan adanya hidden node dapat memperbesar kemungkinan terjadinya collision[8]. Jika terjadi collision maka node akan mentransmit ulang paket yang tidak terkirim[8]. Hal tersebut berakibat pada kebutuhan konsumsi energi yang semakin meningkat[8].

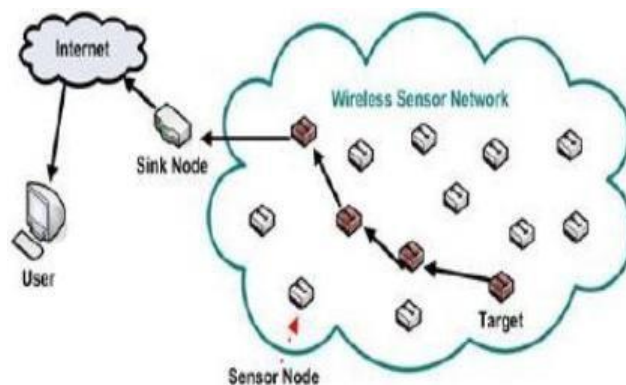
Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan suatu metode control node dengan memperhatikan pola persebaran dan jarak antar node[9]. Dengan metode ini diharapkan masalah coverage, konektivitas dan konsumsi energi yang rendah dapat teratasi[9]. Pada tugas akhir ini akan dilakukan pemodelan persebaran node random, grid, dan Regular Hexagonal dengan membandingkan parameter performansi untuk setiap topologi penyebarannya.

2. Landasan Teori

2.1 Pengertian WSN

Wireless Sensor Network (WSN) adalah suatu infrastruktur jaringan nirkabel 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 sensor jaringan nirkabel biasanya dilengkapi dengan radio transceiver atau alat komunikasi wireless lainnya, mikrokontroler kecil, dan sumber energi biasanya baterai.

Kebanyakan observasi yang dilakukan di lapangan melibatkan banyak faktor dan parameter-parameter untuk mendapatkan hasil yang maksimal dan akurat. Jika peneliti hendak mengambil informasi langsung di lapangan, maka kendalanya adalah dibutuhkan biaya yang besar dan waktu yang lama untuk mendeteksi fenomena yang muncul, sehingga menyebabkan performansi yang tidak efisien dan tidak praktis[10].



Gambar 1 Arsitektur WSN Secara Umum[10]

Dengan adanya teknologi WSN, memungkinkan peneliti untuk mendapat informasi yang dibutuhkan tanpa harus berada di area sensor. Informasi dapat diakses dari jarak jauh melalui gadget seperti laptop, remote control, server dan sebagainya[11].

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, kemampuan jangkauan (radius) node dan sebagainya. Tiap node memiliki kemampuan untuk mengumpulkan data dan merutinkannya menuju ke Base Stasion atau sink node

serta berkomunikasi dengan node lainnya yang diperbolehkan. Node sensor dapat mengumpulkan data dalam jumlah yang besar dari gejala yang timbul dari lingkungan sekitar.

Node sensor yang berukuran sangat kecil disebar dalam jumlah besar di suatu area sensor. Node sensor tersebut memiliki kemampuan untuk saling berkomunikasi dan merutinkan data yang dikumpulkan ke node lain yang berdekatan. Data yang akan dikirim melalui transmisi radio akan diteruskan menuju sink node. Informasi tersebut dapat diakses melalui berbagai platform seperti koneksi internet atau satelit sehingga memungkinkan user untuk dapat mengakses melalui remote server. Perhatikan Gambar 1[10].

2.2 Klasifikasi persebaran node (node deployment)[16]

Pada WSN, tantangan utamanya adalah persebaran node-nodenya dimana diatur agar dapat melakukan sensing secara berkelanjutan dengan memperpanjang masa pakai dan tetap mempertahankan cakupannya wilayahnya secara seragam. Coverage merupakan point yang sangat diperhitungkan. Banyak sedikitnya suatu node tercover sangat mempengaruhi kualitas dari informasi yang dikirimkan. Semakin sedikit suatu node tercover maka akan semakin buruk kualitas informasi yang didapat. Begitupun sebaliknya, semakin banyak suatu node tercover maka akan semakin baik kualitas informasi yang didapat. Coverage sangat tergantung pada jangkauan sensing dan persebaran suatu node. Untuk memenuhi cakupan pada suatu wilayah yang diinginkan yaitu dengan mengatur wilayah batas jangkauan sensing suatu node (k-coverage). Selain itu keuntungan pengaturan persebaran pada node adalah mengurangi redudansi, memperoleh konektivitas dan mengurangi biaya pemeliharaan jaringan serta memperpanjang usia layanan suatu jaringan (energy saving performance). Persebaran node terbagi menjadi 2 yaitu persebaran static dan persebaran dinamis.

2.2.1 Persebaran Static (Static Deployment)[16]

Static Deployment memilih lokasi terbaik berdasarkan strategi optimasi dan lokasi node tidak akan berpindah. Static deployment terbagi menjadi 2 yaitu deterministic deployment dan random deployment. Metode pada deterministic deployment adalah pertama-tama melakukan survey wilayah lalu menempatkan node sesuai perhitungan yang sebelumnya telah dilakukan dengan target yang dicapai adalah coverage dengan node seminim mungkin, karena jika kita berbicara mengenai jumlah node maka kita akan membahas seberapa besar biaya yang dikeluarkan untuk pemeliharaan jaringan tersebut. Semakin banyak node yang terlibat maka semakin mahal biaya pemeliharaannya. Salah satu metode static deployment adalah

1. Grid [17]

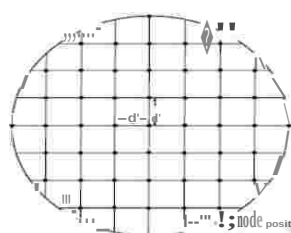
Dimana wilayah dibagi-bagi menjadi grid(kisi). Grid(kisi) terbaik dipilih untuk menempatkan sensor berikutnya. Grid deployment adalah deployment terbaik di WSN, terutama masalah coverage. Pada Square grid, node ditempatkan pada sudut corner. Pada Gambar 2 di bagian tengah tercover oleh 4 sensor node. Pada daerah berwarna abu-abu tercover oleh 2 sensor node dan pada daerah berwarna putih tercover oleh 3 sensor node. Jarak penempatan sensor dirumuskan dengan variable r_{sense} . Dimana

$$r_{sense} = \sqrt{\frac{a^2}{n-1}} \quad (1)$$

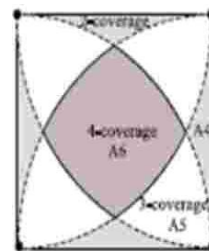
a : panjang field

n : banyaknya sensor

r sense : jarak penempatan sensor



[a]



[b]

Gambar 2 [a] tipe persebaran node grid [b] coverage grid [17]

2. Regular Hexagonal [20]

Regular hexagonal merupakan tipe persebaran node dengan membentuk seperti hexagonal. Dimana setiap titik perpotongan adalah sebuah node. Di dalam wilayah segi enam ada 3 kemungkinan tercover, tercover oleh 2 node, 3 node dan 6 node. Pada Gambar 3, wilayah putih tercover oleh 3 sensor node, abu-abu tercover oleh 2 sensor dan bagian tengah segi enam tercover oleh 6 sensor node. Dari penjelasan tersebut, Regular

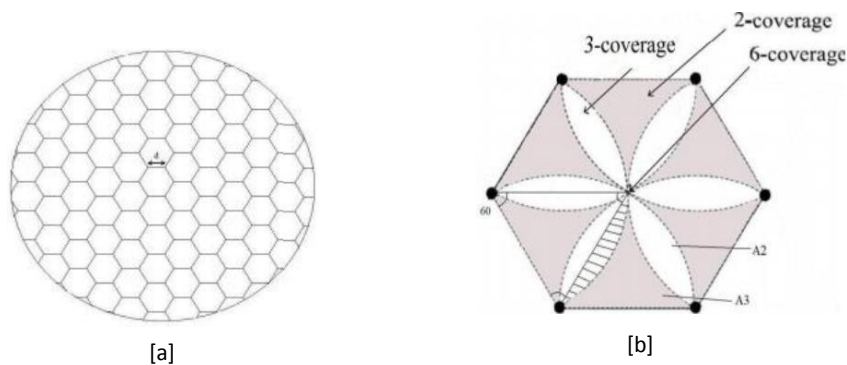
Hexagonal memiliki coverage yang lebih lebar dibandingkan node deployment lainnya. Sedangkan Jarak penempatan sensor dirumuskan dengan variable r_{sense} . Dimana :

$$r = \sqrt{\frac{6r_{sense}^2}{3\sqrt{3}n}} \dots \dots \dots (2)$$

r : jari-jari lintasan field

n : banyaknya sensor

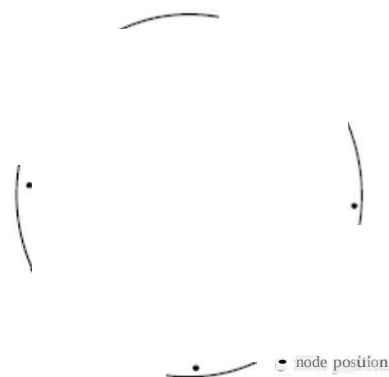
r_{sense} : jarak penempatan sensor



Gambar 3 [a] tipe persebaran node regular hexagonal [b] coverage regular hexagonal [20]

2.2.2 Persebaran Acak (*Random Deployment*)[17]

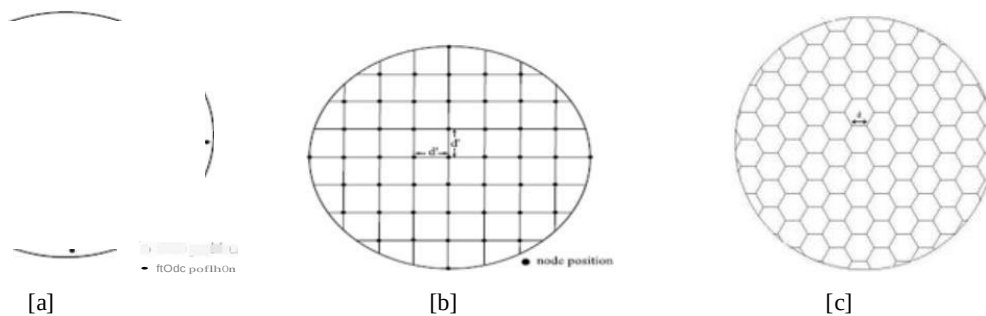
Random Deployment menempatkan *node sensor* secara acak, tanpa memperhitungkan letak antara *node sensor*. *Random deployment* biasanya digunakan pada lingkungan yang bahaya dengan *traffic* yang rendah dan pergerakan objek yang rendah. Contohnya pengawasan gunung merapi, bencana alam, dan lainnya.



Gambar 4 Tipe Persebaran Node Random[17]

3. Pemodelan Jaringan

Desain topologi jaringan yang akan digunakan pada tugas akhir adalah *ad-hoc* dengan node topologi persebaran adalah *random*, *grid* dan *Regular Hexagonal*.



Gambar 5 [a] tipe persebaran random [b] tipe persebaran grid [c] tipe persebaran regular hexagonal

Tabel 1 parameter simulasi

Parameter	Value
Tipe kanal	WirelessChannel
Model Propagasi Radio	twoRayGround
Tipe Interface Jaringan	WirelessPhy
Interface queue	PriQueue
Link Layer	LL
Model Antena	OmniAntena
Maks paket pada IFQ	150
Dimensi ruang simulasi	1000x1000
Protocol routing	AODV
Initial energy	13770
Tipe trafik	CBR
Packet transmitting protocol	UDP
Transmit power	0.0744 watt
Receive power	0.0648 watt
Idle power	0.0000052 watt
packet size	70 bytes
Simulation time	100 second
Number Of Node	49 node
Phy/WirelessPhy set CStHres	100m
Phy/WirelessPhy set CStHres RXThres	100m

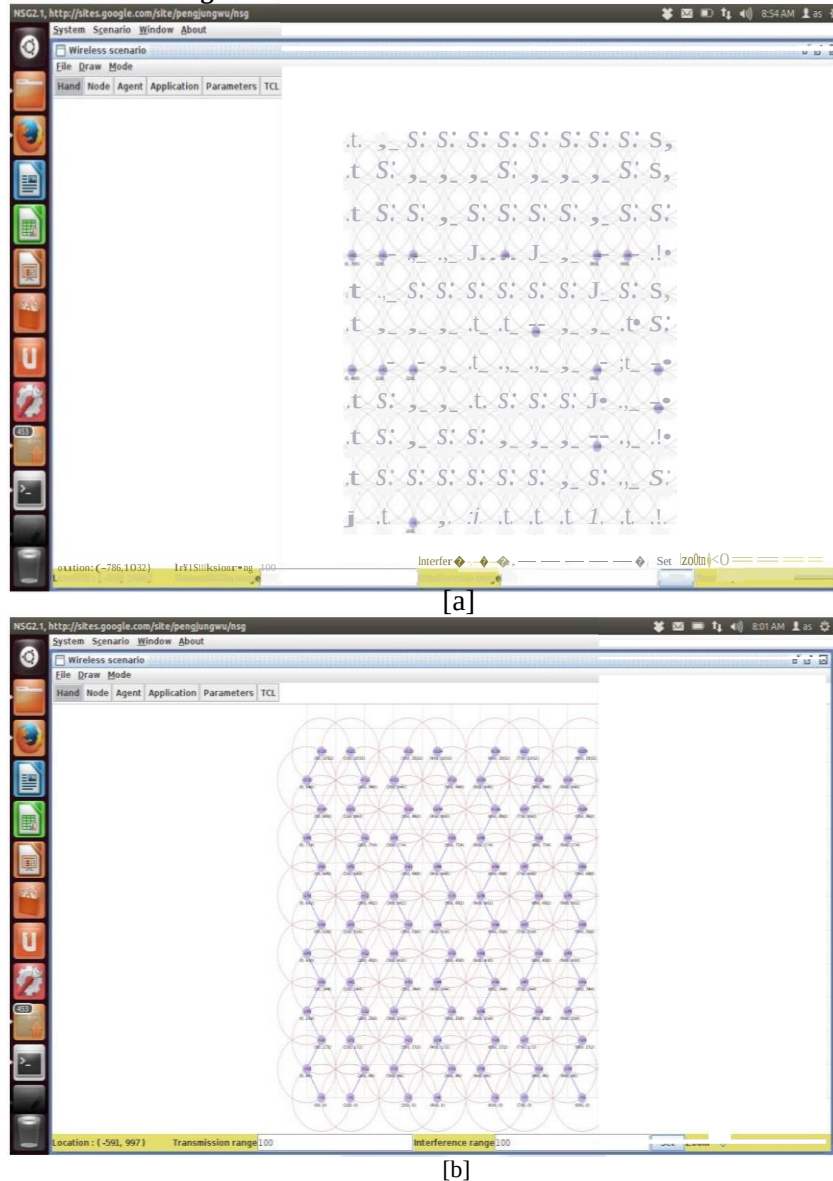
Tabel 1 merupakan parameter simulasi pada jaringan sensor nirkabel untuk setiap skenario. Simulator yang digunakan adalah NS 2.35 dengan membandingkan 3 tipe persebaran node yaitu random, grid dan regular hexagonal.

4. Simulasi dan Analisis

Pada bab ini akan dibahas analisis dari hasil simulasi yang telah dilakukan dengan simulator NS2.35. Analisis yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui performansi metrics dari setiap tipe persebaran node. Pada tugas akhir ini akan dilakukan beberapa skenario yaitu :

1. Pencarian jumlah node efektif untuk mengcover field 1000 meter x 1000 meter dengan 2 jenis tipe persebaran node yaitu grid dan regular hexagonal.
2. Pengujian kepadatan trafik dengan mengaktifkan sejumlah node dan mengirimkan data secara bersamaan. Jumlah node yang diaktifkan yaitu 10 node, 20 node, 30 node dan 48 node.

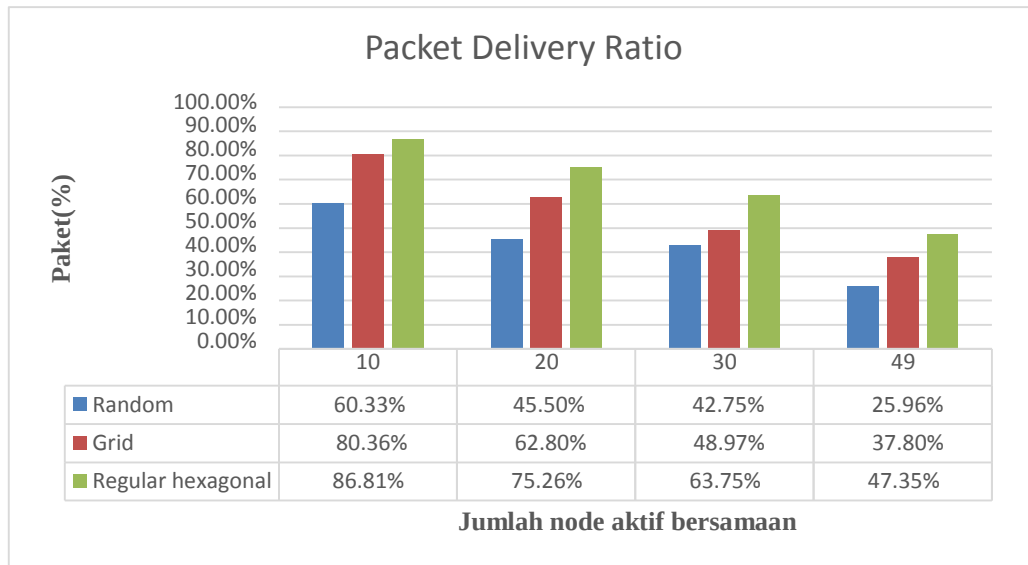
4.1. Jumlah node untuk mengcover 1000 meter x 1000 meter



Gambar 6 [a] tipe persebaran grid [b] tipe persebaran regular hexagonal

Berdasarkan persamaan 1 dan persamaan 2 didapatkan bahwa banyaknya jumlah node untuk mengcover field 1000 meter x 1000 meter dengan tipe persebaran grid dan regular hexagonal berturut-turut adalah 121 node dan 91 node. Dari Gambar 6 diatas menunjukkan pola penyebaran node dengan pola coverage yang terbentuk untuk setiap tipe persebaran. Berdasarkan persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa tipe persebaran grid untuk mengcover suatu area lebih banyak membutuhkan node dibandingkan tipe persebaran regular hexagonal. Dengan kata lain apabila ukuran wilayah yang dicover sama dan jumlah node yang diberikan sama maka jarak topologi dengan persebaran regular hexagonal lebih pendek dibandingkan dengan topologi dengan persebaran grid.

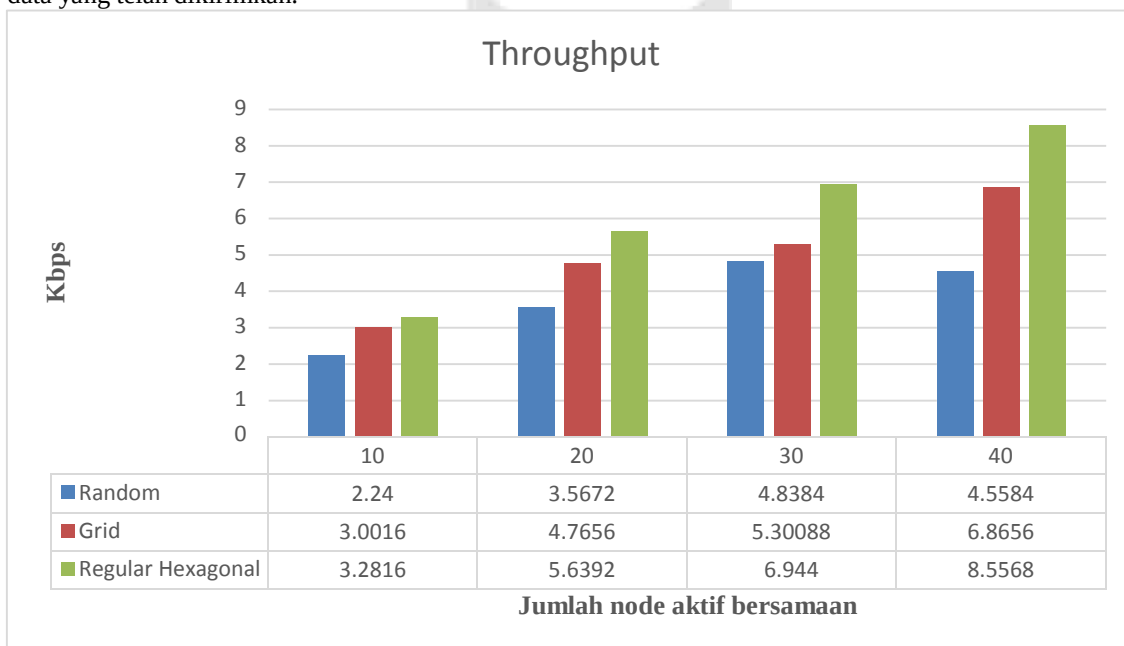
4.2 Performance metrics



Gambar 7 grafik PDR skenario II

Dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 7, untuk skenario II yang menggunakan 49 node dengan tipe persebaran random, grid, dan regular hexagonal menunjukkan bahwa semakin banyak node yang aktif secara bersamaan maka nilai Packet Delivery Ratio semakin kecil. Packet Delivery Ratio menunjukkan perbandingan paket yang berhasil diterima dari keseluruhan paket yang dikirim. Artinya apabila packet delivery ratio semakin kecil maka semakin sedikit paket yang berhasil diterima. Hal ini dikarenakan semakin banyak node yang mengirimkan data secara bersamaan maka terjadi kepadatan trafik yang tinggi dalam merutuskan dan mengirimkan paket. Oleh karena itu paket-paket tersebut harus bergantian mengantri dalam buffer dan ketika buffer tidak lagi mampu menampung paket yang datang, paket tersebut akan ditolak sehingga menyebabkan paket yang diterima semakin sedikit.

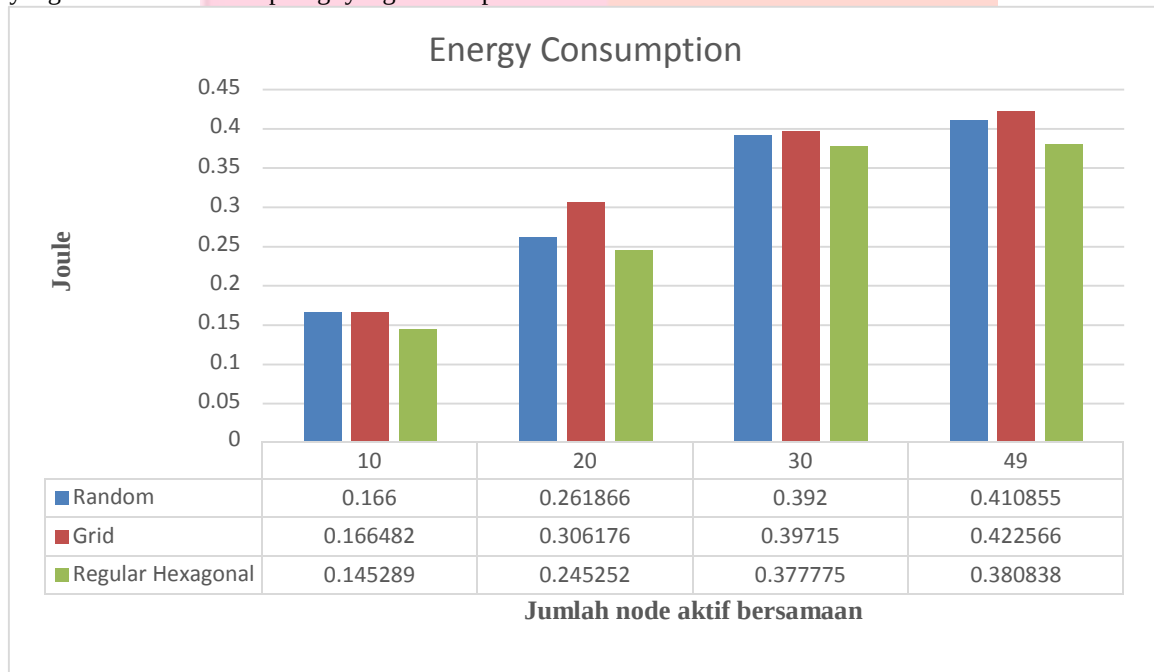
Pada grafik tersebut dapat dilihat juga perbandingan packet delivery ratio pada berbagai tipe persebaran node, untuk 10 node aktif bersamaan menunjukkan bahwa pada tipe persebaran grid menghasilkan packet delivery ratio yang lebih besar dari tipe persebaran node random namun lebih kecil dari tipe persebaran regular hexagonal. Begitupun juga untuk jumlah node 20 30 dan 48 node aktif bersamaan menunjukkan hasil yang sama yaitu tipe persebaran node regular hexagonal menghasilkan packet delivery ratio yang lebih besar dibandingkan tipe persebaran random maupun grid. Secara keseluruhan nilai packet delivery ratio dari persebaran regular hexagonal 36.10% lebih baik dari persebaran random serta 15.82% lebih baik dari persebaran grid. Hal ini disebabkan karena untuk tipe persebaran random dan grid memiliki struktur bentuk topologi yang lebih padat dibandingkan tipe persebaran regular hexagonal. Sehingga apabila banyak node yang mengirimkan data secara bersamaan maka akan menyebabkan collision (tabrakan data) untuk setiap node yang berdekatan. Sehingga paket data yang dikirimkan akan hilang, node penerima semakin sedikit menerima paket data yang telah dikirimkan.



Gambar 8 grafik Throughput skenario II

Dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 8, untuk scenario II yang menggunakan 49 node dengan tipe persebaran random, grid, dan regular hexagonal menunjukkan bahwa semakin banyak node yang aktif secara bersamaan maka nilai Throghput semakin besar juga. Karena semakin banyak node yang aktif maka semakin banyak node yang mengirimkan data sehingga kemungkinan banyaknya paket data yang sampai ke tujuan semakin besar.

Pada grafik tersebut dapat dilihat juga perbandingan throughput pada berbagai tipe persebaran node, untuk 10 node aktif bersamaan menunjukkan bahwa pada tipe persebaran grid menghasilkan throughput yang lebih besar dari tipe persebaran random namun lebih kecil dari tipe persebaran regular hexagonal. Begitupun juga untuk jumlah node 20 30 dan 48 node aktif bersamaan menunjukkan hasil yang sama yaitu tipe persebaran node regular hexagonal menghasilkan throughput yang lebih besar dibandingkan tipe persebaran random maupun grid. Secara keseluruhan nilai throughput dari persebaran regular hexagonal 37.74% lebih baik dari persebaran random serta 18.37% lebih baik dari persebaran grid. Hal ini disebabkan karena untuk tipe persebaran regular hexagonal memiliki bentuk topologi yang lebih renggang dibandingkan tipe persebaran random dan grid. Sehingga apabila banyak node yang mengirimkan data secara bersamaan pada jaringan yang memiliki bentuk topologi yang lebih renggang akan meminimalisir terjadinya collision karena node tetangganya yang masih dalam satu jangkauan lebih sedikit dibandingkan pada tipe persebaran node lainnya yang memiliki bentuk topologi yang lebih rapat.



Gambar 9 grafik energy consumption skenario II

Dalam grafik yang ditunjukkan pada Gambar 9, untuk skenario II yang menggunakan 49 node dengan tipe persebaran random, grid, dan regular hexagonal menunjukkan bahwa semakin banyak node yang aktif secara bersamaan maka nilai energy consumption semakin besar juga. Karena semakin banyak node yang aktif maka semakin banyak node yang mengirimkan data sehingga kemungkinan banyaknya paket data yang diterima semakin besar. Jumlah paket yang dikirim dan yang diterima berkaitan dengan transmit power dan receive power. Semakin banyak paket yang dikirimkan dan paket yang diterima maka semakin besar energi yang dikonsumsi untuk mengirimkan dan menerima paket.

Pada grafik tersebut dapat dilihat juga perbandingan konsumsi energi pada berbagai tipe persebaran node, untuk 10 node aktif bersamaan menunjukkan bahwa pada tipe persebaran random menggunakan konsumsi energi yang lebih sedikit dibandingkan dengan tipe persebaran grid namun lebih besar dari tipe persebaran regular hexagonal. Begitupun juga untuk jumlah node 20 30 dan 49 node aktif bersamaan menunjukkan hasil yang sama yaitu tipe persebaran node regular hexagonal menggunakan konsumsi energi yang lebih sedikit dibandingkan tipe persebaran random maupun grid. Secara keseluruhan nilai energy consumption dari persebaran regular hexagonal 11.05% lebih kecil dari persebaran grid serta 6.42% lebih kecil dari persebaran random. Hal ini disebabkan karena untuk tipe persebaran regular hexagonal memiliki bentuk topologi yang lebih renggang dibandingkan tipe persebaran random dan grid. Sehingga kemungkinan dalam pengiriman dan penerimaan data lebih sedikit dibandingkan dengan tipe persebaran node grid dan random. Pengiriman dan penerimaan data yang lebih jarang maka penggunaan konsumsi energi akan semakin sedikit. Selain itu tipe persebaran random lebih sedikit dalam penggunaan konsumsi energi dibandingkan dengan grid karena untuk tipe persebaran random lebih renggang dari persebaran grid.

5. Kesimpulan

Penelitian yang dilakukan untuk menganalisa pengaruh dari berbagai macam tipe persebaran node terhadap performance metrics menghasilkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Setelah membandingkan dari 2 tipe persebaran node yaitu grid dan regular hexagonal menghasilkan kesimpulan bahwa tipe persebaran node regular hexagonal membutuhkan node yang lebih sedikit untuk mengcoverage field yang sama dengan panjang topologi yang sama. Terlihat bahwa untuk mengcoverage field 1000 meter x 1000 meter, persebaran regular hexagonal membutuhkan 91 node sedangkan persebaran grid membutuhkan 121 node dengan jarak antara node untuk kedua tipe persebaran sama yaitu 100 meter.
2. Pada skenario kepadatan trafik dari 3 tipe persebaran node terhadap performance metrics yang diuji menghasilkan kesimpulan bahwa secara keseluruhan tipe persebaran regular hexagonal menghasilkan performance metrics yang lebih baik dibandingkan tipe persebaran random maupun grid. Untuk packet delivery ratio, persebaran regular hexagonal menghasilkan 36.10% lebih baik dari persebaran random serta 15.82% lebih baik dari persebaran grid. Untuk throughput, persebaran regular hexagonal menghasilkan 37.74% lebih baik dari persebaran random serta 18.37% lebih baik dari persebaran grid. Untuk energy consumption, persebaran regular hexagonal mengkonsumsi energi 11.05% lebih kecil dari persebaran grid serta 6.42% lebih kecil dari persebaran random.
3. Terlihat bahwa untuk skenario kepadatan trafik dimana skenario ini mengirimkan data secara bersama-sama sehingga memungkinkan untuk terjadinya collision serta kondisi trafik yang padat memungkinkan dapat terjadinya dropping packet. Untuk tipe persebaran regular hexagonal lebih baik disisi packet delivery ratio, throughput dan energy consumption. Sedangkan tipe persebaran random lebih baik disisi delay. Terlihat bahwa tipe persebaran regular hexagonal secara keseluruhan memiliki performance metrics yang lebih baik dibandingkan tipe persebaran grid maupun random dan dinilai mampu untuk mengatasi terjadinya collision.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Fok, G. Roman, C. Lu, and S. Louis, "Rapid Development and Flexible Deployment of Adaptive Wireless Sensor Network Applications."
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks : a survey," vol. 38, pp. 393–422, 2002.
- [3] W. Dargie and P. Christian, Christian, "Fundamentals of Wireless Sensor Networks. New York" : A John Wiley & Sons Ltd, 2010.
- [4] S. Krco, M. Johansson, V. Tsiatsis, I. Cubic, K. Matusikova and R. Glitho, "Mobile Network Supported Wireless Sensor Network Services," Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2007. MASS 2007. IEEE International Conference on, Pisa, 2007, pp. 1-3.
- [5] Chatterjea, S., Havinga, P., and Dulman, S, "Introduction to Wireless Sensor Networks".EmbeddedSystemsHandbook,2005.2(10),10–31. doi:doi:10.1201/9781420038163.ch31
- [6] Yuan-Yao, S., Wei-Ho, C., Pi-Cheng, H., and Ai-Chun, P, "A Mobility-Aware Node Deployment and Tree Construction Framework for ZigBee Wireless Networks". Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2013 62(6), 2763–2779. doi:10.1109/TVT.2013.2245693..
- [8] U. Pešovi, J. Mohorko, K. Benki, and Č. Žarko, "Effect of hidden Nodes in IEEE 802.15.4/ZigBee Wireless Sensor Networks", 17th Telecommunications forum, TELFOR 2009, Serbia, Belgrade, Nov 24-26, 2009, pp.161-164.
- [9] V. Karyotis and S. Papavassiliou, "Topology Control in Cooperative Ad Hoc Networks", *Book Chapter in Cooperative Wireless Communications*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2009. pp. 167-189,
- [10] Fauzi, Feblia Ulfah, "Analisis Penggunaan T-MAC Untuk Lapis Protokol MAC Pada Jaringan Sensor Nirkabel", 2010. Bandung: Institut Teknologi Telkom.
- [11] Pradipta, Stefanus Enggar, "Analisa Algoritma Leach Pada Jaringan Sensor Nirkabel", 2008.Bandung: Institut Teknologi Telkom
- [12] Purwoko, Sulisty, "Optimasi Kinerja Protokol Routing Ad Hoc On Demand Distance Vektor (AODV) Pada MANET Menggunakan Algoritma Semut", 2011. Bandung: Institut Teknologi Telkom.
- [13] 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.
- [14] Oehen, Patrice. *ZigBee: An Overview of the Upcoming Standard*. Diunduh pada 14 mei 2015 dari www.dcg.ethz.ch/lectures/ws0506/seminar/materials/zb_slides.pdf.
- [15] Stevanovic, Dusan & Natalija Vlajic, "Performance Of IEEE 802.15.4 in Wireless Sensor Nirkabel With A Mobile Sink Implementing Various Mobility Strategies", 2008. Helington: York University.
- [16] Zhang, H., & Liu, C, "A Review on Node Deployment of Wireless Sensor Network", 2012. 9(6), 378–383.

- [17] Poe, W. Y., & Schmitt, J. B, “Node Deployment in Large Wireless Sensor Networks : Coverage , Energy Consumption , and Worst-Case Delay”, 2009.
- [18] R. Adnan, “<http://adnanrachman.blogspot.co.id>,” 21 12 2012. [Online]. Available: <http://adnanrachman.blogspot.co.id/2012/12/wireless-sensor-network-dan-teknologi.html>. [Diakses 19 11 2015].
- [19] A.Lundgren, “<http://www.wirelessdesignmag.com>,” 24 9 2012. [Online]. Available: <http://www.wirelessdesignmag.com/blog/2012/09/software-development-tools-optimize-zigbee-performance>. [Diakses 19 11 2015].
- [20] Aeron, U., & Kumar, H, “Coverage Analysis of Various Wireless Sensor Network Deployment Strategies”, 2013. 3(2), 955–961.
- [21] Wireless Sensor Network, http://en.wikipedia.org/wiki/wireless_sensor_network.html (terakhir diakses: 25 Januari 2016).
- [22] Dewi, Kari Septiana, “Analisis Penggunaan Protokol Routing Ad Hoc on Demand Distance Vector (AODV) pada Wireless Sensor Network. Bandung: Institut Teknologi Telkom”, 2010.

