

IMPLEMENTASI DAN ANALISIS JARINGAN SENSOR NIRKABEL SEBAGAI ALAT PENDETEKSI KEBOCORAN TABUNG GAS ELPIJI MENGGUNAKAN TOPOLOGI CLUSTER-TREE DENGAN 7 TITIK

Implementation and Analysis of Wireless Sensor Network as LPG Gas Tube Leak Detector Using Cluster-Tree Topology with 7 Nodes

Aditya Bram Wiratma¹, Dr. Rendy Munadi, Ir., MT.², Ratna Mayasari, ST., MT.³

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Elektro, Universitas Telkom

adityabramwiratma@gmail.com, rendymunadi@telkomuniversity.ac.id, ratnamayasari@telkomuniversity.ac.id,

ABSTRAK

Saat ini gas Elpiji telah menjadi kebutuhan dalam kehidupan sehari-hari, khususnya untuk memasak. Bahan bakar dengan wujud gas ini mempunyai efek negatif, yaitu apabila menguap di udara bebas akan membentuk lapisan dikarenakan kondensasi. Lapisan yang terbentuk ini bersifat mudah terbakar, sehingga sangat berbahaya apabila terjadi penumpukan di dalam ruangan tertutup dan berpotensi menimbulkan kebakaran. Kebakaran dapat disebabkan oleh berbagai hal, salah satunya adalah kebocoran tabung gas Elpiji. Kelalaian pemasangan dan lambatnya penanganan ketika terjadi kebocoran tabung gas Elpiji dapat pula memicu terjadinya kebakaran. Kebakaran biasanya diawali dengan percikan api kecil yang menimbulkan asap. Percikan api kecil tersebut jika tidak segera ditangani akan mengakibatkan kebakaran yang besar. Seringnya terjadi kebakaran dirumah-rumah maupun tempat industri yang menggunakan gas Elpiji tidak jarang menimbulkan kerugian yang besar, baik kerugian materi maupun korban jiwa. Oleh karena itu, dirancang sebuah alat untuk memudahkan mendeteksi kebocoran tabung gas Elpiji dan mempercepat penanganan ketika terjadi kebocoran tabung gas Elpiji.

Dalam Tugas Akhir ini dibuat suatu implementasi prototype sistem deteksi kebocoran tabung gas Elpiji menggunakan teknologi Wireless Sensor Network. Sistem deteksi kebocoran tabung gas Elpiji ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengolah data dari sensor. Sensor yang digunakan adalah sensor MQ-6 yang berfungsi untuk mendeteksi adanya kandungan gas metana dalam udara. Dari data sensor yang didapat akan dikirim ke node koordinator untuk ditampilkan dalam bentuk GUI dan menampilkan warning yang berada di dalamnya. Setiap sensor akan saling terhubung dan membentuk topologi cluster-tree. Sistem komunikasi pada Zigbee-nya sendiri menggunakan modul transceiver RF Xbee Series 2. Sistem dibagi menjadi dua cluster untuk membagi beban router node. Diharapkan dengan adanya sistem deteksi ini dapat terekam data secara akurat dan real time.

Kata kunci Jaringan Sensor Nirkabel, Elpiji, Mikrokontroler, MQ-6, GUI, Cluster-Tree, Xbee Series 2

ABSTRACT

Nowadays, LPG (Liquified Petroleum Gas) has become a necessity in daily life, especially for cooking. This kind of fuel has a negative effect, if it evaporates to atmosphere gage, it will turn into layer due to condensation. The layer is combustible, so it is very dangerous if there is accumulation in enclosed room and potentially cause a fire. Fire due to LPG cylinder leakage often derived from negligence of gas appliances installation and poor handling so that the spark ignite the layer and the flames or explosions out. The frequent of fire in houses or industries area that use LPG often bring a huge loss, both material losses and fatalities. Therefore, a tool is designed to facilitate detection of LPG cylinder leakage and expedite the handling process.

This final project presents an implementation of LPG leak detection prototype system using Wireless Sensor Network technology. LPG leak detection system used an Arduino Uno microcontroller as data processor from sensors. Sensor MQ-6 is used to detect the existence of methane gas in the air. Data which is obtained from sensor will be sent to the coordinator node to be displayed in GUI and show the warning on it. Each sensor will be interconnected and configure a cluster-tree topology. The ZigBee communication system use the module of RF transceiver XBee Series 2. The system is divided into two clusters to split the load of router nodes. Hopefully, this detection system can capture the data accurately and real.

Keyword : Wireless Sensor Network, LPG, Microcontroller, MQ-6, GUI, Cluster-Tree, Xbee Series 2

1. Pendahuluan

Berita kebakaran sering terdengar sebagai akibat tabung gas Elpiji meledak. Gas Elpiji sendiri banyak digunakan sebagai bahan bakar rumah tangga. Penyebab meledaknya tabung gas ini karena kebocoran pada selang, tabung, atau pada regulatornya yang tidak terpasang dengan baik. Pada saat terjadi kebocoran, akan tercium bau gas yang menyengat. Gas inilah yang nantinya akan meledak apabila ada sulutan atau percikan listrik atau api.

Dalam kehidupan sehari-hari mungkin kita sudah meminimalisasi resiko-resiko terjadinya kebocoran tabung gas Elpiji. Namun kenyataannya kebocoran tabung gas Elpiji sewaktu-waktu dapat terjadi. Apalagi yang paling dikhawatirkan apabila kebocoran tersebut terjadi saat si pemilik gedung sedang tidak berada di tempat atau sedang terlelap tidur dan tanpa sadar dalam waktu bersamaan terjadi konsleting listrik. Pada intinya ledakan dapat dihindarkan apabila terdapat penanganan dini saat gas keluar atau saat terjadi kebocoran tabung gas. Pentingnya alat pendeteksi kebocoran tabung gas Elpiji ini akan sangat membantu dalam proses pencegahan akan terjadinya ledakan.

Teknologi jaringan sensor nirkabel dapat digunakan untuk mentransmisikan data yang ditangkap oleh sensor ke suatu node yang kita sebut node koordinator sehingga dapat dilakukan pemantauan yang efektif jika kita meletakkan beberapa sensor gas Elpiji di beberapa titik ruangan dalam gedung bertingkat. Oleh karena hal tersebut, penulis ingin membangun sebuah sistem yang dapat digunakan sebagai alat pemantauan dan pendeteksi adanya kebocoran tabung gas Elpiji yang terpusat secara real time

menggunakan teknologi jaringan sensor nirkabel. Dengan adanya pemantauan secara terpusat akan memudahkan dalam tindakan pencegahan. Selain itu, sistem juga akan memberi peringatan jika terindikasi adanya kebocoran tabung gas Elpiji. Hasil keluaran sensor yang berupa informasi gas Elpiji yang tertangkap sensor akan ditampilkan dan menampilkan tanda bahaya sehingga dapat langsung dilakukan tindakan pencegahan oleh orang yang berada di sekitar tabung gas Elpiji. Dengan teknologi jaringan sensor nirkabel yang menggunakan topologi cluster-tree ini diharapkan sistem dapat bekerja dengan maksimal dan tingkat akurasi keberhasilan sistem pun dapat diketahui.

Ada beberapa penelitian mengenai WSN yang telah dilakukan sebelumnya, salah satunya penelitian mengenai WSN sebagai aplikasi monitoring suhu dan kelembaban udara yang dilakukan oleh Aditya Kurniawan tahun 2015. Pada penelitian tersebut, topologi yang digunakan adalah *cluster-tree* tetapi jumlah *node* yang digunakan sebanyak 5, 3 sebagai *end device node*, 1 sebagai *router node*, dan 1 sebagai *coordinator node*. Penelitian ini menghasilkan sistem jaringan sensor nirkabel yang sudah terintegrasi dengan baik sehingga penulis ingin mengembangkan sistem jaringan sensor nirkabel tersebut dengan jumlah *node* yang lebih banyak yaitu 7 *node*.

2. Dasar Teori

2.1. Wireless Sensor Network

Jaringan Sensor Nirkabel merupakan jaringan nirkabel yang terdiri dari banyak sensor sumber (*node*) dengan kemampuan deteksi (*sensing*), komputasi dan kemampuan komunikasi yang memberikan kemampuan administratif kepada sebuah perangkat, observasi, dan melakukan penanganan terhadap setiap kejadian dan fenomena yang terjadi di lingkungan sekitarnya yang dilakukan secara nirkabel. Tiap sensor mengumpulkan data dari area yang dimonitor yang bisa berupa data temperatur, suara, getaran, tekanan, dan gerak. Dalam penggunaannya, sistem kerja *node* biasanya dikombinasikan dengan *router* dan *gateway* untuk membentuk sebuah sistem jaringan sensor nirkabel. Data yang diperoleh *node* sensor kemudian dikirim secara nirkabel ke *central gateway*. Dari *central gateway* inilah data kemudian dapat diolah dan dianalisa sesuai dengan kebutuhan penggunaan. Gambar berikut merupakan arsitektur jaringan sensor nirkabel secara umum.

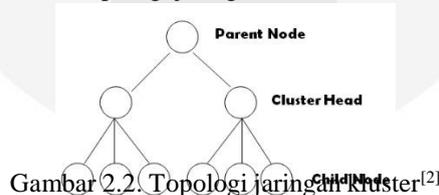


Gambar 2.1. Arsitektur jaringan sensor nirkabel secara umum^[1]

Node pada jaringan sensor nirkabel terdiri dari beberapa komponen diantaranya sensor, baterai, mikrokontroler, dan sirkuit analog. Dalam sistem berbasis baterai, pengiriman data yang semakin besar dan semakin besarnya frekuensi yang digunakan dapat menimbulkan penggunaan daya yang lebih besar pula. Salah satu protokol yang digunakan pada aplikasi jaringan sensor nirkabel adalah Zigbee. Zigbee merupakan protokol dengan standar IEEE 802.15.4 yang memiliki keunggulan dalam penggunaan daya yang kecil.

2.2. Arsitektur WSN^[2]

Terdapat dua macam topologi *Wireless Sensor Network*, yaitu tipe kluster dan tipe flat. Pada topologi ini, *node-node* sensor diatur dalam susunan secara hierarki sehingga terdapat tiga macam *node*, yaitu *child node*, *cluster head*, dan *parent node*. *Cluster head* berfungsi sebagai pengatur beberapa *child node* dalam aplikasinya. Beberapa *cluster head* menjadi anggota dari sebuah *parent node*. Berikut adalah gambar untuk topologi jaringan kluster.



Gambar 2.2. Topologi jaringan Kluster^[2]

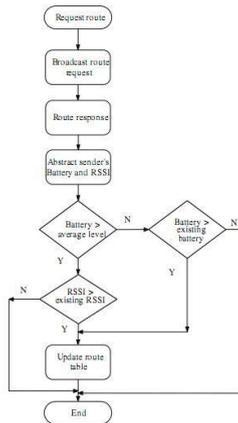
2.3. Liquid Petroleum Gas (LPG)

LPG adalah campuran dari berbagai unsur hidrokarbon yang berasal dari gas alam. LPG dikenalkan oleh Pertamina dengan merk Elpiji sejak tahun 1969 yang merupakan gas hasil produksi dari kilang minyak (kilang BBM) dan kilang gas. Komponen utama LPG adalah gas propana (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀) ±99% dan selebihnya adalah gas pentana (C₅H₁₂) yang dicairkan. Elpiji lebih berat dari udara dengan berat jenis sekitar 2.01 (dibandingkan dengan udara) dan tekanan uap Elpiji cair dalam tabung sekitar 5.0-6.2kg/cm². Perbandingan komposisi propana (C₃H₈) dan butana (C₄H₁₀) adalah 30:70. Nilai kalori +21.000BTU/lb. Zat mercaptan biasanya ditambahkan kepada LPG untuk memberikan bau yang khas, sehingga kebocoran gas dapat dideteksi dengan cepat.

Gas Elpiji termasuk yang dapat cair pada tekanan dan suhu rendah. Namun jenis gas ini mempunyai sifat dan kelakuan yang sangat berbahaya karena mudah terbakar dan mudah meledak, tidak beracun tapi jika terhirup lebih dari 1.000ppm atau 0.1% (100%=1.000.000ppm) akan menyebabkan mengantuk, halusinasi kemudian meninggal. Elpiji agar terbakar atau meledak harus memenuhi 3 unsur, yaitu : senyawa hidrokarbon (bahan bakar), oksigen, dan panas (api atau sejenisnya). Ketiga unsur ini yang disebut segitiga api.

2.4. Cluster-Tree

Protokol perutingan *cluster-tree* merupakan protokol perutingan yang paling sering digunakan dalam pengaplikasian jaringan sensor nirkabel. Prinsip kerja dari protokol perutingannya sendiri dapat dilihat dari gambar diagram alur berikut ini.



Gambar 2.3. Diagram alur protokol perutingan *cluster-tree*^[3]

Berdasarkan jumlah *cluster-head*-nya, topologi *cluster-tree* dapat dibedakan menjadi 2, yaitu jaringan kluster tunggal dan jaringan multi kluster.

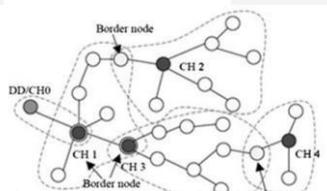
2.4.1. Jaringan Kluster Tunggal

Jaringan kluster tunggal hanya terdiri dari sebuah *cluster-head*. Semua *nodes* dihubungkan dengan *cluster-head* yang berfungsi sebagai PAN *coordinator* dengan satu hop dan topologi jaringannya menjadi *star*. Berikut adalah urutan proses pembentukan jaringan dan komunikasi di dalam kluster tunggal :

- a. Proses penetapan kluster induk.
- b. Proses *Single Hop Cluster*.
- c. *Multi Hop Cluster*.
- d. *Connection Reject*.
- e. Pemeliharaan jaringan.

2.4.2. Jaringan Multi Kluster

Sebuah jaringan multi kluster terdiri dari beberapa jaringan kluster tunggal sehingga terdapat lebih dari 1 *cluster-head*. Masing-masing *node* dalam sebuah kluster hanya dapat berkomunikasi dengan *cluster-head*nya sendiri. Jaringan multi kluster membutuhkan sebuah *Designated Device* (DD) untuk memberikan ID kluster yang unik di setiap kepala klusternya dan untuk menghitung lintasan terpendek dari kluster ke *designated device*. Berikut adalah gambaran jaringan multi kluster.



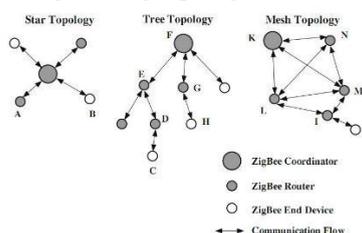
Gambar 2.4. Jaringan Multi-Kluster.^[3]

2.5. Topologi Standar IEEE 802.15.4

Agar setiap *node* pada sistem WSN dapat terhubung satu sama lain, maka dibutuhkan satu sistem komunikasi nirkabel (*wireless communication*). Aplikasi nirkabel untuk *node-node* ini memerlukan *datarate* yang kecil, konfigurasi sistem yang sederhana, daya baterai yang kecil dan bertahun-tahun lamanya, dan beroperasi pada frekuensi bebas lisensi secara internasional. Untuk memenuhi kebutuhan aplikasi nirkabel tersebut, IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) telah mengembangkan sebuah standar baru yaitu IEEE 802.15.4. Yang termasuk kedalam standar tersebut adalah Zigbee.^[5] Standar IEEE 802.15.4 menentukan dua lapisan fisik yang mencakup tiga pita frekuensi bebas lisensi yaitu :

- Frekuensi 2,4 GHZ : 16 kanal dengan bit rate 250 kbps.
- Frekuensi 902-928 MHz : 10 kanal dengan bit rate 40 kbps.
- Frekuensi 868-868,6 MHz : 1 kanal dengan bit rate 20 kbps.

Jenis-jenis topologi yang dapat dibangun sesuai standar IEEE 802.15.4, yaitu topologi Star, topologi Tree, dan topologi Mesh. Berikut adalah penjelasan gambar dan masing-masing topologi.



Gambar 2.5. Ketiga topologi jaringan sesuai standar IEEE 802.15.4^[3]

3. Pengujian

Pengujian sistem deteksi kebocoran tabung gas Elpiji ini dibagi menjadi tiga bagian besar dan beberapa bagian sebagai pendukung dalam analisis. Bagian pertama adalah pengukuran nilai keluaran dari sensor untuk mendapatkan nilai keakuratan pada masing-masing perangkat. Dalam kehidupan sehari-hari belum ditemukan sebuah alat yang dapat mengukur kadar kandungan gas Elpiji di udara. Oleh karena itu, untuk menggantikan alat yang digunakan sebagai pembanding perangkat yang dibuat, maka analisa keakuratan sensor dilakukan dengan cara eksperimen.

Bagian kedua dilakukan pengukuran jarak jangkauan dari Xbee *Series 2* dalam melakukan pengiriman data. Pengukuran jarak ini dilakukan untuk mengetahui jarak jangkauan maksimum Xbee dapat mengirimkan suatu data dan membuktikan fungsi dari *router node*. Pengujian dibagi menjadi empat skenario yaitu pada ruang tertutup dengan *router node* dan tanpa *router node* dan ruang terbuka dengan *router node* dan tanpa *router node*.

Bagian ketiga dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan dengan menggunakan topologi *cluster-tree*. Pengujian dilakukan pada ruang tertutup dengan cara mengaktifkan perangkat satu persatu dan mengamati yang terjadi pada kondisi jaringan. Pengujian dilakukan untuk mengetahui performansi dari perangkat yang berkaitan dengan parameter QoS, kemampuan untuk mengirimkan data dan mengetahui fungsi dari aplikasi yang sudah dibuat terhadap sistem.

3.1. Pengujian Sensor

Dalam proses pengujian sensor, hal pertama yang harus dilakukan adalah mengkonversi nilai digital yang dihasilkan dari pembacaan sensor dari rentan 0-1023 ke nilai konsentrasi gas yang dapat dibaca sensor dari 200-10.000 ppm. Proses konversi dilakukan untuk mengetahui nilai konsentrasi gas Elpiji di udara menggunakan rumus interpolasi linier dan *datasheet* sensor MQ-6 seperti berikut yang dimasukkan ke dalam kodingan mikrokontroler Arduino Uno.

$$y = \frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot (y_2 - y_1) + y_1$$

Untuk mendapatkan nilai konsentrasi gas Elpiji yang terbaca oleh sensor, substitusi nilai 'y' dengan nilai konsentrasi gas yang dapat dibaca sensor dan nilai 'x' dengan nilai digital hasil pembacaan sensor, maka nilai 'y1'=200 ppm, 'y2'=10.000 ppm, 'x1'=0, dan nilai 'x2'=1023.

$$y = \frac{(x - 0)}{(1023 - 0)} \cdot (10.000 - 200) + 200$$

Sensor MQ-6 membutuhkan waktu persiapan (*warming up*) kurang lebih 30-60 menit agar hasil pembacaan sensor maksimal. Karena tidak adanya alat yang dapat mengukur kadar kandungan gas Elpiji di udara sebagai pembanding data yang dihasilkan oleh perangkat, maka dilakukan eksperimen untuk mengetahui keakuratan sensor dalam membaca kandungan gas Elpiji di udara. Eksperimen dilakukan terhadap masing-masing sensor pada *end device node* dengan memberikan beberapa gas uji secara berulang-ulang. Gas uji yang diberikan ada 3 macam yakni gas Elpiji sebagai gas uji utama yang diganti oleh gas pada korek api (*lighter*). Gas uji lainnya adalah gas Karbon Dioksida (CO₂) dari hasil pernapasan manusia dan gas Helium (He) yang didapat dari balon gas. Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan gas uji dengan jarak dekat yaitu 2 cm dari sensor dan mencatat nilai keluaran pada masing-masing sensor. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali pada masing-masing sensor untuk mendapatkan variasi data. Selain itu juga dilakukan pengujian ke masing-masing *node* terhadap kemampuan sensor dalam mengukur kandungan gas Elpiji di udara dengan cara mengamati nilai pembacaan sensor terhadap gas uji yang diberikan selama 10 detik ke masing-masing sensor. Untuk hasil pengujiannya dapat dilihat pada tabel 3.1. berikut.

Tabel 3.1. Kemampuan sensor mengukur kandungan gas Elpiji

Node	Nilai Kondisi Normal	Nilai Maksimal
A	353 ppm	9972 ppm
B	353 ppm	9954 ppm
C	254 ppm	9963 ppm
D	236 ppm	9981 ppm

Sensor dari masing-masing *node* merespon gas uji utama dengan baik sehingga dapat dilakukan analisis data sebagai berikut.

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}$$

Tabel 3.2. Rata-rata perubahan nilai sensor tiap *node* terhadap gas uji

Rata-rata perubahan nilai			
Node	LPG	CO ₂	He
A	3547,8	0,9	0,3
B	3024	0,6	0,3
C	1158,9	0,46	0,23
D	6998,4	0,3	0,6

Saat sensor diberikan pengaruh gas uji utama yakni gas dari korek api, terjadi perubahan nilai yang cukup signifikan yaitu lebih dari 100 dari nilai kondisi gas normal pada setiap pengujian yang berarti 100% terjadi perubahan nilai. Sedangkan saat sensor diberikan pengaruh dari gas pembanding yakni Karbon Dioksida dan Helium hampir keseluruhan pengujian tidak mengalami perubahan yang signifikan dengan rata-rata kurang dari 1 seperti yang ditunjukkan oleh tabel 3.2. diatas. Sensor juga dapat bekerja dengan maksimal sesuai dengan *datasheet* yang ada. Kesimpulannya sensor merespon gas uji utama dengan tingkat sensitivitas dan akurasi yang baik.

3.2. Pengujian Jarak Xbee

Pengujian jarak Xbee dilakukan untuk mengetahui seberapa jauh jarak pengiriman data dapat dilakukan. Proses pengujian jarak ini dilakukan dengan empat kondisi yaitu :

1. Di dalam ruangan tanpa *router node*.
2. Di dalam ruangan dengan *router node*.
3. Di luar ruangan tanpa *router node*.
4. Di luar ruangan dengan *router node*.

3.2.1. Pengujian di Dalam Ruangan Tanpa Router Node

Pengujian dilakukan di dalam gedung O lantai 2 Universitas Telkom dengan 2 kondisi yaitu LOS dan NLOS. Setiap kelipatan 5 meter jarak antara *end device node* dan *coordinator node* akan diamati apakah koneksi masih berjalan dengan baik atau tidak. Ukuran paket data yang dikirimkan sebesar 208 bit sebanyak 10 kali.

Tabel 3.3. Pengukuran jarak jangkauan Xbee di dalam ruangan tanpa *router node* (NLOS)

No.	Jarak (Meter)	Keterangan	Waktu Data Diterima (Rata-rata)
1.	5	Data diterima	1,068 detik
2.	10	Data diterima	1,091 detik
3.	15	Data diterima	1,117 detik
4.	20	Data diterima	1,128 detik
5.	25	Data diterima	1,133 detik
6.	30	Data diterima	1,149 detik
7.	35	Data diterima tersendat	1,267 detik
8.	36	Data diterima tersendat	1,789 detik
9.	37	Data tidak diterima	-

Dari pengujian jarak jangkauan Xbee di dalam ruangan tanpa menggunakan *router node* didapatkan hasil sesuai dengan tabel 3.3. diatas. Dapat dilihat bahwa saat kondisi LOS (*Line of Sight*) tidak terdapat halangan yang mempengaruhi proses transmisi data sehingga Xbee masih dapat bekerja dengan baik hingga jarak 40 meter di dalam ruangan. Sedangkan dalam kondisi NLOS, terdapat beberapa faktor yang menyebabkan proses transmisi data tersendat diantaranya *obstacle* berupa dinding ruangan, *noise* dan *interference* yang tidak diinginkan, kondisi perangkat yang sudah tidak 100%, serta ketidaktelitian pengamat. Hal ini menjadikan data sudah tidak dapat diterima oleh *coordinator node* pada jarak 37 meter di dalam ruangan.

3.2.2. Pengujian di Dalam Ruangan Dengan Router Node

Pengujian dilakukan di dalam gedung O lantai 2 Universitas Telkom dengan 2 kondisi yaitu LOS dan NLOS. Diantara *end device node* dan *coordinator node* akan diletakkan *router node* untuk memperlancar proses transmisi data. Setiap kelipatan 5 meter jarak antara *end device node* dan *coordinator node* akan diamati apakah koneksi masih berjalan dengan baik atau tidak. Ukuran paket data yang dikirimkan sebesar 208 bit sebanyak 10 kali.

Tabel 3.4. Pengukuran jarak jangkauan Xbee di dalam ruangan dengan *router node* (LOS & NLOS)

No.	Jarak (Meter)	Keterangan	Waktu Data Diterima (Rata-rata)
1.	5	Data diterima	1,065 detik
2.	10	Data diterima	1,087 detik
3.	15	Data diterima	1,106 detik
4.	20	Data diterima	1,113 detik
5.	25	Data diterima	1,119 detik
6.	30	Data diterima	1,128 detik
7.	35	Data diterima	1,142 detik
8.	37	Data diterima	1,156 detik
9.	40	Data diterima	1,168 detik

Dari pengujian jarak jangkauan Xbee di dalam ruangan dengan menggunakan *router node* didapatkan hasil seperti tabel 3.4. diatas. Dapat dilihat bahwa dalam kondisi LOS maupun NLOS proses transmisi dapat berjalan dengan baik karena penambahan *router node*. Penambahan *router node* menambah jarak jangkauan Xbee di dalam ruangan sehingga dapat meminimalisasi dampak adanya *obstacle* yang berupa dinding ruangan.

3.3. Pengujian Konsumsi Daya

Pengujian konsumsi daya dilakukan untuk mengetahui konsumsi daya yang digunakan oleh Xbee dalam proses transmisi data menggunakan catu daya baterai 9V eveready tipe 1222 sampai kondisi baterai habis. Skenario pengujian ini dilakukan dengan 2 kondisi pengiriman data yaitu data dikirimkan dari *end device node* ke *coordinator node* tanpa menggunakan *router node* dan dengan menggunakan *router node*. Jarak antara *end device node* dan *coordinator node* adalah 5 meter dan jarak *router node* adalah 2 meter dari *coordinator node*. Pengujian dilakukan pada *end device node* karena akan diamati konsumsi daya untuk proses pengiriman data.

Tabel 3.5. Pengujian konsumsi daya

No.	Keterangan	Tanpa Router Node	Dengan Router Node
1	Waktu <i>node</i> dapat aktif	4 jam 47 menit 28 detik	5 jam 29 menit 9 detik
2	Jumlah data yang dikirimkan	16.135 data	18.544 data

Pada hasil pengujian konsumsi daya seperti yang ditunjukkan tabel diatas didapatkan hasil bahwa dalam kondisi tanpa *router node* sistem dapat bertahan dalam mengirimkan data selama 4 jam 47 menit 28 detik dengan jumlah data yang dikirimkan sebanyak 16.135 data. Sedangkan dalam kondisi dengan *router node* sistem dapat bertahan dalam mengirimkan data selama 5 jam 29 menit 9 detik dengan jumlah data yang dikirimkan sebanyak 18.544 data. Hal ini menunjukkan konsumsi daya perangkat

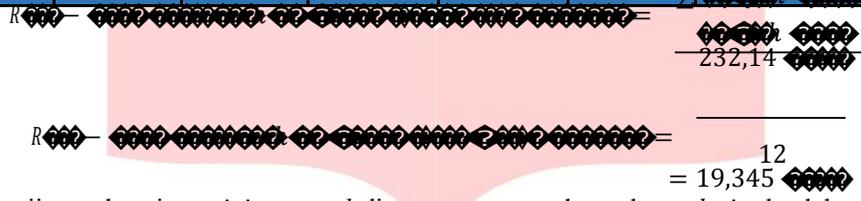
dalam mengirimkan data akan lebih kecil dengan penggunaan *router node* yang berfungsi sebagai perantara antara *end device node* dan *coordinator node*.

3.4. Pengujian Waktu Sistem Join Network

Pengujian waktu sistem *join network* dilakukan untuk mengetahui waktu *node* untuk dapat bergabung ke dalam sistem jaringan. Skenario dilakukan secara *multihop* dan pengujian dilakukan pada sisi *end device node* (TX). *End device node* berjarak 10 meter dari *coordinator node* dan *router node* berjarak 5 meter dari *coordinator node*. Pengamatan waktu diamati dari awal *end device node* diaktifkan hingga hasil *sensing* dari sensor diterima oleh *coordinator node* untuk pertama kali. Pengujian setiap kondisi dilakukan sebanyak 10 kali dan diambil waktu rata-ratanya sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 3.6. Waktu sistem *join network*

Kondisi Node				Waktu Sistem Join Network (Detik)			
Node A	Node B	Node C	Node D	Node A	Node B	Node C	Node D
ON	OFF	OFF	OFF	20'19"	-	-	-
OFF	ON	OFF	OFF	-	23'57"	-	-
OFF	OFF	ON	OFF	-	-	21'06"	-
OFF	OFF	OFF	ON	-	-	-	25'73"
ON	ON	OFF	OFF	19'80"	21'58"	-	-
OFF	OFF	ON	ON	-	-	18'00"	21'64"
ON	ON	ON	ON	13'18"	15'46"	14'22"	17'65"



Dari hasil pengujian waktu sistem *join network* diatas, rata-rata waktu gabung *device* ke dalam jaringan adalah 19,345 detik. Selain itu *node C* membutuhkan waktu gabung yang lebih lama daripada *node-node* yang lain. Waktu sistem *join network* relatif lama karena beberapa faktor seperti kondisi perangkat, kondisi media transmisi data, interferensi saat transmisi data, dan kesalahan dalam pengamatan.

3.5. Analisis Kualitas Jaringan

Pada pengujian kualitas jaringan sistem kebocoran tabung gas Elpiji ini dilakukan dengan 2 kondisi yaitu *singhop* dan *multihop*. Skenario pengujian dilakukan di Gedung Serba Guna Universitas Telkom lantai 1 dengan jarak antara *end device node* dan *coordinator node* adalah kelipatan 5m mulai dari 5m sampai 25m. Apabila dalam keadaan *multihop*, maka posisi *router node* akan diletakkan persis ditengah-tengah antara *end device node* dan *coordinator node*. Parameter yang digunakan dalam pengujian ini adalah *throughput* dan *delay interarrival* pada sisi *receiver* (*coordinator node*).

Tabel 3.7. Tabel hasil pengujian *throughput* dan *delay interarrival*

Singlehop (bps)						Singlehop (detik)					
Node Aktif	Jarak					Node Aktif	Jarak				
	5m	10m	15m	20m	25m		5m	10m	15m	20m	25m
A	208,968	107,72	93,032	80,184	58,048	A	0,9721	1,0822	1,1074	1,4981	1,7091
B	214,696	108,824	93,784	83,096	56,864	B	0,9389	1,0763	1,0924	1,4628	1,8012
C	216,296	108,576	93,992	83,368	58,704	C	0,9331	1,0126	1,0347	1,5012	1,7981
D	212,312	109,424	95,864	83,176	55,784	D	0,8982	1,0047	1,0289	1,4892	1,7629
A dan B	316,784	221,088	177,904	170,936	133,96	A dan B	0,4873	0,5392	0,6828	0,7718	0,8971
C dan D	321,408	220,744	179,144	170,232	133,464	C dan D	0,4619	0,5091	0,6219	0,7112	0,8789
A,B,C, dan D	317,48	291,984	278,304	240,968	165,84	A,B,C, dan D	0,3817	0,401	0,4179	0,5129	0,6578
Multihop (bps)						Multihop (detik)					
Node Aktif	Jarak					Node Aktif	Jarak				
	5m	10m	15m	20m	25m		5m	10m	15m	20m	25m
A	174,184	150,976	137,88	129,888	110,096	A	0,8372	0,8499	0,8578	0,9121	1,0902
B	173,224	149,432	139,192	131,48	109,072	B	0,8121	0,8237	0,8672	0,9109	1,1299
C	174,992	149,904	139,416	130,56	108,792	C	0,817	0,8109	0,8782	0,9091	1,0829
D	174,296	149,48	139,216	129,896	110,88	D	0,7988	0,8003	0,8688	0,9006	1,1092
A dan B	349,392	253,824	298,248	210,944	198,696	A dan B	0,5192	0,429	0,5012	0,5875	0,8173
C dan D	352,736	257,608	300,216	211,176	197,04	C dan D	0,5237	0,4282	0,5008	0,5585	0,8123
A,B,C, dan D	434,192	394,024	341,904	333,784	298,304	A,B,C, dan D	0,3568	0,3482	0,3672	0,3892	0,4262

Dari hasil data tabel maupun grafik diatas menunjukkan terjadinya penurunan nilai *throughput* pada kondisi *singlehop* dan *multihop* terhadap jarak. Hal ini disebabkan karena semakin jauh jarak yang ditempuh dalam transmisi data, maka kemungkinan terjadinya *packet loss* juga semakin besar dan adanya *interference* juga mempengaruhi proses transmisi data.

Sedangkan pada jumlah *node*, semakin banyak jumlah *node* yang aktif maka semakin besar pula nilai *throughput*-nya. Hal ini disebabkan semakin banyak *node* yang aktif, maka semakin banyak pula paket yang diterima pada sisi RX sehingga menjadikan *throughput* pada sisi RX juga bertambah. Pada sisi topologi, nilai *throughput* yang diterima oleh kondisi *multihop* lebih besar daripada kondisi *singlehop*. Hal ini disebabkan adanya *router node* yang berperan sebagai penerus sinyal dari *end device node* ke *coordinator node* sehingga kualitas jaringan lebih terjaga.

Sedangkan untuk nilai *interarrival delay* berbanding terbalik dengan *throughput*. Terjadi peningkatan nilai *delay interarrival* terhadap jarak. Hal ini disebabkan semakin jauh jarak, maka waktu yang dibutuhkan sistem untuk mengirim data dari TX ke RX juga akan semakin lama atau dengan kata lain menyebabkan nilai *transmission delay* dan *processing delay* bertambah. Sedangkan untuk jumlah *node*, semakin banyak jumlah *node* yang aktif maka nilai *delay interarrival* semakin besar karena selain *processing delay* yang bertambah, ada *packetization delay* yang juga mempengaruhi bertambah besarnya nilai *delay interarrival*. Pada sisi topologi, nilai *delay interarrival* yang diperoleh *multihop* lebih kecil dari *singlehop*. Hal ini dikarenakan *transmission delay* berkurang, walaupun ada *queuing delay* yang juga mempengaruhi bertambahnya nilai *interarrival delay* namun nilainya sangat kecil sekali berkisar 100 μ s sehingga tidak terlalu mempengaruhi perubahan nilai *interarrival delay*.

3.6. Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan bertujuan untuk mendapatkan performansi sistem dengan topologi yang telah dirancang terhadap GUI dan untuk mengetahui kerja sistem secara keseluruhan. Skema pengujian terhadap sistem dijalankan secara keseluruhan dengan cara mulai dari menyalakan *node* satu persatu baik secara *singlehop* maupun *multihop* hingga semua *node* aktif dan mengamati hasil yang terjadi pada GUI. Pengujian dilakukan di Gedung Serba Guna Universitas Telkom.

Tabel 3.8. Pengujian sistem secara keseluruhan

No.	Keadaan Node Sebenarnya						Keadaan Node Pada Tampilan GUI					
	EDN1	EDN2	EDN3	EDN4	RN1	RN2	EDN1	EDN2	EDN3	EDN4	RN1	RN2
1	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
2	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
4	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	OFF
5	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
6	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	ON	OFF	OFF
7	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	ON	ON	OFF	OFF
8	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF
9	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF
10	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	OFF	ON
11	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON
12	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF
13	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON
14	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON

Pada pengujian dihasilkan *end device node* mengirimkan informasi kandungan gas Elpiji di udara ke *coordinator node*. *Router node* yang berfungsi sebagai perantara antara *end device node* dan *coordinator node* menerima dan mengirimkan informasi kandungan gas Elpiji di udara layaknya *end device node*. Hasil pada GUI yang telah dibuat sesuai dengan kondisi *node* yang sebenarnya karena setiap *node* telah diberi label yang dapat dijadikan identitas dari masing-masing *node*. Alasan mengapa kondisi *node* yang sebenarnya sama dengan kondisi GUI diantaranya pada WSN menggunakan konsep TCP yang pengirimannya bersifat *reliable*, ketika data yang dikirimkan tidak sampai maka akan dilakukan pengiriman ulang sampai batas waktu tertentu. Paket yang tidak tersampaikan akan disimpan di dalam *buffer* pada *node* dan akan dikirim ulang ke tujuan.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan proses perancangan, pengukuran, dan pengujian maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Sistem pendeteksi kebocoran tabung gas Elpiji yang dirancang dengan sensor MQ-6 dapat mengukur kondisi kandungan gas Elpiji di udara secara *wireless* dengan jarak maksimal untuk *indoor* 40 meter dengan kondisi LOS, 36 meter untuk *indoor* dengan kondisi NLOS, 105 meter untuk *outdoor* dengan kondisi LOS tanpa *router node* dan 165 meter untuk *outdoor* dengan kondisi LOS dengan *router node*. Jarak jangkauan akan semakin pendek ketika terdapat lebih banyak penghalang.
2. *Router node* berfungsi sebagai perantara antara *coordinator node* dan *end device node* dan dapat menambah *coverage area* yang lebih luas untuk dapat terhubung dengan *coordinator node*.
3. Sensor MQ-6 adalah sensor yang dapat membaca konsentrasi gas Elpiji di udara dengan baik karena memiliki tingkat akurasi hampir 100% dan tidak akan berpengaruh terhadap konsentrasi gas-gas yang lain.
4. Aplikasi *desktop* dapat digunakan untuk *monitoring* sistem dengan baik dan layak digunakan sebagai sistem *monitoring*.
5. Pada komunikasi nirkabel *delay interarrival* dan *throughput* sistem dapat disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya jarak, *node processing*, jumlah *node*, *packetization delay*, *queueing delay*, *transmission delay*, *processing delay*, dan topologi yang digunakan (*singlehop* dan *multihop*). Nilai *throughput* pada sisi penerima berbanding terbalik dengan nilai *delay interarrival* pada sisi penerima. Semakin besar nilai *throughput* pada sisi penerima, maka semakin kecil nilai *delay interarrival* pada sisi penerima, begitu pula sebaliknya.
6. Pada *Wireless Sensor Network* dengan menggunakan topologi *cluster-tree* memungkinkan komunikasi *multihop* dengan *coverage area* yang semakin luas.

7. Sistem dalam kondisi tanpa *router node* dapat bertahan dalam mengirimkan data selama 4 jam 47 menit 28 detik dengan jumlah data yang dikirimkan sebanyak 16.135 data. Sedangkan dalam kondisi dengan *router node* sistem dapat bertahan dalam mengirimkan data selama 5 jam 29 menit 9 detik dengan jumlah data yang dikirimkan sebanyak 18.544 data.
8. Dengan topologi *cluster-tree* dapat memberikan *routing cost* yang rendah karena *end device node* dapat mengirimkan informasinya melalui *Cluster Head (router node)* yang mempunyai jarak lebih dekat daripada langsung mengirimkan ke *coordinator node*.

5. Saran

Pada perancangan Tugas Akhir ini terdapat beberapa hal yang dapat dikembangkan lebih lanjut, antara lain :

1. Sistem ditambahkan dengan sensor MQ-6 pada bagian *router node* sehingga dapat lebih meningkatkan akurasi dan *coverage area sensing* sistem.
2. Sistem dapat ditambahkan berbagai sensor penunjang monitoring seperti sensor oksigen, sensor asap, sensor panas, dan lain sebagainya sehingga informasi yang ditampilkan lebih lengkap dan bervariasi.
3. Sistem dapat ditambahkan dengan modul *SMS Gateway* untuk memperkaya fitur sistem.
4. Sistem dapat diaplikasikan berbasis *web* dan *database* agar lebih mudah dalam penjangkauan sistem monitoring (*everytime and everywhere*).
5. Tambahkan sistem dengan keamanan dalam komunikasi untuk lebih mengamankan informasi.
6. Tambahkan sensor untuk mendapatkan informasi konsumsi daya setiap node untuk analisis konsumsi daya.
7. Gunakan *Zigbee packet sniffer* agar dapat menganalisis protokol pada WSN untuk meningkatkan performansi sistem.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Vempuzka. (2012, Januari 7). Retrieved Desember 1, 2014, from <http://vempuzka.wordpress.com/category/technology/wireless-sensor-network/>
- [2] *Laboratorium Telekomunikasi Universitas Islam Indonesia*. (2013). Retrieved Desember 1, 2014, from <http://telekom.ee.uui.ac.id/index.php/berita/15-wsn1>
- [3] Yang, S.-H. (2014). *Wireless Sensor Networks : Principles Design and Applications*. London: Springer.
- [4] Ecco. (2012, September 18). *Seekic.com*. Retrieved Desember 1, 2014, from [/SEN-1327 LPG Gas Sensor Module - Sensor_Circuit - Circuit Diagram - SeekIC.com.htm](#)
- [5] Sugiarto, B. (2010). Perancangan Sistem Pengendalian Suhu pada Gedung Bertingkat dengan Teknologi Wireless Sensor Network .*Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra M. Vol.4 Pusat Penelitian Informatika – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*, 62-68.
- [6] Ardianto, R., Segara, S. I., &Pratama, S. (2013). Alat Pendeteksi Kebocoran Gas dan Asap Berbasis Microcontroller dengan Menggunakan SMS (Short Message Service). *Jurnal Jurusan Teknik Informatika STMIK PalComTech Palembang*, 1-15.
- [7] Arrosyid, M. H., Tjahjono, I. A., &EpySunarno, S. (2009). Implementasi Wireless Sensor Network untuk Monitoring Parameter Energi Listrik sebagai Peningkatan Layanan bagi Penyedia Energi Listrik. *Jurnal Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS)*.
- [8] Dargie, W., & Poellabauer, C. (2010). *Fundamentals of Wireless Sensor Networks : Theory and Practice*. Chicester: John Wiley & Sons Ltd.
- [9] E., I. M., Sugiarto, B., & Sakti, I. (2009). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Teknologi Wireless Sensor Network (WSN). *INKOM Vol.III No.1-2 Pusat Pengembangan Informatika – Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia*, 90-96.
- [10] Grindvoll, H., Vermesan, O., Crosbie, D. T., Bahr, R., Dawood, P. N., & Revel, G. M. (2012). A Wireless Sensor Network for Intelligent Building Energy Management Based On Multi Communication Standards - A Case Study. *Journal of Information Technology in Construction*, 43-62.
- [11] Haryawan, M. Y., Gunawan, A., & Putra, E. H. (2011). Implementasi Wireless Sensor Network untuk Pendeteksi Dini Kebakaran Hutan. *Jurnal Teknologi Informasi dan Telematik Vol.5 Politeknik Caltex Riau*, 1-10.
- [12] Jason Lester Hill, "System Architecture for Wireless Sensor Networks", a dissertation in Computer Science in the Graduate Division of the University of California, Berkeley. 2003
- [13] Karl, H., &Willig, A. (2007). *Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks*. Chicester: John Wiley & Sons Ltd.
- [14] Khedo, K. K., Perseedoss, R., &Mungur, A. (2010). A Wireless Sensor Network Air Pollution Monitoring System. *International Journal of Wireless & Mobile Networks Vol.2 No.2 Department of Computer Science and Engineering University of Mauritius*, 31-45.
- [15] Achmad Bagus Khouirul Rijal, P. K. (n.d.). Simulasi Komunikasi Multihop pada Jaringan Sensor Nirkabel Menggunakan Algoritma H-LEACH. *Jurnal Politeknik Elektronika Negeri Surabaya* , 1-6.
- [16] Thamrin. (2014). Analisis Kinerja Jaringan WPAN ZigBee dengan Topologi Cluster Tree. *Jurnal Teknik Elektro ITP Vol.3 No.1* , 19-27.
- [17] L. A. Latiff, N. F. (2010). Directional Routing Protocol in Wireless Mobile Ad Hoc Network. *Trends in Telecommunication Technologies Chapter 12* .
- [18] Ma'ruf, A., Faizal Y, F., Risang D, S., & Beta, S. (2014). Penampil Data pada Komputer Melalui Nirkabel. *Jurnal Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang*.