

DESAIN DAN IMPLEMENTASI WSN PADA TEMPAT SAMPAH DALAM GEDUNG BERBASIS MIKROKONTROLLER MENGGUNAKAN RF MODUL ZIGBEE DENGAN TOPOLOGI CLUSTER TREE

MICROTROLLER BASED DESIGN AND IMPLEMENTATION OF WSN FOR TRASH BIN IN BUILDING USING ZIGBEE RF MODUE WITH CLUSTER TREE TOPOLOGY

Shalahuddin Kartika Candra¹, Erwin Susanto,ST.,MT.,Ph.D.², M.Ary Murti,ST.,MT.³
candra.shalahuddin@mail.com¹, erwinelektro@telkomuniversity.ac.id², abumuflih2005@yahoo.com³

Prodi S1 Teknik Elektro-Fakultas Teknik Elektro-Universitas Telkom
 Jln. Telekomunikasi no 1. Dayeuh Kolot. Bandung 40257 Indonesia

Abstrak

Setiap bangunan gedung harus menyediakan tempat sampah dan penampungan sampah. Dengan produksi sampah minimum 3,0 lt/orang/hari maka sampah dalam gedung dapat menumpuk dan dapat menimbulkan bau tak sedap bila tidak ditangani dengan baik. Hal tersebut memungkinkan terjadinya sumber penyakit dan gangguan pernafasan. Ini karena adanya pembusukan sampah oleh mikroorganisme yang menghasilkan gas *hidrogen sulfide* (H₂S) dan gas *metan* (CH₄) yang bersifat racun bagi tubuh.

Penerapan inovasi teknologi Wireless Sensor Network adalah salah satu solusi untuk monitoring keadaan tempat sampah. Pada Tugas akhri ini prototype dirancang menggunakan RF Modul Xbee *series 2* dan AVR ATMega 8535 sebagai mikrokontrollernya dengan pemrograman bahasa C dengan *software* CVAVR. Sedangkan pada sensor menggunakan sensor ultrasonik (HC-SR04) untuk mengetahui tingkat kepenuhan sampah dengan parameter jarak dan sensor gas (MQ-136) untuk mengetahui bau busuk sampah melalui kandungan gas H₂S dengan parameter tingkat ppm. Data nantinya akan diolah menggunakan program dari Visual Studio 2010 dengan Bahasa pemrograman Visual Basic yang ditampilkan dalam bentuk GUI (*Guide User Interface*) pada PC (*Personal Computer*).

Prototype monitoring tempat sampah dengan topologi *Cluster Tree* berhasil dirancang menggunakan RF modul Xbee *Series2*. Hasil perancangan ini dapat bekerja secara optimal sebagai solusi monitoring tempat sampah pada gedung yang dapat dipantau secara *real-time*. Jarak antar *node* dengan kondisi *line of sight* dalam gedung F Telkom University yaitu, Jarak maksimum 1 lantai: 84m, Jarak maksimum beda 1 lantai: 27m, jarak maksimum beda 2 lantai:10m. Dimana jarak tersebut dapat di kombinasikan untuk membentuk topologi *Cluster Tree* yang dibutuhkan dalam gedung. Perbandingan *Delay Time Recovery* Xbee *Series2* sebesar 0.25s. dan Akurasi sensor HC-SR04 sebesar 91% .

Kata kunci: *Wireless Sensor Network*, AT-Mega 8535, Xbee *Series 2*(XB24-ZB), HC-SR04, MQ-136, Visual Studio 2010, topologi *ClusterTtree*

Abstract

Each building must provide trash and garbage disposal. With minimum waste production 3.0 liters / person / day the garbage in the building can accumulate and can cause smell if not handled properly. This allows the source of disease and respiratory disorders. This is because of the decaying garbage by microorganisms produce hydrogen sulfide gas (H₂S) and methane (CH₄) that are toxic to the body.

Wireless Sensor Network technology is one of solution for monitoring the state of the trash. Prototype designed by using the Xbee *Series 2* RF Module , AVR ATMega 8535 as microcontroller chip and using C programming language with CVAVR software. The sensor using ultrasonic sensor (HC-SR04) to determine the fullness level waste and distance parameters, gas sensor (MQ-136) to find out the stench of garbage through the gas content of the parameter ppm H₂S level. The data will be processed using a program from Visual Studio 2010 to Visual Basic programming language that is displayed by GUI (*Guide User Interface*) on a PC (*Personal Computer*).

Prototype of bins monitoring system using *Cluster Tree* topologies successfully designed by RF module Xbee *Series2*. Results of this design can work optimally as a monitoring solution bins in the building that can be monitored in real-time. The distance between nodes with the line-of-sight conditions in the F building Telkom University ie, maximum distance on the 1st floor: 84m, maximum distance on 1st floor to 2nd floor: 27m, maximum distance on 1st floor to 3rd floor: 10m. Where the distance can be combined to form *Cluster Tree* topology that is needed in the building. Comparison *Delay Time Recovery* Xbee *Series2* by 0.25s. and HC-SR04 sensor accuracy by 91%.

Keywords: *Wireless Sensor Network*, AT-Mega 8535, Xbee *Series 2* (XB24-ZB), HC-SR04, MQ-136, Visual Studio 2010, topology *ClusterTtree*

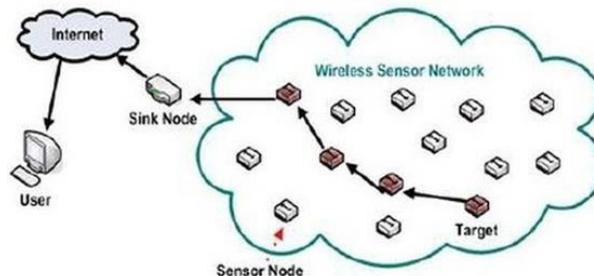
1. Pendahuluan

Informasi awal akan kondisi tempat sampah sangat membantu pencegahan menumpuknya sampah serta bau busuk yang mengganggu. Oleh sebab itu, di butuhkan suatu perangkat deteksi dan peringatan dini kondisi tempat sampah yang memberikan informasi lebih awal untuk bertindak lebih cepat dan tepat. *Wireless Sensor Network* (Jaringan sensor nirkabel) merupakan salah satu contoh metode yang tepat sebagai suatu system perangkat deteksi peringatan bau busuk dan tingkat kepenuhan sampah. *Wireless Sensor Network* banyak digunakan untuk memonitoring kondisi fisik lingkungan sekitar, seperti suhu, suara, getaran, gelombang elektromagnetik, tekanan, gerakan, dan lain-lain dengan menggunakan sensor sebagai modul pendeteksinya. Dengan keuntungan efisiensi secara operasional, dapat mengumpulkan data dalam jumlah besar dan konfigurasi *software* yang mudah. Kapanpun informasi dapat diakses melalui *server* yaitu salah satunya sebuah Laptop atau sebuah PC (*Personal Computer*).

Pada penelitian ini, akan dirancang prototype WSN menggunakan sensor yang dapat mengetahui bau busuk dan tingkat kepenuhan tempat sampah. WSN dengan modul XBee Radio Frequency (RF) yang menerapkan IEEE 802.15.4 Protokol akan digunakan sebagai modul transmisi yang bisa mengirim dan menerima aliran paket data dengan menggunakan sensor untuk membaca *output*, nilai-nilai RSSI dan menampilkannya di pusat pemantauan menggunakan Laptop melalui *Graphical User Interface* (GUI) yang dirancang dengan bantuan Program Visual Basic. Kemudian data yang dikumpulkan atau yang dikirimkan kepada koordinator nantinya akan dipantau secara *real-time*

2. Dasar Teori/Material dan Metodologi/perancangan

2.1 WSN (Wireless Sensor Network)^[6]



Gambar Error! No text of specified style in document..1 Arsitektur WSN secara umum

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 radiotransceiver atau alat komunikasi wireless lainnya, mikrokontroler, dan sumber energi.

Adapun beberapa keuntungan WSN yaitu sebagai berikut:

1. Meningkatkan efisiensi secara operasional.
2. Mengurangi total biaya sistem secara signifikan.
3. Dapat mengumpulkan data dalam jumlah besar.
4. Konfigurasi software mudah.
5. Memungkinkan komunikasi digital 2 arah atau lebih.
6. Menyediakan konektivitas internet yang secara global, kapanpun dimanapun informasi tersebut dapat diakses melalui server, laptop, dan sebagainya.

2.2 Topologi Jaringan Xbee^[8]

Jaringan topologi menggambarkan bagaimana modul radio terhubung satu-sama lain. Terdapat tiga jenis topologi utama yang digunakan pada ZigBee, yaitu :

1 Topologi Star

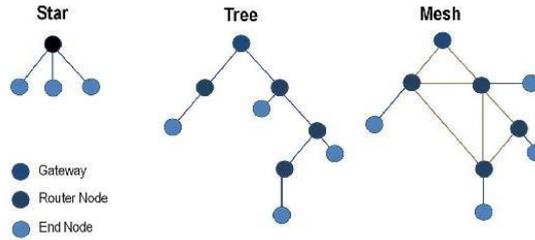
Pada topologi star komunikasi dilakukan antara perangkat dengan sebuah pusat pengontrol tunggal, disebut sebagai koordinator PAN (Personal Area Network). Setelah sebuah FFD diaktifkan untuk pertama kali maka ia akan membuat jaringannya sendiri dan menjadi koordinator PAN. Setiap jaringan star akan memilih sebuah pengenalan PAN yang tidak sedang digunakan oleh jaringan lain didalam jangkauan radionya. Ini akan mengijinkan setiap jaringan star untuk bekerja secara tersendiri.

2 Topologi Mesh (Peer to peer)

Dalam topologi peer to peer juga hanya ada satu koordinator PAN. Berbeda dengan topologi star, setiap perangkat dapat berkomunikasi satu sama lain sepanjang ada dalam jarak jangkauannya. Peer to peer dapat berupa ad hoc, Self-organizing dan self healing. Penerapannya seperti pengaturan di industri dan pemantauan, jaringan sensor tanpa kabel, pencarian aset dan inventory yang akan mendapat keuntungan dengan memakai topologi ini.

3 Topologi Cluster Tree

Cluster tree merupakan sebuah model khusus dari jaringan peer to peer dimana sebagian besar perangkatnya adalah FFD dan sebuah RFD mungkin terhubung ke jaringan cluster tree sebagai node tersendiri di akhir dari percabangan. Salah satu dari FFD dapat berlaku sebagai koordinator dan memberikan layanan sinkronisasi ke perangkat lain dan koordinator lain. Hanya satu dari koordinator ini adalah koordinator PAN. Koordinator PAN membentuk cluster pertama dengan membentuk Cluster head (CLH) dengan sebuah cluster identifier (CID) nol, memilih sebuah pengenalan PAN yang tidak terpakai dan memancarkan frame-frame beacon ke perangkat sekitarnya. Sebuah perangkat menerima frame beacon mungkin meminta untuk bergabung ke network CLH.



Gambar Error! No text of specified style in document..2 Skema topologi jaringan WSN Star, Tree dan Mesh

2.2 RF Modul Xbee Series 2[9]

Perangkat dapat digunakan untuk komunikasi topologi Star, Cluster Tree dan Mesh dengan jangkauan 40 meter indoor dan 120 meter outdoor.

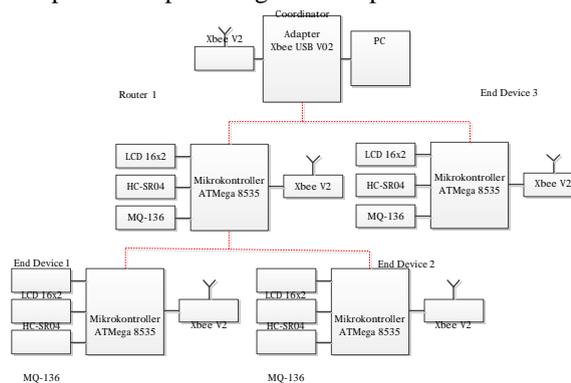
Tabel 2.1 Sesifikasi Xbee Series2

Specification	XBee Series 2
Performance	
Indoor/Urban Range	up to 133 ft. (40 m)
Outdoor RF line-of-sight Range	up to 400 ft. (120 m)
Transmit Power Output (software selectable)	2mW (+3dBm)
RF Data Rate	250,000 bps
Serial Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 230400 bps (non-standard baud rates also supported)
Receiver Sensitivity	-95 dBm (1% packet error rate)
Power Requirements	
Supply Voltage	2.8 – 3.4 V
Operating Current (Transmit)	40mA (@ 3.3 V)
Operating Current (Receive)	40mA (@ 3.3 V)
Power-down Current	< 1 uA @ 25°C
General	
Operating Frequency Band	ISM 2.4 GHz
Dimensions	0.960" x 1.087" (2.438cm x 2.761cm)
Operating Temperature	-40 to 85° C (industrial)
Antenna Options	Integrated Whip, Chip, RPSMA, or U.FL Connector
Networking & Security	
Supported Network Topologies	Point-to-point, Point-to-multipoint, Peer-to-peer & Mesh
Number of Channels (software selectable)	16 Direct Sequence Channels
Addressing Options	PAN ID and Addresses, Cluster IDs and Endpoints (optional)

3. Pembahasan

3.1 Perancangan Sistem

Perancangan perangkat dapat dilihat pada diagram blok pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

Keterangan:

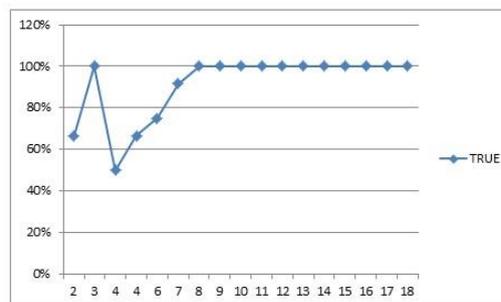
1. **Catudaya:** menggunakan adaptor 12V DC sebagai sumber tegangan yang mencatu Mikrokontroller.
2. **Mikrokontroller:** menggunakan ATmega8535 yang fungsi utamanya menerima masukan data dari sensor ultrasonik, sensor gas, menampilkan data yang diperoleh pada LCD dan memproses pengiriman data melalui RF modul Xbee.
3. **LCD Numerik:** menggunakan LCD16x2 sebagai justifikasi tampilan data yang di terima mikrokontroller.
4. **Sensor Ultrasonik:** menggunakan HC-SR04 yang mendeteksi tingkat kepenuhan sampah dengan menghitung jarak dalam satuan cm.
5. **Sensor Gas:** menggunakan MQ-136 yang mendeteksi gas H₂S (bau tidak sedap) dengan satuan ppm melalui konversi nilai ADC.
6. **Modul RF Xbee:** menggunakan Xbee Series 2 yang berfungsi mentransmisikan data dari tiap node mikrokontroller menuju koordinator.
7. **Adapter Xbee:** menggunakan Xbee USB Adapter V2 sebagai perangkat komunikasi serial dari modul RF Xbee V2 ke PC.
8. **PC (Personal Computer):** sebagai tujuan akhir transmisi data yang ditampilkan dalam GUI (*Guide User Interface*) yang menggunakan software Microsoft Visual Studio 2010 dan bahasa pemrograman Visual Basic.



Gambar 3.2 Bentuk Fisik Perangkat dari kiri ke kanan (Router-End Device 1-End Device 2-End Device 3)

3.2 Pengujian Sensor HC-SR04

Pengujian dilakukan dengan melakukan bloking pada ketinggian yang dinamis pada *Hardware box* tempat sampah yang penulis rancang. Ketinggian bloking diukur dari jarak 1 cm dari sensor hingga jarak 18 cm. Pegambilan data dilakukan dalam satu menit dimana sensor akan merekam data setiap lima detik, sehingga jumlah data untuk masing masing jarak berjumlah 12 buah. Akurasi hasil pengujian tiap jarak didapatkan dari jumlah sistem merecord data benar (sesuai jarak aktual) berbanding jumlah data pengujian tiap satuan jarak. Sedangkan untuk akurasi sensor HC-SR04 secara keseluruhan diambil dari rata rata akurasi tiap satuan jarak.



Gambar 3.3 Grafik Tingkat Akurasi Berbanding Dengan Jarak Bloking Dengan Sensor

Untuk jarak 2 cm, sistem mulai dapat mengenali jarak yang sesuai, meskipun nilainya kurang stabil antara jarak dua atau tiga cm. Meskipun pada jarak 3 cm akurasi sistem mampu mendeteksi jarak dengan sangat tepat (100%), namun pada jarak 4 cm sistem kembali mendeteksi jarak yang kurang tepat. Akurasi pada jarak 4 cm hanya bernilai 50% karena separuh data terdeteksi sebagai jarak 3cm.

Akurasi pada jarak 5cm – 7 cm mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan bahwa sensor mulai stabil. Pada jarak 5 cm akurasi sensor mencapai 67 % dan terus meningkat hingga akurasi 92% pada jarak 7 cm. Sedangkan untuk jarak 8cm hingga 18cm sistem sudah mampu mengenali jarak dengan akurasi 100%.

Setelah dilakukan perhitungan akurasi sensor HC-SR04 didapatkan rata rata akurasi sebesar 91% dengan catatan penghitungan rata rata data pada *range* 2 – 18 cm.

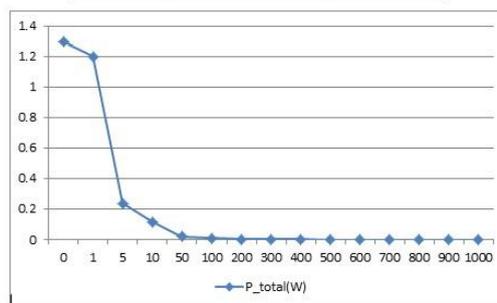
3.3 Pengujian Daya

Tujuan dari pengujian daya adalah mengetahui besar daya yang dikonsumsi oleh tempat sampah yang mengimplementasikan WSN sebagai komunikasi data. Skenario pengujian dilakukan dengan cara mengatur intensitas Xbee dalam mengirim informasi kepada sistem dengan besar catu daya yang digunakan sebesar 5 volt. Dalam satu jam, program akan mengatur berapa banyak Xbee mengirimkan update data. Intensitas paling tinggi di skenario pengujian daya ini didefinisikan sebagai kondisi tanpa delay (Xbee mengirimkan update data tiap detik). Sedangkankan intensitas terendah dibatasi dengan delay maksimal 1000 detik. Pengambilan data dilakukan sebanyak 15 data mulai dari delay 0, 1, 5, 10, 50 dan kelipatan 100.

Konsumsi daya pada mikrokontroller dengan semua beban (MQ-136, HC-SR04,LCD16x2,Xbee Series2) pada kondisi Transmit&receive dan idle dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.1Konsumsi Daya Terhadap Arus Yang Digunakan

No	Kondisi	I(A)	P(watt)
1	Transmit & Receive	0.26	1.3
2	Idle	0.22	1.1

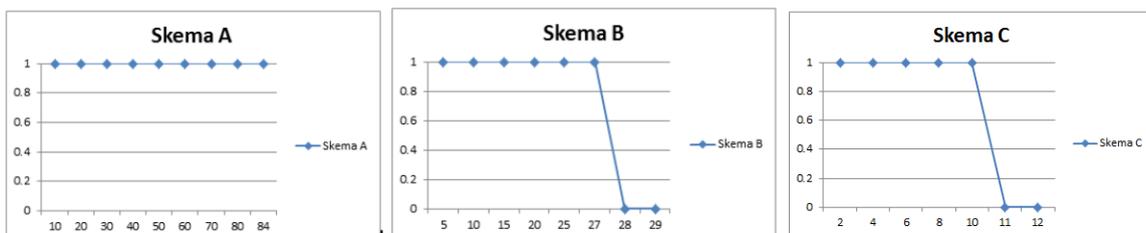


Gambar 3.4 Skema perbandingan penggunaan daya terhadap delay

Penggunaan *delay* dapat memperhemat konsumsi daya. Tingkat efisiensi daya sangat berpengaruh jika perangkat menggunakan sumber catudaya berupa baterai, namun bila perangkat menggunakan adaptor tidak terlalu berpengaruh terhadap *maintenance*. Konsumsi daya yang kecil dengan delay yang tinggi dapat menghemat konsumsi listrik, namun pada sisi monitoring semakin besar delaynya maka akan semakin sulit melihat respon yang terjadi dalam tempat sampah yang berada di lapangan. Konsumsi daya pada perangkat adalah 0.24W dengan delay 5sekon.

3.4 Pengujian Performansi WSN Dengan Perhitungan Jarak Antar Node dalam Gedung

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui jarak maksimal yang bisa diterima antar 2 *node* Xbee *Series2* pada kondisi yang berbeda-beda. Komunikasi Xbee dengan topologi *Cluster Tree* akan meneruskan data dari *End Device-Router-Coordinator* ketika masih berada dalam *range* yang dapat dijangkau antar *node* nya. Antara *Koordinator - Router dan Router – End Device* mempunyai jarak maksimum yang sama. Pengujian dilakukan di luar ruangan dengan anggapan pengelolaan bak sampah 50liter. Beberapa kondisi yang telah ditentukan pada gedung yaitu: A. Pengujian jarak antar *node* dalam 1 lantai, B. Pengujian jarak antar *node* beda 1 lantai, C. Pengujian jarak antar *node* beda 2 lantai.



Gambar 3.5 Skema Pengujian Jarak A,B,C

Pengujian ini termasuk komunikasi Xbee tipe *outdoor*, karena pengujian tidak dilakukan antar dalam ruangan. Pada komunikasi *outdoor* RF *line-of-sight* sesuai datasheet Xbee *Series2* jarak maksimalnya adalah *up to* 120m . Keterbatasan jarak gedung pada pengujian hanya mendapatkan jarak terjauh *line-of-sight* pada gedung F adalah 84, pada jarak antar lantai menggunakan fungsi *pythagoras* antara jarak pengujian dan ketinggian, jarak 1 lantai adalah 27m dan jarak 2 lantai adalah 10m.

3.5 Pengujian Topologi *Cluster Tree* Terhadap Jarak Maksimal Antar *Node*

Pada pengujian ini penulis menguji jarak maksimal yang dapat dijangkau oleh topologi *Cluster Tree* sesuai jarak maksimal yang telah di peroleh pada pengujian jarak antar *node*.

Tabel 3.2 Pengujian Topologi *Cluster Tree* Dengan Scenario Penempatan Router Pada Tiap Lantai

No	Lantai	Jarak (m)			Data pada GUI	
		Router	End Device 1	End Device 2		End Device 3
1	1	84	-	-	5	diterima
	2	-	4	27	-	
	3	-	-	-	-	
2	1	-	-	-	10	diterima
	2	4	42	84	-	
	3	-	-	-	-	
3	1	-	-	-	10	diterima
	2	-	-	-	-	
	3	8	42	84	-	

Pada pengujian 1,2, dan 3 data berhasil diterima dengan baik oleh GUI. Hal tersebut membuktikan bahwa tiap *node* dapat meneruskan data dalam *range* yang dapat dijangkaunya.

3.6 Pengujian Kondisi ON/OFF pada topologi *Cluster Tree*

Bertujuan mengetahui respon yang diterima *Coordinator* pada jarak yang ditentukan. Bagaimana pengiriman data bila *end device* masih berada dalam *range* yang dekat dan bagaimana perbedaannya bila *end device* jauh dari *coordinator*.

Tabel 3.3 Pengujian ON/OFF pada End device1,2,3 dan Router yang masih menjangkau *Coordinator* (dekat)

Kondisi di Perangkat				Data di GUI			
End Device_3	Router	End Device_1	End Device_2	End Device_3	Router	End Device_1	End Device_2
ON	ON	ON	ON	Received	Received	Received	Received
ON	OFF	ON	OFF	Received	Loss	Received	Loss
OFF	OFF	OFF	ON	Loss	Loss	Loss	Received
OFF	ON	OFF	OFF	Loss	Received	Loss	Loss

Tabel 3.4 Pengujian ON/OFF pada End device1,2,3 dan Router. Dengan kondisi End Device 1 dan 2 harus melalui Router untuk menjangkau *Coordinator* (jauh)

Kondisi di Perangkat				Data di GUI			
End Device_3	Router	End Device_1	End Device_2	End Device_3	Router	End Device_1	End Device_2
ON	ON	ON	ON	Received	Received	Received	Received
ON	OFF	ON	OFF	Received	Loss	Loss	Loss
OFF	OFF	OFF	ON	Loss	Loss	Loss	Loss
OFF	ON	OFF	OFF	Loss	Received	Loss	Loss

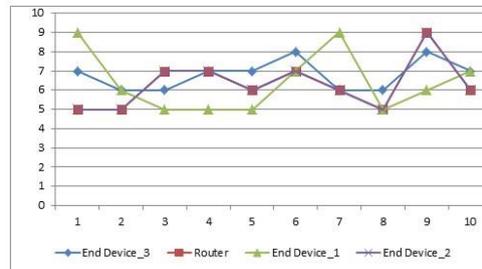
Pengujian kondisi ON/OFF pada perangkat dengan jarak yang dekat, kondisi Router tidak mempengaruhi pengiriman data End Device 1 dan End Device 2. Hal tersebut dikarenakan *Coordinator* dekat dengan End Device 1 dan 2 serta masih termasuk 1 address high juga pan id yang sama.

Pengujian kondisi ON/OFF pada perangkat dengan jarak jauh, kondisi Router mempengaruhi pengiriman data End Device 1 dan End Device 2. Hal tersebut dikarenakan End Device 1 dan 2 yang melalui Router terlalu jauh dengan *coordinator*.

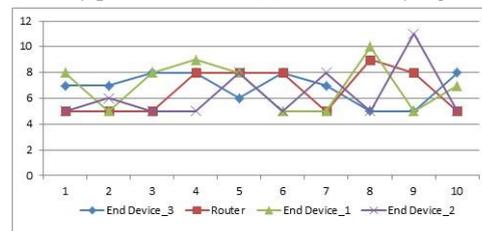
3.7 Pengujian Delay Time Recovery

Mengetahui delay yang dibutuhkan untuk mengirim data ke *coordinator* jika kondisi tiap *node* mati dan kemudian menyala kembali. Serta bagaimana perbedaan yang diperoleh melalui pengujian menggunakan 2 asumsi jarak yaitu jarak yang dekat dan jarak yang jauh pada pengujian ON/OFF sebelumnya.

Pengujian menggunakan skema yang sama dengan pengujian ON/OFF yaitu Pengujian jarak dekat dan Pengujian jarak jauh. Kondisi dilakukan ketika data sudah hilang di GUI dan memulai perhitungan delay ketika perangkat mulai dinyalakan kemudian perhitungan delay berakhir ketika data sudah tampil pada GUI.



Gambar 3.6 Pengujian Delay time Recovery pada End device1,2,3 dan Router yang masih menjangkau Coordinator (dekat)



Gambar 3.7 Pengujian Delay time Recovery pada End device1,2,3 dan Router. Dengan kondisi End Device 1 dan 2 harus melalui Router untuk menjangkau Coordinator (jauh)

Delay rata-rata yang diterima GUI lebih dari 5detik dikarenakan sinyal pengiriman pada Mikrokontroller ATMEGA 8535 telah ditetapkan sebesar 5000ms (5s), kemudian data yang dimunculkan GUI menggunakan counting 4 data. Pada pengujian delay time recovery, jika data yang masuk terhitung pada count yang terakhir maka delay terkecil adalah 5 detik, namun jika masuk pada count pertama maka delaynya 9detik. Sehingga delay default yang tersampaikan pada GUI adalah 5-9detik, jika lebih dari 9 detik maka terdapat noise. Perbandingan *Delay Time Recovery* jarak dekat 20m dengan jarak jauh 42m pada komunikasi WSN topologi *Cluster Tree* menggunakan modul XBee Series2 adalah 0.25s.

4. Kesimpulan

Dari pengujian yang penulis lakukan diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu

1. Terealisasinya sistem monitoring *real time* tempat sampah menggunakan WSN Topologi *ClusterTree* yang dapat mendeteksi bau busuk dan ketinggian sampah.
2. Akurasi sensor HC-SR04 sebesar 91% dengan catatan penghitungan rata rata data pada *range* 2 – 18 cm.
3. Pada pengujian jarak antar *node* dengan kondisi *line of sight* dalam gedung F Telkom University didapat: Jarak maksimum 1 lantai adalah 84m, Jarak maksimum beda 1 lantai 27m, jarak maksimum beda 2 lantai adalah 10m. Pengujian termasuk tipe *outdoor*, pada *datasheet* jarak maksimal *line of sight outdoor* adalah 120m, karena keterbatasan panjang gedung pengujian, jarak yang dapat diuji hanya sampai 84m.
4. Pada topologi *Cluster Tree*, *End Device* dapat mengirimkan data ke *Router* dan diteruskan ke *Coordinator* selama masih dalam jangkauan antar *nodenya*
5. Jika *End Device* masih berada pada jarak yang dapat menjangkau *Coordinator*, kondisi ON/OFF pada *Router* tidak mempengaruhi *End Device*. Data *End Device* masih bisa terkirim ke *Coordinator*.
6. Perbandingan *Delay Time Recovery* jarak dekat kondisi *End Device* dapat langsung berkomunikasi dengan *Coordinator* dengan jarak jauh *End Device* malalui *Router* kemudian menuju *Coordinator* pada komunikasi WSN topologi *Cluster Tree* menggunakan modul XBee Series2 adalah 0.25s.
7. Penggunaan *delay* dapat memperhemat konsumsi daya. Konsumsi daya pada perangkat adalah 0.24W dengan delay 5sekon

Daftar Pustaka

- [1]. Al Mamun, Md. Abdulla dkk, 2013 Wireless Sensor Network Prototype for Solid Waste Bin Monitoring with Energy Efficient Sensing Algorithm IEEE 16th International Conference on Computational Science and Engineering
- [2]. Longhi , S 2012. Solid Waste Management Architecture Using Wireless Sensor Network Technology. 5th International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS) , Istanbul Turkey
- [3]. Bokare , Madhav and Ralegaonkar, Anagha. 2012. Wireless Sensor Network. International Journal of Computer Engineering Science (IJCES)
- [4]. Piyare, Rajeev and Lee, Seong-ro. 2013. Performance Analysis of XBee ZB Module Based Wireless Sensor Networks
- [5]. Arebey, Maher dkk. 2010 RFID and Integrated Technologies for Solid Waste Bin Monitoring System. World Congress on Engineering Vol 1 (WCE). London UK
- [6]. Tchobanoglous, George and Kreith, Frank. Handbook of Solid Waste Management . 2002. New York McGraw-Hill. New York: McGraw-Hill
- [7]. Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia. 2007. Avalaibe from: <https://www.pu.go.id/uploads/services/2011-12-01-12-58-15.pdf>
- [8]. Ceu,Rna,Cr3. Tumpukan Sampah Menjadi Ancaman Masuknya Sumber Penyakit. <http://batampos.co.id/31-12-2014/tumpukan-sampah-jadi-ancaman-masuknya-sumber-penyakit>. [diakses pada 1 Januari 2015]
- [9]. B, Arifianto S.T . Modul Training Microcontroller for Beginner. Avalaibe from: [http://students.ukdw.ac.id/~robotic/Training%20Microcontroller%20For%20Beginner%20\(B.%20Arifianto\).pdf](http://students.ukdw.ac.id/~robotic/Training%20Microcontroller%20For%20Beginner%20(B.%20Arifianto).pdf)
- [10]. Mikrokontroler ATMega 8535. <http://sistemkomputer.fasilkom.narotama.ac.id/?p=204>. [diakses pada 1 Januari 2015]
- [11]. Abadi, Delta Agus Setya. Sensor Ultrasonik sebagai Alat Navigasi Robot pada Robot Pemadam Api Berbasis Mikrokontroler ATMega 8535. Semarang. 2008. Avalaibe from: <http://eprints.undip.ac.id/20399/1/fix.pdf>
- [12]. Wireless Sensor Network (WSN) dan algoritma PEGASIS. 2012 <http://giaz.weebly.com/blog/category/wireless>. [diakses pada 1 Januari 2015]
- [13]. Bab II Landasan Teori. Avalaibe from: <http://elib.unikom.ac.id/files/disk1/452/jbptunikompp-gdl-harkaputra-22572-2-unikom-h-i.pdf>
- [14]. Ensiklopedia Wireless Xbee Pro. http://digilib.tes.telkomuniversity.ac.id/index.php?option=com_content&view=article&id=1142:modul-wireless-xbee-pro&catid=9:wireless&Itemid=14 [diakses pada 1 Januari 2015]
- [15]. Thamrin. Analisis Kinerja Jaringan Wpan Zegbe Dengan Topologi Cluster Tree. Padang. 2014. Avalaibe from: <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=134977&val=5447>
- [16]. XBee™ Series 2 OEM RF Modules. Avalaibe from: <http://www.farnell.com/datasheets/27606.pdf>
- [17]. I love Elektronika. <http://akucintaelektronika.blogspot.com/2012/10/apa-sih-sensor-ultra-sonic-itu.html>. [diakses pada 1 Januari 2015]
- [18]. Contoh Makalah Sensor Jarak Menggunakan Arduino Uno. <http://catatanmusluk.blogspot.com/2014/08/contoh-makalah-sensor-jarak-menggunakan.html>. [diakses pada 1 Januari 2015]
- [19]. H₂S, Giggenbach, W. (1971). *Inorg. Chem.* 10:1333. Meyer, B.; Ward, K.; Koshlap, K.; & Peter, L. (1983). *Inorg. Chem.* 22:2345. Myers, R. J. (1986). *J. Chem. Educ.* 63:687. (tentang H₂s)
- [20]. Technical Data MQ-136 Gas Sensor. Avalaibe from: <http://www.sensorica.ru/pdf/MQ-136.pdf>