

Desain *Real-Time Monitoring* Berbasis *Wireless Sensor Network* Upaya Mitigasi Bencana Erupsi Gunungapi

Johan Pamungkas¹, Wirawan²

Abstract— *Geological layout contributes Indonesia in becoming one of the most dangerous countries with natural disasters. The eruption of volcano is one of the most dangerous natural disasters in the world. However, our efforts in disaster mitigation is not enough, especially in developing new mitigation technology. We already know that the Wireless Sensor Network (WSN) technology can be an alternative electronic communications technology that can be used in disaster mitigation because the WSN has the ability to communicate using Radio Frequency (RF) and can be connected to a digital or analog sensor. Then, the Computer Personal Unit (CPU) in WSN is used to run the protocols, such as hop-to-hop protocols. Later, we can build a monitoring system that have small size, energy saving, low cost, and capable to show real-time monitoring. The problem that must be solved in this research is how to make a design communication based on WSN that have accordance with the extreme conditions like at Kelud Volcano. Currently, with utilization of temperature sensor and gas sensor and delivery schedule of data packets as parameters, we want to find how to test the design with minimal electricity supply.*

Intisari— Letak geologis menyebabkan Indonesia menjadi salah satu negara yang rentan dengan bencana alam. yang salah satunya adalah bencana erupsi gunung api. Hal ini berbanding terbalik dengan upaya mitigasi bencana yang belum banyak dilakukan dan dikembangkan teknologinya di Indonesia. Di sisi lain, kita ketahui bahwa teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) bisa menjadi salah satu alternatif teknologi komunikasi elektronika yang menjanjikan karena WSN sudah memiliki kemampuan berkomunikasi menggunakan *Radio Frequency* (RF) yang dapat dihubungkan dengan sebuah *digital sensor*. Kemudian, *Computer Personal Unit* (CPU) digunakan untuk menjalankan protokol-protokol, misalnya *hop-to-hop protocols*, sehingga nantinya dapat dibuat sebuah sistem monitoring yang memiliki ukuran yang kecil, hemat energi, berbiaya rendah, serta mampu melakukan *real-time monitoring*. Permasalahan disini adalah bagaimana membuat desain komunikasi dengan berbasis WSN yang sesuai dengan kondisi yang ekstrem di Gunung Kelud saat ini, dengan memanfaatkan sensor suhu dan sensor gas serta memanfaatkan penjadwalan pengiriman paket data sebagai parameter pengujian dengan kondisi tempat pengujian yang minim dengan pasokan tenaga listrik.

Kata Kunci— *Wireless Sensor Network, Sensor Gas, Gunung Api, Sensor Temperatur*

I. PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara yang terletak pada titik pertemuan antara lempeng-lempeng litosfer; lempeng Indo-Australia, lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik akibat

dari lapisan bebatuan yang ada di Indonesia. Lapisan bebatuan tersebut terbagi menjadi beberapa bagian yaitu: Indonesia daerah bagian barat dilalui oleh deretan Pegunungan Muda Mediterania yang merupakan gugusan dari pegunungan Himayala, sedangkan di Indonesia bagian timur merupakan gugusan pegunungan sirkum pasifik. Indonesia termasuk memiliki jumlah gunung api yang dikategorikan aktif terbanyak di dunia, yaitu sebanyak 127 gunungapi dan dari jumlah tersebut hanya 70 gunung yang dipantau oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologis (PVMBG) diantaranya yang baru bisa termonitoring. (Hendrajaya, Bayu, 2015).

Bencana erupsi gunung Merapi pada tahun 2010 mengakibatkan kerusakan dan kerugian serta korban jiwa meninggal sebanyak 123 jiwa, 147 orang korban diharuskan dirawat inap serta sebanyak 56.414 jiwa harus diungsikan dari tempat tinggalnya (BPD DIY, 7 Nopember 2010). Bencana erupsi gunung Merapi yang terjadi pada tahun 2010 tidak hanya menyebabkan kerugian secara material saja tetapi juga secara ekonomi juga karena lima kecamatan yang berada di sekitar wilayah rawan bencana tersebut seperti Kecamatan Cangkringan, Kecamatan Pakem, Kecamatan Turi, Kecamatan Tempel dan Kecamatan Ngemplak lumpuh secara aktifitas ekonomi (Republika, 2010).

Studi tentang erupsi gunung api secara tidak langsung harus mempelajari struktur dalam gunung api itu sendiri dan mencari cara bagaimana membedakan sinyal-sinyal yang diterima sensor dalam upaya mengidentifikasi apakah sinyal tersebut akan menyebabkan erupsi pada gunung api yang diamati. (G. Werner, 2005).

Penggunaan teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) sebagai alat untuk pengamatan aktifitas gunung api diawali oleh G. Werner dan J. Johnson Allen pada tahun 2004 untuk mengamati aktivitas gunung Tungurahua, Ekuador Tengah. Pada saat itu masih digunakan sensor akustik berfrekuensi rendah dengan sistem *ad-hoc*, tidak *real-time* dan *single-hop*. Kemudian dilanjutkan dengan implementasi di gunung yang berbeda yaitu di Gunung Reventador, Ekuador Utara tetapi dengan jaringan yang berbeda dengan penelitian sebelumnya. Dalam penelitian sebelumnya, yang semula menggunakan sistem *single-hop*, diubah menjadi sistem *multi-hop* dan transmisi *base-to-base*. Perkembangan implementasi WSN untuk pengamatan aktifitas gunung api tidak berhenti di situ saja, tetapi dilakukan juga oleh dua peneliti lain yaitu oleh Z. Song dan R. Huang dengan proyek OASIS dengan cara menerapkan desain algoritma yang baru sehingga mampu memperbaiki kinerja, dari upaya meningkatkan resolusi data yang dihasilkan dan dikirimkan ke *base station*. Implementasi WSN pada penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada bagaimana mengembangkan WSN yang memiliki kemampuan untuk mengumpulkan data dalam bentuk *raw* dengan ukuran data yang beresolusi tinggi yang dikirim ke *base-station* saja.

¹Mahasiswa Pascasarjana, Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Gedung B, C dan AJ Kampus ITS Sukolilo – Surabaya 60111, Jawa Timur INDONESIA (e-mail: johan.pamungkas11@mhs.ee.its.ac.id)

²Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Gedung B, C & AJ Kampus ITS Sukolilo – Surabaya 60111, Jawa Timur INDONESIA

Perkembangan teknologi piranti elektronika yang seiring dengan perkembangan protokol komunikasi dan informasi yang ada sekarang telah membawa kita menuju suatu sensor (alat deteksi) generasi baru yang murah, akurat dan memiliki daya jangkauan yang lebih luas. Kemajuan di bidang desain, material dan perancangan konsep jaringan komunikasi akan membawa dampak positif pada *power*, *life-time*, *cost* dan kinerja sensor itu sendiri secara signifikan sehingga didapat sensor dengan kemampuan teknologi deteksi (*sensing*) yang lebih baik.

Perkembangan teknologi deteksi yang murah, akurat dan memiliki daya jangkauan yang lebih luas diwujudkan dalam sebuah bentuk jaringan sensor (*networked sensor*). Jaringan sensor itu sendiri berbentuk satu kesatuan dari proses pengukuran, komputasi, dan komunikasi yang memberikan kemampuan administratif kepada sebuah perangkat, observasi, dan melakukan penanganan terhadap setiap kejadian dan fenomena yang terjadi di lingkungan. Dalam kondisi seperti itu tidak dimungkinkan komunikasi menggunakan kabel, tapi perlu adanya suatu jaringan nirkabel untuk nantinya menguatkan paket data yang bertujuan menyampaikan data informasi dari *single-node*. Dengan teknik ini dimungkinkan area yang terjangkau pada komunikasi itu lebih luas. Hal ini diterapkan pada WSN.

Pada makalah ini akan dibuat suatu desain *real-time monitoring* berbasis WSN yang sesuai dengan kondisi kebutuhan di Gunung Kelud, Jawa Timur. Gambaran desain secara umum serta gambaran topologi jaringan yang digunakan dalam makalah ini akan ditampilkan dalam Bagian II sedangkan untuk hasil pengujian akan ditampilkan dalam Bagian III

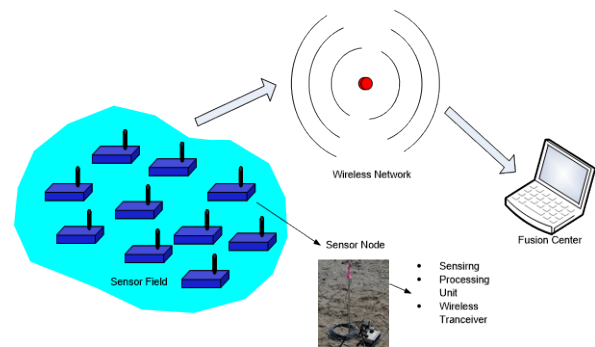
II. WIRELESS SENSOR NETWORK

A. Wireless Sensor Network (WSN)

WSN adalah suatu kelompok sensor pintar (*smart sensors*), yang masing-masing titik sensornya memiliki kemampuan untuk merasakan (*sensing*), memproses dan berkomunikasi. Tetapi apabila dikembangkan dalam hal jumlah atau dihubungkan satu sama lain menjadi sebuah jaringan, maka akan dapat melakukan fungsi pengawasan (*monitoring*) terhadap suatu keadaan fisik bumi secara kolektif. Pada awalnya aplikasi jaringan sensor nirkabel seakan-akan hanyalah ada dalam imajinasi saja. Namun banyaknya tantangan yang datang dan perilaku alam yang tidak menentu menyebabkan teknologi ini berkembang melebar dan mendalam, mulai dari protokol jaringan yang dipakai, *provisioning* tenaga, sampai pada model pemrograman.

Seperti dijelaskan di atas, WSN tersusun dari banyak miniatur sensor, yang masing-masing individu memiliki kemampuan untuk merasakan dan berinteraksi dengan alam, memproses data yang telah dikumpulkan, serta dapat melakukan komunikasi secara vertikal (sesama *sensor node*), maupun secara horizontal (dengan *base-station*) tanpa melalui kabel. Dan komunikasi secara nirkabel juga memberikan nilai tambah bagi teknologi ini, karena data yang ditransmisikan dapat didistribusikan dengan algoritma yang cerdas, sehingga

jaringan ini dapat melakukan pengaturan secara mandiri (*self-organize*).



Gbr. 1 Arsitektur WSN [10].

B. Zigbee Protocol (Standar IEEE 802.15.4)

Zigbee adalah salah satu protokol yang ada dalam *wireless network* yang didesain oleh Zigbee Alliance. Konstruksi *Physic Layer*, *Network Layer*, *Application Layer*, dan *Security Layer* dibuat berdasarkan standar IEEE 802.15.4. Zigbee memiliki keuntungan dibandingkan jenis lainnya, yaitu antara lain Zigbee memiliki bentuk yang minimalis serta kemudahan dalam pengoperasiannya.

TABEL I
PERBANDINGAN KOMUNIKASI JARAK PENDEK [12]

	Zigbee™ (IEEE 802.15.4)	Bluetooth™ (IEEE 802.15.1)	WiFi™ (IEEE.802.11.b)
Kecepatan Maksimal	250 kbps	1 Mbps	11 Mbps
Jangkauan	>10 m	10-100 m	100 m
Konsumsi daya	sangat rendah	rendah	menengah
Kompleksitas	sangat rendah	menengah	tinggi

Zigbee didesain untuk memiliki kemampuan melakukan komunikasi jarak pendek, yaitu komunikasi dengan jarak rentang sekitar 50 m sampai dengan 100 m. Sedangkan dalam hal kecepatan, komunikasi yang dapat dilakukan oleh Zigbee berkisar sampai dengan 250 kbps. Sebagai perbandingan dengan sistem komunikasi jarak pendek lainnya, WiFi memiliki kecepatan komunikasi hingga 54 Mbps. Tabel I menunjukkan perbandingan beberapa sistem komunikasi jarak pendek

C. Mendesain Wireless Sensor Network

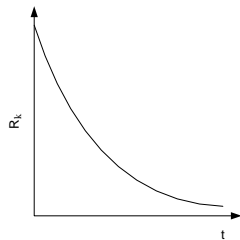
Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam mendesain suatu WSN antara lain:

- Ketahanan jaringan terhadap kegagalan sensor
 Dalam pengimplemetasiannya akan sering dijumpai sensor yang akan mengalami kerusakan, kegagalan atau tidak dapat menjalankan tugas atau fungsinya sebagaimana seharusnya. Hal ini bisa disebabkan oleh habisnya daya atau kerusakan yang disebabkan oleh lingkungan yang terlalu ekstrem misalnya terkena goncangan atau tekanan. Kerusakan pada sensor akan mempengaruhi kinerja

deteksi sistem secara keseluruhan, atau biasa disebut *reliability*, yaitu kemampuan suatu sistem untuk tetap bekerja dengan baik walaupun terdapat sensor yang rusak. Toleransi kegagalan sensor atau *reliability* dapat dimodelkan menggunakan distribusi *Poisson* untuk mengetahui tidak terjadinya kegagalan sensor dalam interval waktu (o, t) : [9].

$$R_k(t) = \exp(-\lambda t) u(t) \tag{1}$$

dengan λ_k adalah *failure rate* sensor ke-k, dan t adalah waktu.



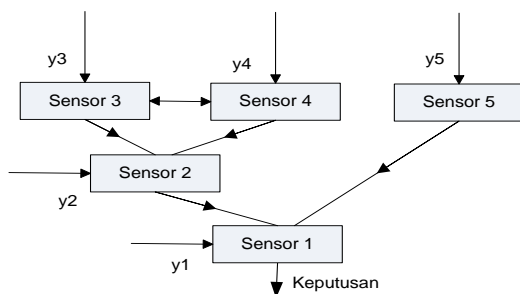
Gbr. 2 Reliability Sensor sebagai Fungsi dari Waktu [10].

- **Skalabilitas**
Sensor yang disebar untuk melakukan deteksi dapat berjumlah ratusan bahkan ribuan, bergantung pada aplikasinya. Kerapatan sensor pada suatu daerah dengan luasan A dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\mu(R) = (N\pi R^2)/A \tag{2}$$

A = Luasan daerah yang diamati
N= jumlah nodes yang tersebar pada luasan A
R= rentang transmisi radio

- **Topologi jaringan**
Jaringan sensor nirkabel mempunyai beberapa topologi jaringan tergantung distribusi sensor dan *fusion center*. Ada tiga topologi utama yang digunakan dalam jaringan sensor nirkabel, yaitu *seri*, *paralel* dan *tree*.



Gbr. 3 Topologi Tree Pada WSN [11]

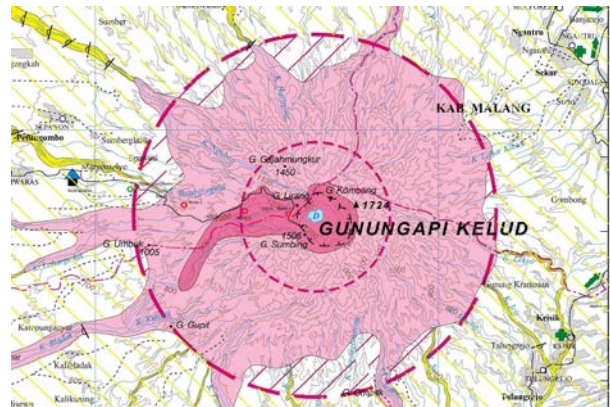
Pada topologi *Tree*, keputusan dibuat pada masing-masing sensor berdasarkan hasil observasi dan keputusan sensor *intermediate* [11]. Gbr. 3 menunjukkan topologi *Tree*.

III. METODOLOGI

Metode yang dilakukan pada makalah ini adalah sebagai berikut.

A. Perancangan Sistem

Di sini akan digunakan Xbee Pro dengan 2,4 Ghz sebagai perangkat komunikasi elektronika. Sistem yang dibangun dalam makalah ini didasarkan pada kondisi lapangan Gunung Kelud, Jawa Timur. Tiga *sensor node* akan ditempatkan di tiga titik yang sudah ditentukan di sekitar kawah Gunung Kelud. Masing-masing *sensor node* akan mengukur suhu dan kandungan gas karbon monoksida menggunakan *DT Sensor Temperature Module* dan *Gas Sensor MQ-7*. Kemudian hasil dari *data-logging* tersebut akan dikirimkan ke *sink node* lalu dengan penjadwalan pengiriman paket akan diteruskan ke *Base-Station*.



Gbr. 4 Desain umum sistem.

B. Topologi Wireless Sensor Network

Sesuai dengan gambar, topologi *tree* digunakan dalam makalah ini, sedangkan Zigbee protokol digunakan karena bisa digunakan untuk mengatur komunikasi antar *node* dengan jarak pendek (>10m). Kelebihan penggunaan topologi *tree* adalah konsumsi energi listrik masing-masing *node* akan lebih hemat. Sedangkan untuk *sink node* dipilih yang memiliki kemampuan untuk mengirimkan data dari *node coordinator* ke *Base-Station* yang berada di Margomulyo sehingga data yang dikirimkan harus memiliki kemampuan mengirimkan data dengan jarak lebih dari 1km.

C. Parameter Unjuk Kerja Jaringan

1) **Packet Loss:** *Packet loss* dapat didefinisikan sebagai kegagalan transmisi paket mencapai tujuan.

2) **Throughput:** *Throughput* dapat diartikan sebagai jumlah total paket yang berhasil dikirim dibagi total waktu pengiriman. Secara matematis dituliskan sebagai:

$$\eta = \frac{N}{\tau} x 8 \quad (bps) \tag{2}$$

η = *throughput*,
N = total paket data yang diterima,
= total waktu untuk transmisi.

3) *Waktu Kirim: End-to-end delay* adalah jumlah waktu yang digunakan oleh sebuah paket ketika dikirim oleh sebuah *node* dan diterima di *node* tujuan. *End-to-end delay* juga merupakan waktu pengiriman, propagasi, proses dan antrian dari suatu paket pada setiap *node* di jaringan.

$$\Delta t = t_t - t_0 \tag{3}$$

$\Delta t = \text{end-to-end delay}$

$t_t = \text{waktu terima,}$

$t_0 = \text{waktu kirim}$

4) *Pengujian Jarak Jangkauan:* Jarak jangkauan transmisi diukur berdasarkan jarak terjauh dari peletakkan *sensor node* untuk dapat mentransmisikan data dengan baik ke *node server*.

D. Pemilihan Protokol Komunikasi dan Sistem Pengalamatan Node

Pemilihan protokol komunikasi data mempertimbangkan kebutuhan *bandwidth* dalam tiap pengukuran/*monitoring*. Metode secara kontinu memerlukan pengukuran dengan waktu yang lama dan tiap data per satuan waktu nantinya menjadi bahan analisis. Persamaan untuk menentukan kecepatan data pada metode kontinu dinyatakan dalam (4):

$$D_{cont} = (N_c S + b_{start} + b_{address} + b_{stop}) f_s \tag{4}$$

$N_c = \text{jumlah channel atau jenis data sensor}$

$S = \text{ukuran sampling, Gas} = 8 \text{ bit dan Suhu} = 8 \text{ bit (bit)}$

$b_{address} = \text{ukuran bit } b_{address}$,

$b_{start} = \text{ukuran bit } b_{start}$, ukuran bit pada makalah ini 8 bit (bit)

$b_{stop} = \text{ukuran bit } b_{stop}$, ukuran bit pada makalah ini 8 bit (bit)

$f_s = \text{frekuensi sampling (Hz)}$

$t = \text{durasi pengukuran (detik)}$

Dalam mengkaji kebutuhan kecepatan data pada Tabel I maka pada makalah ini digunakan protokol standar IEEE 802.15.4/Zigbee yang mempunyai kecepatan data 250 kbps sehingga dapat memenuhi kebutuhan kecepatan data pada sistem.

Pada Gbr. 5 ditunjukkan jalur proses penerimaan data di *node server*. *Node server* menerima data dari *node sensor* 1 dan menerima data dari *node sensor* 2 melalui *node sensor* 1. Data yang diterima oleh *node server* melalui *interface* serial kemudian dipisahkan (*parsing data*) untuk memisahkan data sensor dengan *header*-nya dan menyimpan data tersebut dalam file **.txt*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bagian ini akan dijelaskan hasil yang sudah didapatkan dari pengujian yang sudah dilakukan.

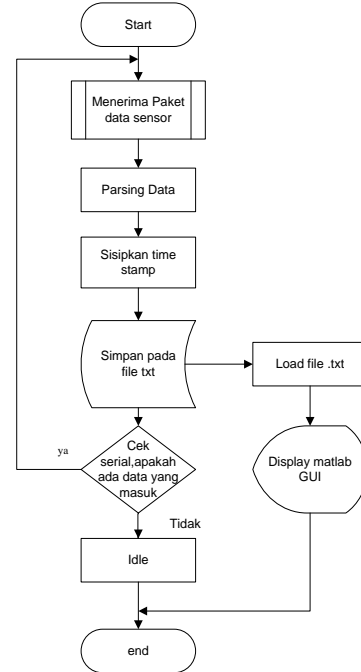
A. Realisasi Hardware dan Software

Node sensor dibuat dengan menggunakan *Board Arduino UNO*, Sensor yang digunakan adalah sensor suhu *DT temperature Sensor Module* dan *gas sensor* karbon monoksida menggunakan MQ-7 serta Xbee Pro Series.

Untuk *Sink Node* digunakan Xbee Pro Series dan Laptop dengan spesifikasi Intel Core i5-2450M, 4G DDR3 dan 500 GB HDD.

B. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan skenario menempatkan serta mengubah jarak antara *node 1* dan *node 2* untuk mengetahui jangkauan jarak maksimum. Sedangkan sensor yang digunakan dalam pengujian sistem ini adalah sensor LM35 yang berfungsi sebagai sensor suhu atau *temperature sensor*. Dari Tabel II dapat dilihat hasil pengujian pengiriman data pada masing-masing *node 1* dan *node 2* dalam 1 menit.



Gbr. 5 Diagram alur penerimaan data di *Sensor Node*.

TABEL II
BANYAK PAKET YANG DITERIMA MASING-MASING NODE DALAM 1 MENIT

Jarak	Paket data yang diterima dalam 1 menit	
	Node 1 (byte)	Node 2 (byte)
100 m	132003	120600
200 m	122400	108000
300 m	110400	85200
400 m	78000	52680
500 m	51780	12000

TABEL III
HASIL PENGUJIAN THROUGHPUT

Jarak	Throughput Node 1 (KBps)	Throughput Node 2 (KBps)
100 m	2.2	2.01
200 m	2.04	1.8
300 m	1.84	1.42
400 m	1.3	0.878
500 m	0.863	0.2

Pengujian jarak jangkauan Xbee dilakukan dengan dua cara yaitu saat kondisi *Line-of-Sight* (LOS) sehingga didapatkan hasil seperti pada Tabel IV dan kondisi *Non-Line-of Sight* (NLOS), yang hasilnya seperti ditunjukkan dalam Tabel V.

TABEL IV
HASIL PENGUJIAN SAAT KONDISI LOS

Jarak	Paket yang dikirim	Paket yang diterima	Keterangan
50 m	@0110.1906#	@0110.1906#	Terkirim
100 m	@0110.1906#	@0110.1906#	Terkirim
150 m	@0110.1906#	@0110.1906#	Terkirim
300 m	@0110.1906#	@0110.1906#	Terkirim
400 m	@0110.1906#	@0110.1906#	Terkirim
500 m	@0110.1906#	@0110.1906#	Terkirim
525 m	-	-	Tidak Terkirim

Dari Tabel IV dapat dilihat bahwa pada saat kondisi LOS didapatkan jarak terjauh yang bisa diterima oleh *node sink* adalah sebesar 500 m. Pada jarak tersebut data dari *node sensor* masih bisa diterima dengan baik. Sedangkan pada saat diuji pada jarak lebih dari 500 m data dari *node sensor* tidak bisa lagi diterima atau tidak terkirim.

TABEL V
HASIL PENGUJIAN SAAT KONDISI NLOS

Posisi Node Server	Posisi Node Sensor	Jarak	Paket yang diterima Node server	Keterangan
Lab. Wireless	Lab PLC	15 m	@0110.1906#	Terkirim
Lab. Wireless	Lab Digital	15 m	@0110.1906#	Terkirim
Lab. Wireless	Lab Elektronika	25 m	@0110.1906#	Tidak Terkirim
Lab. Wireless	PPTI	15 m	@0110.1906#	Terkirim
Lab. Wireless	PJM	30 m	@0110.1906#	Tidak Terkirim
Lab. Wireless	Ruang Conference	40 m	@0110.1906#	Tidak Terkirim

Pada kondisi NLOS, Xbee diuji dengan cara mengubah-ubah jarak antara *node* pengirim dan *node* penerima. Dari pengujian tersebut didapatkan hasil bahwa dalam jarak rentang 15 m, paket yang dikirim masih bisa diterima dengan baik oleh *node* penerima. Dan hal yang sama juga terjadi ketika *node* diubah-ubah letaknya di PPTI dan Lab Digital. Namun kondisi menjadi berbeda ketika dalam pengujian, *node*

server diletakkan di Lab. *Wireless* sedangkan *node sensor* diletakkan di PJM dan Ruang Conference. Paket yang dikirimkan tidak bisa terkirim karena adanya penghalang yang lebih banyak serta jarak yang lebih besar yaitu 30 m dan 40 m

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil perancangan sistem dan pengujian sistem, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Protokol Zigbee/IEEE 802.15.4 dapat diimplementasikan pada sistem *real monitoring* gunung api.
- Jarak jangkauan maksimum pada tiap *node sensor* pada kondisi LOS adalah 500 m sedangkan jarak jangkauan tiap *node* pada kondisi NLOS pada makalah ini hanya berkisar 15 m tergantung jenis material penghalang.
- Semakin jauh jarak antar *node* maka nilai *throughput* yang dihasilkan semakin kecil.

B. Saran

Beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut:

- Sebaiknya digunakan jumlah titik *node* yang lebih banyak sehingga didapatkan akurasi data yang lebih baik.
- Diperlukan studi lanjutan mengenai pengaruh desain topologi terhadap akurasi pengujian *node sensor*.

REFERENSI

- G. Werner-Allen, J. Johnson, M. Ruiz, J. Lees, and M. Welsh. "Monitoring Volcanic Eruption With A Wireless Sensor Network". EWSN. 2005 : 108-120.
- Akyldiz, I.F, Ismail H. Kasimoglu, "Wireless Sensor and Actor Networks: Research Challenges", Ad Hoc Networks vol 2, (2004), 351-367.
- Waltenegus, D., dan Cristian,P., "Fundamentals Of Wireless Sensor Networks", John Wiley & Sons,Ltd, 2010.
- Zigbee Alliance, "Smart Energy Profile Specification", version1.0, march. 11.2009.
- M. Nahvi, J. Edminister, "Schaum's Outlines Of Theory And Problems Of Electric Circuits", Fourth Edition, 2003.
- Wirawan, Sjamsjiar, R. Istas, P, Nagahisa Mita, "Desain of Low Cost Wireless Sensor Networks-Based Environmental Monitoring Sistem for Developing Country", Japan, 2008.
- W. Dargie, & C. Poellabauer, "Fundamentals of Wireless Sensor Networks Theory and Practice" John Wiley and Sons, Ltd. 2010.
- F. L. Lewis, "Wireless Sensor Networks", To appear in Smart Environments: Technologies, Protocols, and Applications, ed. D.J. Cook and S.K. Das, John Wiley, New York, 2004.
- ZigBee Specification 053474r17, Jan. 2008; available from www.zigbee.org.
- Akyildiz, I.F, Sankarasubramaniam, Y, dan Cayirci, E. (2002), "A Survey on Sensor Network", IEEE Commun Mag, hal. 102-114.
- Swami, A. Zhao, Hong, YW, (2007), "Wireless Sensors Network Signal Processing and Communications Perspectives", John Wiley & Sons Inc.
- S. Farani, "Zigbee Wireless Network and Transcievers". Elsevier Science & Technology Right Departement Oxford, UK, 2008.