

Implementasi Jaringan Sensor Nirkabel Sebagai Basis Sistem Peringatan Dini Bahaya Tanah Longsor

Godliet Erwin Samuel Mige

Jurusan Pendidikan Teknologi Kejuruan, Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Nusa Cendana, Kupang

Email: godlietverwin@yahoo.com

Abstrak

Frekuensi bencana tanah longsor semakin meningkat pada musim penghujan. Hal ini karena tingkat vegetasi yang rendah pada kontur tanah yang relatif curam. Selain itu tidak ada sistem peringatan dini yang terpasang pada daerah-daerah kritis. Pada penelitian ini Jaringan Sensor Nirkabel (Wireless Sensor Network (WSN)) dirancang untuk memantau dan mendeteksi terjadinya tanah longsor, dengan cara membaca getaran, baik pada permukaan maupun pada bagian dalam tanah longsor dengan menggunakan sensor getaran (*accelerometer*), serta dapat memantau pergeseran permukaan tanah longsor dengan fasilitas sensor *Geographic Possition System* (GPS). Kinerja dari jaringan yang telah dibuat diuji untuk mengetahui kualitas performanya, kemudian dilakukan pengamatan terhadap konsumsi arus selama jaringan tersebut bekerja pada objek pantau, yaitu tanah longsor buatan. Berdasarkan hasil pengukuran dan analisa data menunjukkan bahwa jaringan sensor nirkabel yang telah dibangun dapat memantau aktivitas getaran tanah longsor dengan sensitivitas $\pm 17\%$, serta dapat membaca posisi pergerakan permukaan tanah longsor dengan tingkat kesalahan hanya 0,00014%. Dalam melakukan komunikasi data satu dengan lainnya, *delay* transmisi maksimum yang terukur adalah 1,275 detik, dan *delay* minimum sebesar 0,98 detik. Kemudian paket data yang hilang selama 12 jam waktu pengukuran maksimum sebesar $\pm 2\%$, dan konsumsi arus dari WSN dalam memantau aktivitas tanah longsor mencapai lama ketahanan ± 11 jam.

Abstract

Landslide disaster frequency increasingly increases at rain season. This thing is because level of low vegetation at soil; land; ground contour that is steep relative. Besides there is no forewarning system attached at stall areas. At this research, Wireless Sensor Network (WSN)) designed to watch and detects the happening of landslide, by the way of reading vibration, either at surface or at landslide interior by using vibration censor (*accelerometer*), and can watch friction of surface of landslide with facility of *Geographic Possition System* (GPS) sensor. Performance from network which has been tested to know quality of its the performance, then is done observation to consumption of current during the network works for watcher object, that is artificial landslide. Based on result of measurement and data analysis indicates that censor network nirkabel which has been built able to watch vibration activity of landslide with sensitivity 17%, and can read position of movement of surface of landslide with level of mistake 0.00014% only. In doing data communication one otherly, delay measurable maximum transmission is 1.275 seconds, and delay a minimum of 0.98 seconds. Then data package losing during 12 hours maximum measurement time equal to $\pm 2\%$, and consumption of current from WSN in watching landslide activity to reach resilience stripper of ± 11 hours.

Keyword : WSN, Environment Monitoring, Landslide, Accelerometer, GPS

1. Latar Belakang

Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) secara umum terkenal sebagai provinsi yang tingkat curah hujannya sangat rendah, dengan tingkat vegetasi yang rendah serta dengan konsentrasi dan penyebaran yang tidak merata. Dengan kondisi topografi yang berbukit-bukit dengan sudut

kemiringan yang curam serta ketendusannya, maka pada musim penghujan sering terjadi longsor pada daerah pemukiman, pertanian serta prasarana jalan raya. Frekuensi bencana alam longsor dari tahun ke tahun mengalami peningkatan. Sepanjang tahun 2002 sampai tahun 2010, terjadi hampir sebagian besar pulau Jawa, Sumatera, Sulawesi, Timor dan pulau-pulau lain di Indonesia.

Bencana tersebut mengakibatkan kerugian baik materil maupun non-materil.

Semua kerugian dan korban akibat bencana longsor diatas dapat ditekan atau bahkan dihindari bila ada suatu sistem peringatan dini yang dapat memberikan data keadaan pergerakan tanah secara kontinu. Tujuan dari penelitian ini adalah mengaplikasikan Jaringan Sensor Nirkabel atau *Wireless Sensor Network (WSN)* pada tanah longsor (*landslide*) untuk mempermudah memahami karakteristik pergerakan tanah longsor, sehingga dapat dihasilkan suatu sistem yang dapat memantau serta mendeteksi kapan tanah longsor terjadi dan mengetahui bagaimana sifat pergerakannya.

Pada penelitian ini, WSN dirancang untuk dapat memantau dan mendeteksi terjadinya tanah longsor dengan cara membaca getaran tanah baik pada permukaan maupun pada bagian dalam, serta dapat memantau pergerakan permukaan tanah longsor. Metode yang digunakan adalah dengan mempelajari semua fitur pada WSN, kemudian merancangnya untuk mendeteksi dan memberikan data pergerakan tanah. Jaringan sensor yang sudah dibangun kemudian diujicobakan pada sebuah media berupa prototipe yang mewakili kondisi nyata pada daerah rawan bencana tanah longsor di NTT. Hasil percobaan tersebut dijadikan dasar untuk mengimplemantasikan pada daerah rawan. Data sensor hasil deteksi pergerakan tanah dapat diintegrasikan dengan suatu jaringan yang lebih luas, sehingga dapat dipantau dari tempat lain yang jauh. Data sensor juga dimungkinkan untuk direspon oleh perangkat lain yang diintegrasikan dengan sistem dengan tujuan untuk memberi peringatan secara audio, misalnya dengan menghidupkan sirene. Penelitian juga memungkinkan adanya suatu ide atau inovasi baru, mengingat fitur WSN yang banyak dan terbuka untuk rekayasa atau integrasi dengan peralatan maupun sistem lain. Diharapkan akhirnya akan tercipta sebuah **Sistem Peringatan Dini (SPD)** yang terhubung pada sebuah sistem manajemen pengendalian bencana secara terpusat di NTT.

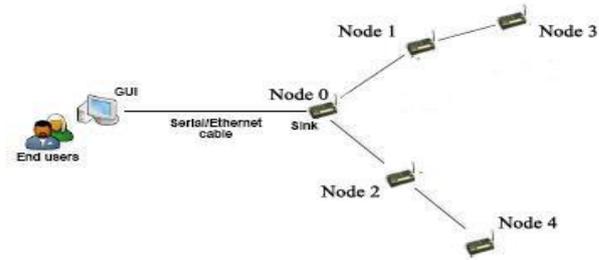
2. Metode Penelitian dan Implementasi

2.1 Perencanaan Topologi Sistem

Model topologi jaringan yang digunakan pada penelitian ini adalah topologi *tree*, yang berarti penempatan dan pembagian fungsi dari masing-masing komponen dilakukan secara bertingkat. Komponen yang berada pada ujung topologi yaitu *node*, dan masing-masing *node* dikonfigurasi untuk selalu mengirim data hasil pembacaan ke *node* dengan tingkat diatasnya atau bisa disebut *parent-node*. Fungsi *parent-node* itu sendiri adalah sebagai *Head Cluster*, artinya *node* tersebut adalah pusat dari suatu kelompok *node* pada *cluster* tertentu. Selanjutnya masing-masing *head cluster* akan langsung mengirimkan data yang telah dikumpulkan menuju *gateway/sink*.

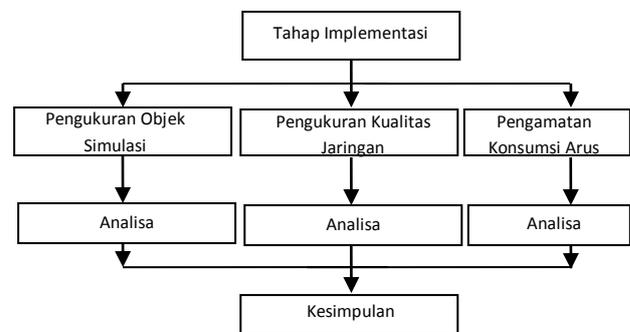
Gambar 1 adalah ilustrasi dari topologi jaringan yang

digunakan dalam penelitian ini. Terdapat 4 buah *node*, sebuah *sink*, dan sebuah *server*. Identitas dari tiap-tiap *node* sebagai pembeda fungsi dan peran dari masing-masing *node*. *Node 0* adalah *sink*, *Node 1* dan 2 berfungsi sebagai *cluster head*, sedangkan *node 3* dan 4 adalah end-point dari jaringan.



Gambar 1. Topologi Jaringan Sensor Nirkabel

2.2 Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 2. Flowchart Kerangka Pikir Penelitian

Kerangka pikir penelitian (Gambar 2) dibagi menjadi beberapa tahap penelitian. Yang pertama adalah pengukuran terhadap objek simulasi, dan yang kedua adalah pengukuran terhadap kualitas jaringan dengan menganalisa bagaimana pengaruh dari persebaran sensor, serta pengaruh lingkungan (objek tanah longsor) terhadap variasi trafik pengiriman paket data. Kemudian dilakukan pengamatan konsumsi arus yang digunakan oleh masing-masing *node* pada jaringan sistem deteksi tanah longsor.

2.3 Hardware

Gateway yang digunakan untuk melewati paket dari jaringan sensor kepada server adalah tipe MIB 600 dengan konektor ekspansi 51-pin untuk komunikasi jaringan sensor dan interface *Ethernet Programming Board (EPRB)* untuk komunikasi server. Bentuk fisik dari *gateway* dapat dilihat pada Gambar 3.

Sensor *node* yang digunakan adalah sensor dengan platform Micaz produksi Crossbow Technology yang bekerja pada frekuensi 2,4 Ghz dengan spesifikasi standar IEEE 802.15.4 dengan sumber energi dua buah baterai AA dengan kapasitas 1,5 Volt. Daya pancar maksimum yang dapat dihasilkan adalah 0 dBm atau 1 mWatt.

Sensor board yang digunakan untuk mendeteksi getaran dan memantau pergerakan permukaan tanah longsor adalah MTS420, produksi Crossbow Technology yang dipasang pada Node (*mote*) Micaz. Sensorboard ini dapat membaca adanya getaran dengan menggunakan *Accelerometer* yang bekerja secara biaxial (sumbu X dan Y), lalu juga terdapat modul GPS yang dapat dihubungkan dengan antenna GPS untuk mempercepat posisi status dari satelit.



Gambar 3. Gateway (MIB 600), Micaz Mote (MPR 2400) dan Sensorboard (MTS420) [5]

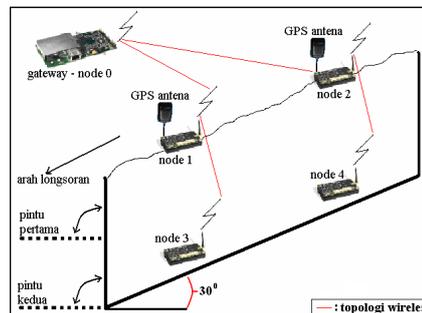
2.4 Implementasi Sistem

Pada penelitian ini, sistem deteksi tanah longsor dibangun dengan cara mengimplementasikan jaringan sensor nirkabel, kedalam suatu tanah longsor buatan. Pada proses implementasinya, dilakukan dua langkah pokok. Yang pertama adalah bagaimana mengetahui karakteristik getaran dari struktur penyusun tanah longsor, yakni dengan cara meletakkan node-node yang telah diprogram, baik di permukaan tanah longsor buatan, maupun di bagian dalamnya. Lalu langkah pokok yang kedua adalah bagaimana memantau pergerakan dari permukaan tanah longsor, yakni dengan cara memasang antenna GPS pada node yang berada di atas permukaan tanah longsor buatan. Untuk lebih jelasnya ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 4.

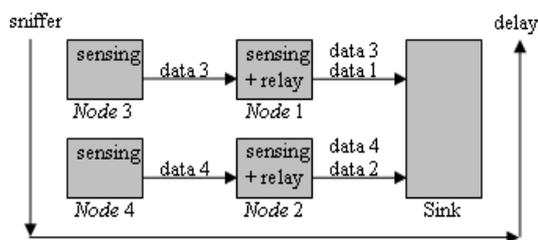
Jaringan sensor nirkabel yang telah dibangun juga perlu dianalisa performansinya, dengan tujuan untuk mengetahui kelayakan apabila jaringan tersebut diimplementasikan ke lingkup yang lebih luas. Analisa kualitas jaringan dilakukan dengan cara mencari parameter kualitas seperti *Packet Loss*, *Delay*, dan *Fault Tolerance*. Ketiga parameter tersebut sangatlah penting untuk sistem *environment monitoring*, mengingat akurasi data, validitas data dan kecepatan pengiriman data menjadi hal yang utama. Selama 12 jam waktu pengukuran, pengukuran *packet loss* didapatkan dengan cara melihat statistik dari *Node Health*. [1]

Kemudian *delay* transmisi didapatkan dengan cara melakukan *passive air monitoring (sniffer)*. *Sniffer* dapat menerima paket yang dikirimkan *node* kepada *sink* meskipun paket tersebut tidak dialamatkan kepadanya. Waktu penerimaan paket pada *sniffer* kemudian dibandingkan dengan waktu penerimaan paket pada *sink*, sehingga didapatkan *delay* transmisi dari *node* ke

sink/gateway. Mekanisme pengukuran *delay* dapat dilihat pada Gambar 5. Sedangkan toleransi kesalahan didapatkan dengan cara mencari kesalahan pembacaan dari alat.



Gambar 4. Ilustrasi Persebaran Node ke Objek Simulasi



Gambar 5. Pengukuran Delay Menggunakan Sniffer

3. Hasil dan Pembahasan

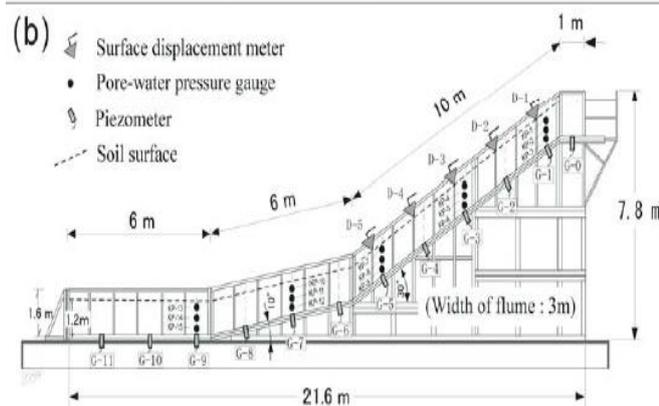
3.1 Hasil Penelitian

3.1.1 Karakteristik Umum Tanah Longsor

Tanah longsor yang telah terjadi di dunia dan telah memakan banyak korban, memiliki karakteristik yang berbeda-beda, mulai dari penyebabnya, kondisi struktur tanah yang sudah rawan, hingga sudut kemiringan. Penelitian di Jepang menunjukkan bahwa mayoritas terjadinya tanah longsor dalam skala besar yang telah memakan banyak korban adalah disebabkan karena faktor kemiringan sudut (*friction angle*) [2]. Beberapa kejadian tanah longsor di dunia disebabkan karena faktor kemiringan sudut dari permukaan tanah rawan. Untuk kemiringan dibawah 30⁰ dapat dikategorikan sebagai *rapid long travelling landslides*. Dikatakan demikian karena selain sudut kemiringannya yang kecil, juga disebabkan karena permukaan tanah longsor tersebut bergerak dengan jarak yang cukup jauh menuju titik longsor.

Pada kemiringan diatas 30⁰ dikategorikan sebagai *short moving landslides*. Penelitian ini menggunakan tipe tanah longsor dengan sudut kemiringan sebesar 30⁰. Tanah longsor buatan didesain agar longoran dapat dipicu sewaktu-waktu, dan dengan kecepatan longoran yang tinggi. Pemodelan tanah longsor buatan dalam penelitian ini, mengadopsi satu bagian dari model tanah longsor buatan yang didesain oleh Moriwaki di Jepang pada tahun 2004. Model asli tanah longsor buatan tersebut didesain

dengan panjang total 21.6 meter dan sudut kemiringan beragam mulai 10⁰ dan bagian tertentu mencapai 30⁰. Dokumentasi dan struktur dari pemodelan tanah longsor buatan dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Model Eksperimen Tanah Longsor

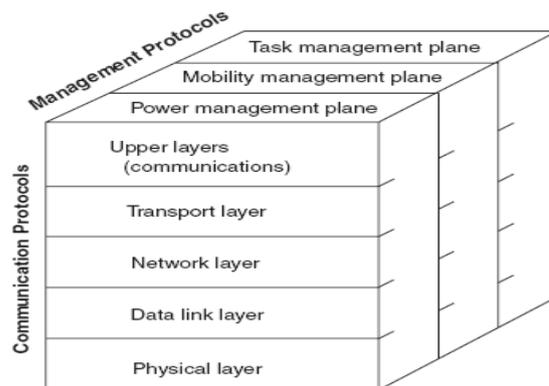
(a) Foto dokumentasi, (b) Struktur & konfigurasi sensor [5]

3.1.2 Jaringan Sensor Nirkabel

WSN adalah suatu kelompok sensor pintar (*smart sensors*), dimana 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. Jaringan sensor nirkabel merupakan generasi baru dari sistem sensor (*sensory system*), walaupun masih terbatas pada kemampuan proses data dan terbatasnya pula bandwidth untuk melakukan komunikasi.

Para peneliti telah mencoba mengembangkan beberapa protokol baru yang khusus didesain untuk jaringan sensor nirkabel, yang bersifat *energy awareness*. Fokus penelitian lebih kepada protokol routing, karena adanya perbedaan yang mendasar antara jaringan biasa dibandingkan dengan jaringan sensor (baik arsitektur jaringan maupun aplikasi). Gambar 7 menunjukkan model protokol generik yang dapat

digunakan untuk mendeskripsikan jalur komunikasi didalam jaringan sensor nirkabel [3].



Gambar 7 Protokol Generik dari Jaringan Sensor Nirkabel

Tabel 1. Komparasi Spesifikasi Beberapa Teknologi Wireless

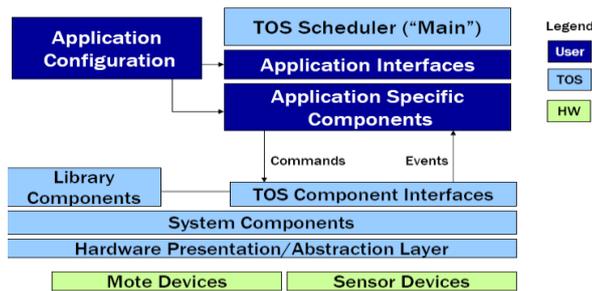
Spesifikasi	GPRS/GSM 1xRTT/CDMA	IEEE 802.11b/g	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4
Nama market standart	2.5G/3G	Wi-Fi	Bluetooth	Zigbee
Jenis jaringan	WAN / MAN	WLAN / Hot spot	PAN	WSN
Aplikasi	Suara dan data pada area luas	Aplikasi Enterprise (VoIP)	Penganti kabel	Monitoring dan pengaturan
Bandwidth (Mbps)	0.064-0.128	11-54	0.7	0.020 - 0.25
Jarak transmisi	3000 kaki	1-300 kaki	1-30 kaki	1-300 kaki
Faktor desain	Kualitas transmisi	Pendukung	Pemakaian sederhana	Reliabilitas, dan power

Beberapa versi komersial dari penerapan teknologi transmisi data nirkabel ditujukan untuk aplikasi dari jaringan sensor nirkabel. Kebanyakan dari sistem tersebut mengikuti spesifikasi standart dari IEEE 802.15.4 dan Zigbee untuk aplikasi pada lingkup jaringan area personal nirkabel (*WPAN – Wireless Personal Area Network*) [4]. Untuk komparasi dengan teknologi wireless lainnya dapat dilihat pada Tabel 1.

3.1.3 Sistem Operasi dan Bahasa Pemrograman

Setiap sensor node membutuhkan sistem operasi untuk mengatur *hardware* dari sensor agar dapat berinteraksi dengan *software* aplikasinya. Pada setiap sistem operasi menggunakan bahasa pemrograman yang beragam. Dalam penelitian ini, digunakan sistem operasi TinyOS dan bahasa pemrograman NesC.

TinyOS merupakan sistem operasi open-source yang didesain khusus untuk jaringan sensor nirkabel. TinyOS memiliki arsitektur berbasis komponen yang mendukung adanya inovasi dan implementasi jaringan sensor nirkabel, dengan cara meminimalisir ukuran kode yang dibutuhkan, karena komponen sensor memiliki memori yang sangat terbatas. TinyOS memiliki model pemrograman berbasis komponen yaitu NesC. Layaknya sistem operasi lainnya, TinyOS mengorganisir komponen perangkat lunaknya dalam beberapa lapisan. Lapisan paling bawah berkaitan dengan perangkat keras, dan lapisan paling tinggi adalah aplikasi yang digunakan. Ilustrasi lapisan TinyOS dapat dilihat pada Gambar 8 [5].

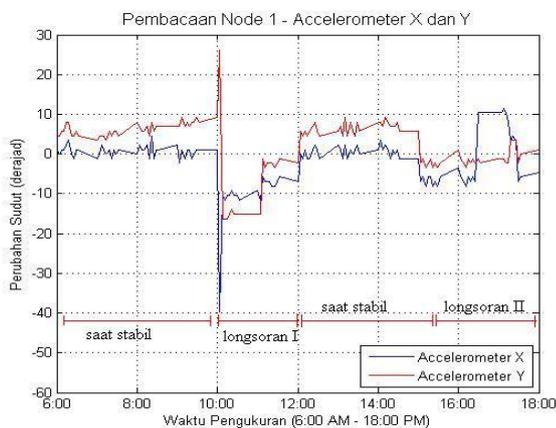


Gambar 8. Lapisan TinyOS

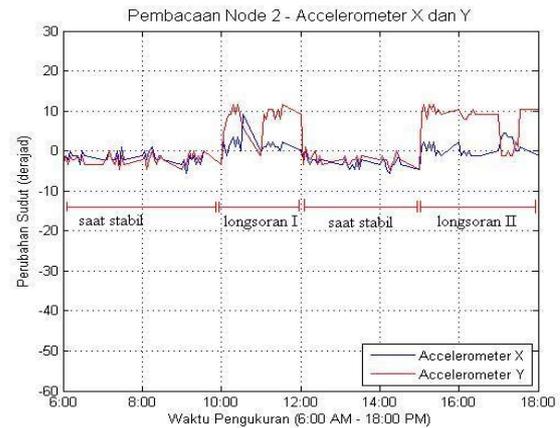
3.2 Pembahasan Hasil Penelitian

3.2.1 Analisa Data Pengukuran

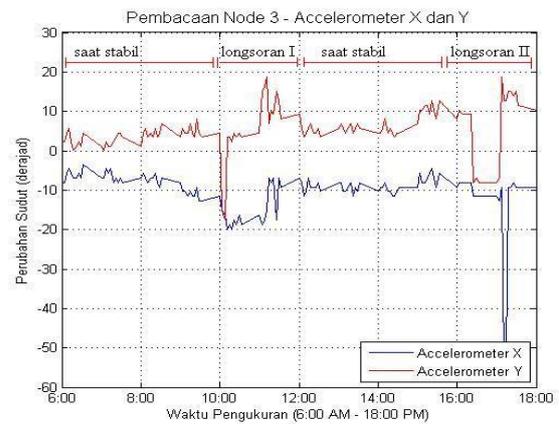
Data diambil selama 12 jam non-stop mulai pukul 6:00 AM hingga 18:00 PM dari semua *node*. Dan selama 12 jam tersebut terjadi 2 kali longsor buatan. Longsor pertama terjadi pada kurun waktu antara pukul 10:00 AM – 12:00 PM dan longsor kedua pada kurun waktu antara pukul 16:00 PM – 18:00 PM. Data getaran hasil pembacaan masing-masing *node* digunakan untuk mencari perubahan sudut yang disebabkan adanya longsor buatan. Dan grafik perubahan sudut tersebut dapat dilihat pada Gambar 9-12 .



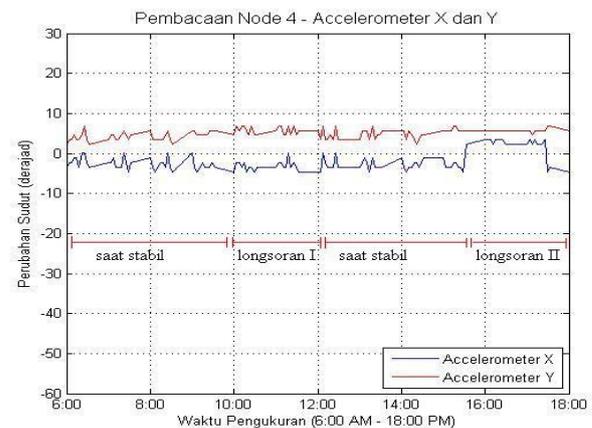
Gambar 9. Pembacaan Accelerometer x dan y pada Node 1



Gambar 10. Pembacaan Accelerometer x dan y pada Node 2



Gambar 11. Pembacaan Accelerometer x dan y pada Node 3

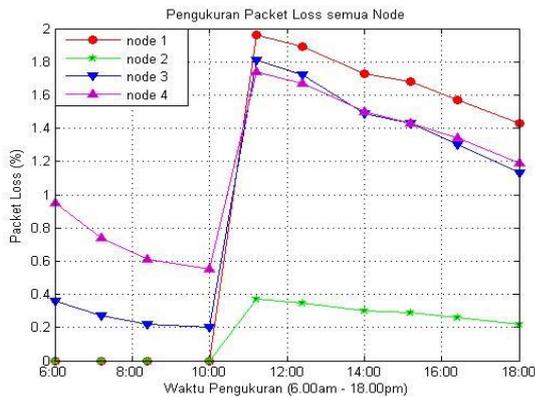


Gambar 12. Pembacaan Accelerometer x dan y pada Node 4

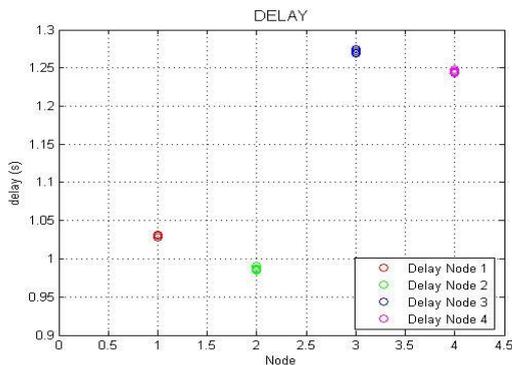
3.2.2 Analisa Kualitas Jaringan

Pada dasarnya dalam memantau objek tanah longsor buatan dengan dimensi 100 cm x 50 cm x 50 cm, jaringan sensor nirkabel yang telah disusun dengan menggunakan 4 buah sensor *nodes* sudah dapat bekerja dengan optimal. Selama 12 jam pengukuran diketahui tidak banyak paket data yang hilang, dalam kata lain *packet loss* yang terjadi sangat kecil dan hal tersebut berlaku untuk semua *node*. Dari pengukuran didapatkan nilai *packet loss* yang terjadi sangat

kecil. Pada Gambar 13 dapat dilihat bagaimana pengaruh terjadinya tanah longsor terhadap pengukuran *packet loss* pada semua *node*. Saat terjadi longsor terdapat paket data yang hilang mencapai nilai maksimum 2%. Hal yang relatif sama terjadi pada semua *node*. Sedangkan untuk data hasil pengukuran *delay* dari masing-masing *node* didapatkan dengan cara melakukan *sniffing* dari tiap-tiap *cluster*. Pada pengukuran pertama dilakukan *sniffing* terhadap *cluster* 1 yang terdiri dari *node* 1 dan 3, lalu kemudian *cluster* 2 yang terdiri dari *node* 2 dan 4.



Gambar 13. Hasil Pengukuran *Packet Loss* pada *Node* 1

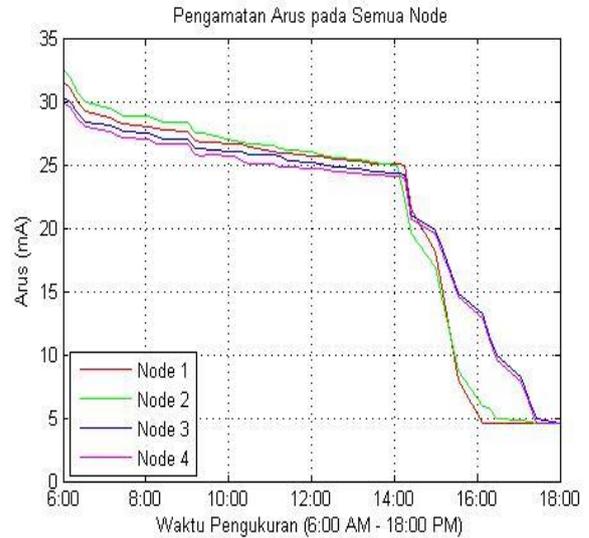


Gambar 14. Hasil Pengukuran *Delay Transmisi*

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa *end-point* memiliki delay lebih besar bila dibandingkan dengan *cluster head*-nya. Semakin jauh aliran data dari suatu *node* akan semakin besar pula *delay*-nya. *Delay* dari *node* 1 dan 2 lebih kecil dari *node* 3 dan 4, yakni sebesar $\pm 1,025$ detik untuk *node* 1, dan $\pm 0,98$ detik untuk *node* 2, sedangkan untuk *node* 3 sebesar $\pm 1,275$ detik, dan *node* 4 sebesar $\pm 1,25$ detik. Waktu yang dibutuhkan oleh paket data yang berasal dari *node* 3 dan 4 membutuhkan waktu yang lebih lama apabila dibandingkan dengan paket data yang berasal dari *node* 1 dan 2. Hal ini sesuai dengan topologi yang digunakan dalam sistem deteksi tanah longsor menggunakan jaringan sensor nirkabel. Bahwa paket data yang dikirimkan oleh *node* 3 dan 4 terlebih dahulu di-*relay* oleh *cluster head*-nya yakni *node* 1 dan 2, sebelum akhirnya mencapai *sink*.

Toleransi kesalahan didapatkan dengan cara membandingkan hasil pembacaan data GPS dari jaringan

sensor nirkabel produksi Crossbow Technology dengan alat GPS komersil dari Garmin dengan tipe Garmin76CSx. Dari hasil pengukuran, kesalahan alat hanya sebesar 0,00014%. Sehingga dapat dikatakan bahwa kemampuan *node* dalam menentukan posisi GPS memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi.



Gambar 15. Pengamatan Konsumsi Arus pada Semua *Node*

3.2.3 Analisa Konsumsi Arus

Pada Gambar 15 ditunjukkan bahwa karakteristik konsumsi arus pada masing-masing *node* berbeda-beda sesuai dengan perannya masing-masing. Pada kondisi awal setiap *node* rata – rata membutuhkan arus sebesar ± 30 mA untuk dapat mentransmisikan data. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa setelah beberapa jam pengamatan, arus yang disuplai oleh baterai-pun semakin lama akan semakin berkurang. *Node* 1 dan 2 kehabisan sumber arus dari baterai terlebih dahulu dibandingkan dengan *node* yang lain. Kemudian *node* 3 dan *node* 4 berturut-turut kehabisan sumber arus dari baterai. *Node* 1 bertahan selama ± 10 jam, *node* 2 bertahan selama ± 11 jam, *node* 3 bertahan hampir selama 12 jam, dan *node* 4 juga bertahan selama 12 jam. Kondisi seperti ini dikarenakan *node* 1 dan 2 menerima dan mengirimkan data lebih banyak daripada *node* yang lain (*node* 3 dan 4), karena berperan sebagai *cluster head* yang berfungsi mengirimkan datanya sendiri dan juga data dari *node* dibawahnya sebagai fungsi *relay*. *Node* 3 dan 4 bertahan lebih lama karena hanya berfungsi sebagai sensor saja tanpa perlu melakukan fungsi *relay*.

4. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dilakukan, beberapa hal yang dapat disimpulkan adalah:

1. Jaringan sensor nirkabel sangat sesuai apabila digunakan untuk sistem pemantauan bencana alam seperti tanah longsor, karena kemampuan persebarannya (*deployment*) yang sangat tinggi, dan

dalam proses instalasinya tidak mempengaruhi struktur lingkungan yang dipantau.

2. Dalam memantau tanah longsor, jaringan sensor nirkabel dirancang agar dapat membaca getaran tanah baik yang diatas permukaan maupun didalam permukaan tanah. Dan jaringan sensor nirkabel yang telah dilengkapi dengan *Accelerometer* dapat melakukan hal itu dengan baik dengan sensitivitas pembacaan mencapai $\pm 17\%$.
3. Jaringan sensor nirkabel juga dapat didesain untuk memantau pergerakan permukaan tanah longsor, dengan menggunakan fasilitas GPS yang memiliki tingkat akurasi tinggi. Dari hasil analisa pada bab sebelumnya, tingkat kesalahan (*error*) sangat kecil yaitu 0,00014%.
4. Dalam memantau tanah longsor buatan dengan dimensi 100 cm x 50 cm x 50 cm, suatu jaringan sensor nirkabel dengan 4 *nodes* dan 1 *sink* hanya mengalami *packet loss* maksimum sebesar 2% selama 12 jam waktu pengukuran. Dan dengan topologi 3 level (jumlah *hop* maksimum adalah 2 *hop*) *delay* minimum yang terukur adalah 0,98 detik, dan *delay* maksimum yang terukur sebesar 1,275 detik.
5. Dengan memanfaatkan catu daya dari 2 buah baterai AA dengan kapasitas arus rata-rata sebesar $\pm 30\text{mA}$, suatu sistem jaringan sensor nirkabel yang memantau tanah longsor dengan *sample rate* 5 detik, dapat mencapai rata-rata lama ketahanan sampai 11 jam non-stop.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mige, Godlief E.S, “*Desain Rumah Cerdas Berbasis WSN Untuk Manajemen Energi*”, 2012. Proceeding Sainstek, FST Undana-Kupang.
- [2] Sassa, Kyoji, “*Landslides: Risk Analysis and Sustainable Disaster Management*”, 2005.
- [3] “*WSN: Technology, Protocols, and Applications*”, John Willey and Sons. 2007.
- [4] IEEE 802.15.4 *Spesification*, 2003.
- [5] Crossbow Technology, “*Tiny OS Overview*”,