

PERANCANGAN PERANGKAT KERAS PENGUKUR KETINGGIAN MUKA AIR BERBASIS WIRELESS SENSOR NETWORK MENGGUNAKAN PROTOKOL KOMUNIKASI ZIGBEE DAN GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE) DENGAN TOPOLOGI TREE

Indra P. S. Damanik^{*)}, Sukiswo, and Munawar Agus Riyadi

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}Email: indradamanik22@gmail.com

Abstrak

Jaringan mobile Ad-hoc merupakan salah satu perkembangan teknologi dalam jaringan komunikasi nirkabel. Wireless sensor network (WSN) Salah satu pemanfaatan teknologi mobile ad-hoc. Wireless sensor network merupakan jaringan sensor nirkabel yang digunakan untuk mendapatkan data dari hasil pengukuran terhadap suatu besaran fisis. Data yang didapat dari hasil pengukuran selanjutnya ditransmisikan melalui media nirkabel kepada gateway sebagai pusat konsentrator pengiriman data. Pada penelitian ini Wireless Sensor Network digunakan untuk melakukan pengukuran tinggi muka air. Pada penelitian ini akan dirancang perangkat pengukuran ketinggian muka air berbasis Wireless Sensor Network menggunakan sensor ultrasonik SR04. Pada penelitian ini menggunakan tiga jenis konfigurasi perangkat yaitu end device, router, dan coordinator dengan topologi tree. End device dan router bertindak sebagai perangkat sensor nirkabel yang melakukan pengukuran ketinggian muka air, sedangkan coordinator bertindak sebagai konsentrator data dan sebagai penghubung pada jaringan internet. semua perangkat pada jaringan menggunakan Xbee Pro S2B sebagai media komunikasi pada jaringan zigbee. Pada perangkat coordinator menggunakan modul GPRS SIM-900 sebagai media penghubung pada jaringan internet. Dari hasil pengujian pada perangkat sensor, perangkat sudah mampu melakukan pengukuran terhadap muka air dengan selisih maksimal sebesar 3cm. Pada perangkat radio Xbee nilai throughput rata-rata dengan panjang paket 103 byte pada kondisi ruang terbuka sebesar 6,36kb/s dengan delay sebesar 129,59ms dan pada laboratorium sebesar 6,74kb/s dengan delay sebesar 122,33.

Kata kunci : Wireless Sensor Network, Zigbee, pengukur ketinggian muka air, ultrasonik SR04, Xbee Pro S2B, GPRS

Abstract

Ad-hoc mobile networks is one of the technological developments in wireless communications networks. the application of mobile ad-hoc technology can be seen in the application of wireless sensor network (WSN) .Wireless sensor network is used to get data from the measurement of a physical quantity. The data obtained from the results of subsequent measurements are transmitted via wireless media to the gateway as a central of data transmission. In this research wireless sensor network using for water level measurement. This research will be designed water level measurement device based on the Wireless Sensor Network using ultrasonic sensors SR04. This sistem using three types of device configuration that is end devices, routers, and coordinator. End devices and routers act as a wireless sensor devices that perform measurements of water level, while the coordinator acts as a data concentrator and as a link on internet. From the results of testing on the sensor device, the device is capable of measuring the water level with a maximum difference of 3cm. In the XBee radio device, the average value of throughput with 103 byte packet length in open space conditions is 6,36kb / s with a delay of 129,59ms and the laboratory is 6,74kb / s with a delay of 122.33ms.

Keywords: Wireless Sensor Network, Zigbee, water level measurment, ultrasonicSR04, XBee Pro S2B, GPRS

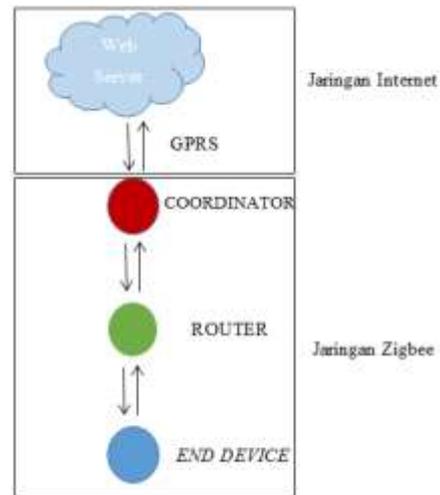
1. Pendahuluan

Banjir merupakan salah satu persoalan yang ada di hampir seluruh wilayah di Indonesia. Menurut Kepala Pusat Data Informasi dan Humas BNPB[1], Sutopo Purwo Nugroho, kerugian dan kerusakan banjir Jakarta sebesar Rp5 triliun, sehingga perlu dilakukan untuk mengurangi dampak

banjir. Salah satu tindakan yang dilakukan yang dilakukan untuk mengurangi dampak banjir adalah dengan melakukan pemantauan curah hujan dan ketinggian muka air. Menurut Yulianto[2], koordinator bidang sistem data dan aplikasi, NEOnet BPPT sistem pemantauan curah hujan pada saat ini masih bersifat *near real time*, sedangkan data tinggi muka air bersifat tidak *real time*

karena masih mengambil data dari situs Pemda DKI Jakarta[3].

Berdasarkan permasalahan tersebut maka akan dirancang perangkat keras untuk mengukur ketinggian muka air berbasis *Wireless Sensor Network*. Implementasi dari perangkat tersebut dapat digunakan sebagai bagian dari Sistem Monitoring ketinggian muka air yang dapat diletakkan di daerah aliran sungai. Pada perancangan ini digunakan tiga jenis konfigurasi perangkat yaitu *end device*, *router* dan *coordinator*. Perangkat keras *end device* dan *router* terdiri dari Atmega328 dengan *bootloader* Arduino Uno, Sensor Ultrasonik SRF04, *Real Time Clock* (RTC) DS3231, serta Xbee Pro S2B sebagai modul komunikasi pada jaringan Zigbee. Perangkat *coordinator* terdiri dari arduino uno, Xbee Pro S2B, dan modul GPRS SIM-900 sebagai media penghubung jaringan Zigbee ke jaringan internet untuk mengakses web server. Pada perancangan ini web server berfungsi sebagai media yang menyesuaikan kondisi data hasil pengukuran dengan kondisi yang telah ditetapkan guna menetapkan waktu pengambilan data berikutnya pada perangkat *end device* dan *router*.



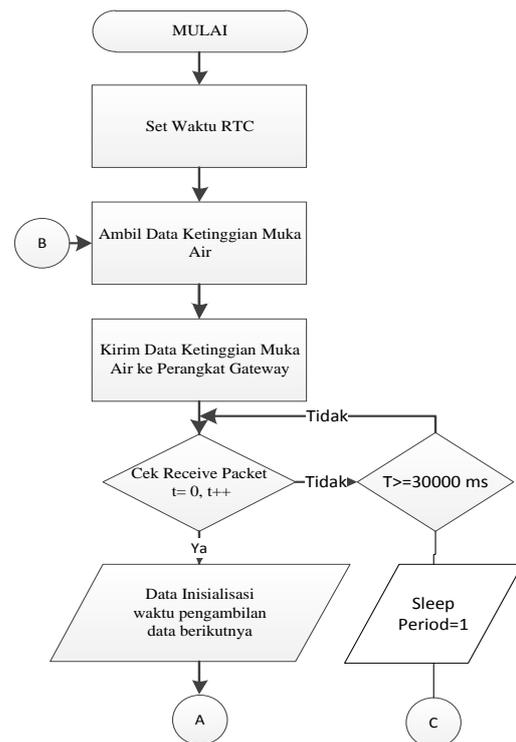
Gambar 1 Topologi Jaringan

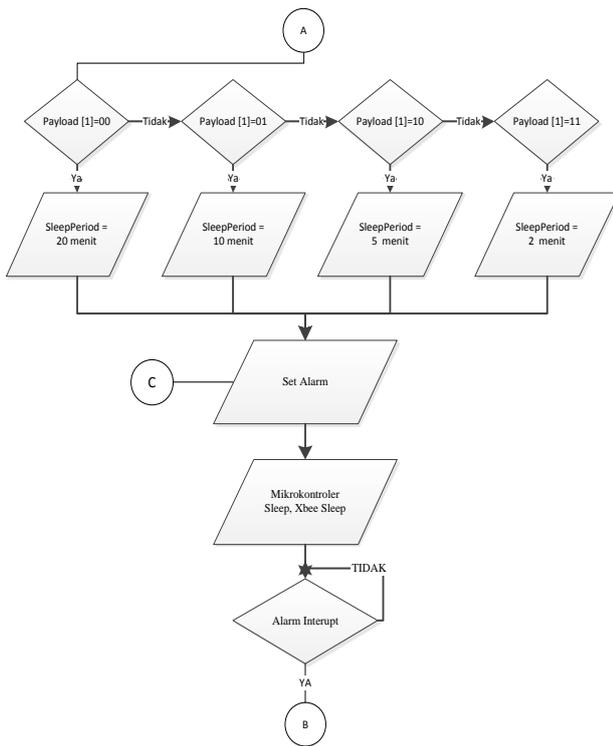
2.1 Perancangan End Device

2. Metode

Pada Penelitian ini perancangan Wireless sensor network seperti pada Gambar 1 terbagi kedalam empat bagian yaitu *end device*, *router*, *coordinator*, dan web server. Kriteria kerja sistem pada perancangan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perangkat *end device* dan *router* mampu melakukan pengukuran terhadap ketinggian muka air.
2. Perangkat *coordinator* mampu mengirimkan hasil pengukuran ke web server dan mengirimkan inisialisasi waktu pengambilan data kepada *end device* dan *router*
3. Web server mampu mengolah data dari perangkat sensor secara benar dan mampu memberikan respon yang benar.
4. Terdapat beberapa kondisi waktu pengukuran, yaitu:
 - a. Kondisi ketinggian muka air $\leq 40\text{cm}$ *sleep* selama 20 menit
 - b. Kondisi ketinggian muka air $> 40\text{cm}$ dan $\leq 75\text{cm}$ *sleep* selama 10 menit
 - c. Kondisi ketinggian muka air $> 75\text{cm}$ dan $\leq 100\text{cm}$ *sleep* selama 5 menit
 - d. Kondisi ketinggian muka air $> 100\text{cm}$ *sleep* selama 2 menit





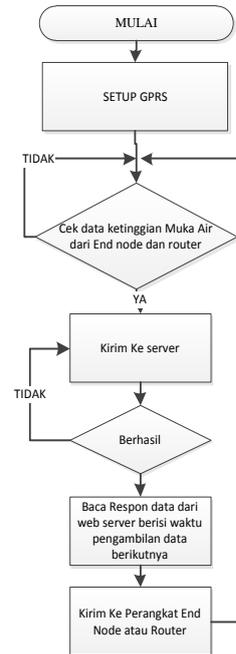
Gambar 2 Gambar diagram alir end device

Gambar 2 merupakan diagram alir end device. *End device* merupakan perangkat keras yang berada pada layer paling bawah pada perancangan jaringan sensor nirkabel ini. Perangkat ini dikonfigurasi dapat *sleep* pada mikrokontroler dan Xbee untuk beberapa waktu dan aktif kembali untuk mengambil data ketinggian muka air. Waktu pengambilan data pada *end device* diatur oleh web server berdasarkan kondisi ketinggian muka yang terukur pada pengukuran terakhir.

2.2 Perancangan Router

Secara umum cara kerja sistem pada *router* tidak jauh berbeda dengan cara kerja sistem pada *end device*. Perbedaan antara *router* dan *end device* terletak pada mode *sleep*. Pada *router* hanya mikrokontroler yang dikonfigurasi *sleep*, sedangkan modul komunikasi Xbee akan tetap aktif.

2.3 Perancangan Coordinator



Gambar 3 Diagram alir coordinator

Gambar 3 merupakan diagram alir *coordinator*. Perangkat *coordinator* merupakan perangkat keras yang berada pada layer paling atas pada perancangan jaringan sensor nirkabel ini. Perangkat ini dirancang hanya sebagai penghubung antara jaringan Zigbee dengan jaringan internet. Perangkat *coordinator* pada perancangan digunakan sebagai media penghubung yang mentransmisikan data dari *end device* maupun *router* ke web server dan sebaliknya.

2.4 Web Server

Gambar 4 merupakan diagram alir Web Server. Pada perancangan ini, web server berfungsi untuk menghasilkan data inialisasi waktu pengambilan data ketinggian air berikutnya pada *end device* dan *router*. Data waktu pengambilan data ketinggian air berikutnya dihasilkan melalui penyesuaian kondisi ketinggian muka air yang diukur dengan kondisi ketinggian muka air yang telah ditentukan. Data dari *coordinator* yang telah diolah masuk kedalam dua proses yaitu penyesuaian kondisi ketinggian muka air untuk mendapat inialisasi waktu pengambilan data ketinggian muka air berikutnya dan penyimpanan data pada *database*. Setelah data hasil penyesuaian didapat, maka selanjutnya akan ditampilkan pada web server untuk dapat diakses perangkat *coordinator*.



Gambar 4 Diagram alir web server

3. Hasil dan Analisa

3.1 Pengujian pada Sungai

Pada pengujian pada sungai dilakukan untuk mengetahui kestabilan pengukuran sistem pada kondisi asli. Pada pengujian ini juga bertujuan untuk mengetahui kestabilan pengukuran sistem pada kondisi air mengalir. Pengujian ini dilakukan di sungai yang berlokasi Universitas Diponegoro. Jarak antar perangkat berkisar 70 meter dengan lokasi sekitar yang banyak pepohonan. Gambar 5 merupakan peta lokasi peletakan perangkat wireless sensor network pengukur ketinggian muka air.

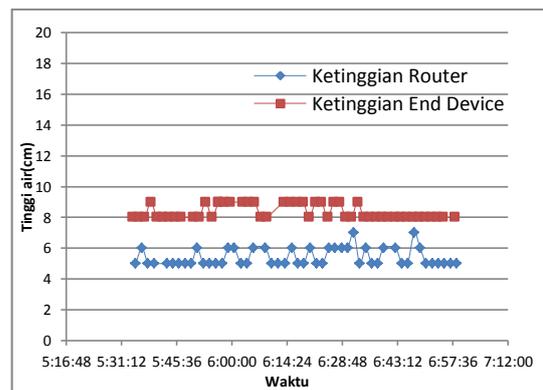
Gambar 6 merupakan data ketinggian air pada sungai oleh perangkat router dan end device. Pada pengujian ini dapat dilihat bahwa ketinggian air yang didapat selama pengukuran berada dalam keadaan stabil. Pengukuran menggunakan sensor memberikan nilai pada rentang 5cm sampai 7cm pada router dan 8cm sampai 9cm pada end device. Hasil pengukuran yang didapat tidak jauh berbeda dengan pengukuran langsung yang dilakukan yaitu berbeda setinggi sampai dengan 2cm pada router dan 3cm pada end device. Perbedaan dapat terjadi akibat perbedaan suhu referensi yang dipakai pada perhitungan kecepatan suara, pada sistem menggunakan suhu referensi 21°C sedangkan suhu lingkungan pada pengujian sekitar 30°C. hal ini dapat berpengaruh sebesar 3cm pada ketinggian router dan end device.

Selain tinggi air perangkat router dan end device juga mengirimkan nilai tegangan baterai.

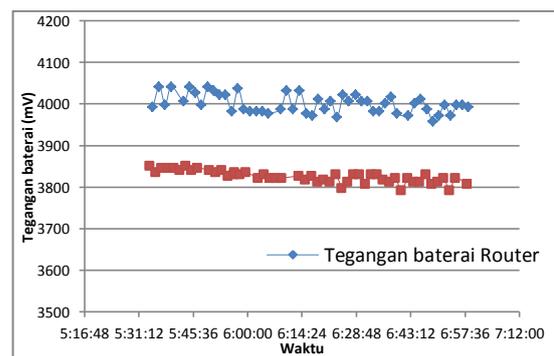
Gambar 7 merupakan tegangan baterai pada router dan end device pada saat pengujian. Tegangan terendah pada router sebesar 3792mV dan tertinggi sebesar 3851 mV sedangkan pada end device tegangan tertinggi sebesar 4042 mV dan terendah sebesar 3952mV.



Gambar 5 Peta lokasi pengujian



Gambar 6 Data Ketinggian muka air

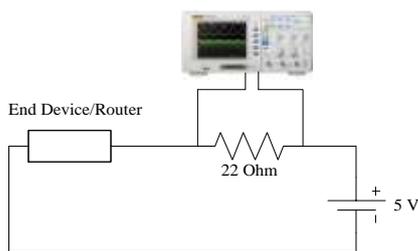


Gambar 7 Data tegangan baterai

3.2 Pengujian Penggunaan Daya

Gambar 8 merupakan rangkaian yang digunakan untuk mengukur arus pada *end device* dan *router*. Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan menggunakan osiloskop pada resistor yang disertai dengan perangkat dengan hambatan sebesar 22ohm.

Pada Tabel 1 merupakan hasil pengukuran terhadap tegangan dan arus. Dari pengukuran terhadap tegangan dan arus maka dapat dilakukan estimasi terhadap waktu hidup baterai. Tabel 2 merupakan estimasi waktu hidup baterai dengan kapasitas 3000mAh. Pada *end device* untuk skema penambilan data kondisi 1 baterai dapat bertahan selama 9 Hari 12 jam sedangkan pada *router* dapat bertahan selama 4 Hari 15 jam 19 menit.



Gambar 8 Rangkaian pengukur arus

Tabel 1 Hasil Pengukuran Tegangan dan Arus

Aktif		Sleep	
Tegangan (mV)	Arus (mA)	Tegangan (mV)	Arus (mA)
End Device			
884.4	40.2	280	12.73
Router			
885.5	40.25	582.1	26.46

Tabel 2 Estimasi waktu hidup baterai

No	Skema Pengambilan Data	Estimasi Waktu Hidup Baterai
End Device		
1	Kondisi 1	9 Hari 12 jam 0 menit
2	Kondisi 2	9 Hari 4 Jam 48 menit
3	Kondisi 3	8 Hari 16 Jam 33 menit
4	Kondisi 4	7 Hari 13 Jam 26 menit
Router		
5	Kondisi 1	4 Hari 15 jam 19 menit
6	Kondisi 2	4 Hari 14 Jam 21 menit
7	Kondisi 3	4 Hari 11 Jam 55 menit
8	Kondisi 4	4 Hari 3 Jam 36 menit

3.3 Pengujian Komunikasi Radio

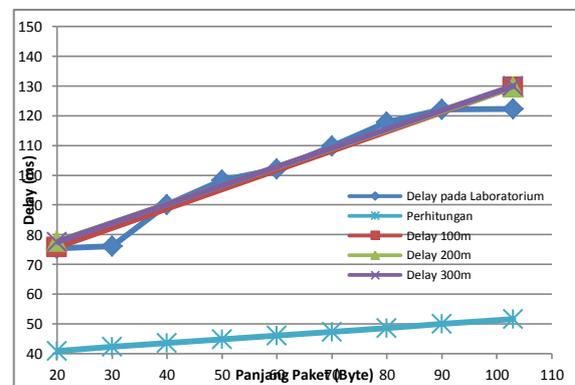
Pada pengujian radio dilakukan dengan dua lokasi pengujian yaitu ruang terbuka dengan variasi panjang paket dan jarak antar perangkat, dan pada laboratorium hanya dengan variasi panjang paket. Pada lokasi pengujian pada ruang terbuka dilakukan di sekitar jalan Anjasmoro Tawang Mas Semarang. Kondisi pada lokasi pengujian merupakan jalan beraspal dengan sisi jalan terdapat lampu jalan dengan rentang 30m.

Gambar 9 merupakan kondisi lokasi pengujian perangkat radio pada ruang terbuka.



Gambar 9 Lokasi Pengujian

3.3.1 Delay



Gambar 10 Grafik Pengujian Delay

Pengujian pada ruang terbuka memvariasikan jarak antar perangkat dari 100m sampai dengan 300m dengan panjang paket data sebesar 20 byte pada kondisi minimum dan 103 byte pada kondisi maksimum. Sedangkan pada laboratorium hanya memvariasikan besar paket dari 20 byte sampai dengan 103byte dengan rentang 10byte.

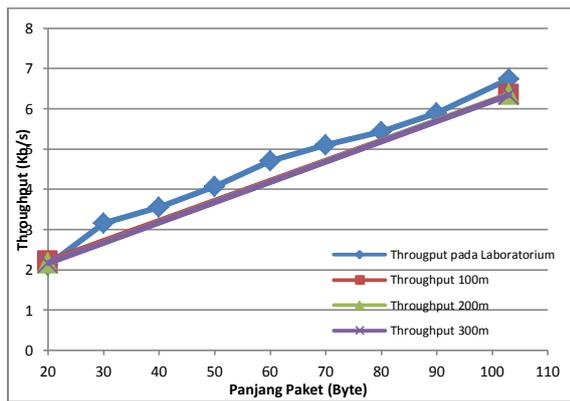
Gambar 10 Dapat dilihat bahwa variasi jarak tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan delay transmisi, hal ini terjadi karena pada jarak 600m end to end delay propagasi yang terjadi hanya 2uS. Pada Gambar 10 juga merupakan hasil pengujian pada laboratorium besarnya paket berpengaruh pada besarnya delay transmisi yang terjadi sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan semakin besarnya panjang paket yang dikirim maka akan semakin besar delay yang terjadi.

Pada Gambar 10 juga menyertakan delay perhitungan dengan mekanisme CSMA-CA. perhitungan yang digunakan adalah pada kondisi terburuk pada mekanisme CCA dan penerimaan ACK. Hasil yang didapat perhitungan jauh

lebih baik daripada hasil pengujian. Hal ini dikarenakan pada perhitungan tidak menyertakan perhitungan delay proses pada mikroprosesor xbee dan delay hopping pada topologi yang digunakan. pada jaringan delay akan semakin besar dengan semakin banyaknya hop yang terjadi[10].

3.3.2 Throughput

Pada Gambar 11 merupakan grafik pengujian throughput pada ruang terbuka dengan variasi jarak dan pada laboratorium dengan variasi panjang paket. Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa jarak tidak berpengaruh banyak pada nilai throughput. Pengaruh nilai throughput ditentukan dengan besarnya panjang paket yang dikirimkan. pada pengujian laboratorium nilai throughput tertinggi terjadi pada pengiriman paket 103 byte yaitu sebesar 6,74kbps dan throughput terendah pada penerimaan 20 byte yaitu sebesar 2,12 kbps. Dapat disimpulkan dengan semakin besarnya paket yang dikirim maka akan semakin besar nilai throughput yang terjadi



Gambar 11 Grafik pengujian Throughput

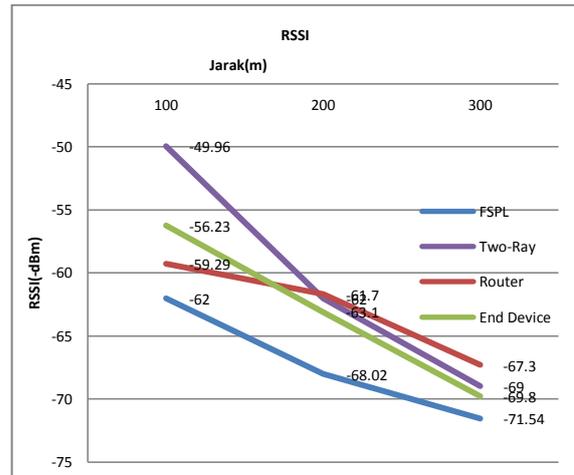
3.3.3 Paket Delivery Ratio

Pada pengujian pada ruang terbuka dan pada laboratorium kondisi PDR berada pada kondisi 100%, hal ini dapat terjadi dikarenakan RSSI pada pengujian yang dilakukan masih berada pada kondisi lebih baik dari receive sensitivity perangkat radio Xbee.

3.3.4 RSSI(Receive Signal Strength Indicator)

Tabel 3 RSSI pengujian dan perhitungan

Jarak (m)	Perhitungan		Pengujian	
	FSPL (-dBm)	Two-ray ground (-dBm)	Coordinator to Router (-dBm)	Router to End Device (-dBm)
100	-62	-49,96	-59,29	-56,23
200	-68,02	-62	-61,7	-63,1
300	-71,54	-69	-67,3	-69,8



Gambar 12 Grafik RSSI

Pada perhitungan RSSI yang dilakukan tidak menyertakan nilai gain pada antena. Hal ini terjadi karena pada spesifikasi perangkat radio Xbee tidak menyertakan besarnya gain pada antena yang digunakan. Penguatan dianggap 0 db atau satu kali penguatan.

Pada Tabel 3, pengukuran nilai RSSI lebih baik dari hasil perhitungan menggunakan model perhitungan *free space loss* semua variasi jarak. Perbedaan yang cukup jauh terjadi karena pada perhitungan tidak menyertakan gain antena, dan pada kondisi *free space loss* tidak memperhitungkan pelemahan sinyal yang terjadi akibat pantulan pada daerah pengujian

Pada model two ray ground perbedaan yang cukup jauh terletak pada jarak 100m namun pada jarak 200m dan 300m perhitungan sudah mendekati hasil pengujian. Pada model *two-ray ground* memperhitungkan tinggi antenna yang membuat kondisi sinyal perhitungan lebih bagus daripada model FSPL.

3.4 Pengujian Sistem

Pada Gambar 13 merupakan cara yang digunakan untuk mengetahui ketelitian pada pengukuran sensor dan karakteristik kerja sensor. Pada Gambar 13 merupakan pengukuran pada jarak 35cm antara sensor sampai pada air. Ketinggian ember yang digunakan adalah 45cm dan air 35cm. dari hasil pengujian maka dapat dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan menggunakan meteran. Pada Tabel 4 merupakan perbandingan hasil pengukuran langsung dengan hasil pengujian menggunakan sensor.



Gambar 13 Pengujian ketelitian sensor

Tabel 4 Perbandingan hasil pengukuran dan pengujian

Ketinggian(cm)	Hasil Pengujian(cm)
10	10
15	15
20	20
25	25
30	30
35	35
40	40
45	45
50	49
55	54
60	59
65	64
70	69

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa pada jarak sampai dengan 45cm hasil pengujian dan pengukuran sama. Perbedaan nilai antara pengujian dan pengukuran terjadi pada pada jarak 50cm sampai dengan jarak 70cm sebesar 1cm

Selanjutnya akan dilakukan pengujian waktu pengambilan data dengan memvariasikan ketinggian sesuai dengan skema pengambilan data yang telah dijelaskan pada bab perancangan sistem. Dari hasil pengujian yang dilakukan didapat data seperti pada Tabel 5.

Pada Tabel 5 perangkat *end device* dan *router* proses pengambilan data, pengiriman dan menunggu paket dari *coordinator* berlangsung rata-rata selama 31 detik. pada tabel Tabel 5 dapat dilihat bahwa waktu antar kedatangan paket data rata-rata 31 detik lebih lama dari waktu alarm. Hal ini menunjukkan bahwa pengaturan alarm untuk waktu sleep yang ditentukan sudah benar. Pada Tabel 5 juga menunjukkan sistem sudah mampu membaca dan membandingkan ketinggian air dengan benar sehingga dapat memberikan inisialisasi waktu sleep dengan benar. Dari pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sistem sudah berjalan sesuai dengan skema yang telah dirancang.

Tabel 5 Data pengujian sistem

Node ID	Ketinggian (cm)	Alarm	waktu antar kedatangan data
Router			
1	10		
1	10	20 menit	20 menit 32 detik
1	9		
1	49		
1	49	10 menit	10 menit 32 detik
1	49		
1	79		
1	79	5 menit	5 menit 31 detik
1	79		
1	105		
1	105	2 menit	2 menit 31 detik
End Device			
2	11		
2	10	20 menit	20 menit 32 detik
2	10		
2	49		
2	49	10 menit	10 menit 31 detik
2	49		
2	79		
2	78	5 menit	5 menit 31 detik
2	79		
2	104		
2	104	2 menit	2 menit 31 detik
2	104		

4. Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari hasil perancangan dan evaluasi perangkat yang dibuat pada Penelitian ini adalah :

1. Pada pengujian langsung pada sungai, hasil pengukuran air sudah dapat dikatakan stabil dengan nilai perubahan ketinggian muka air sampai dengan 2cm pada *router* dan sampai dengan 3cm pada *end device* untuk pengambilan 50 data.
2. Dari hasil pengujian pada laboratorium untuk didapat hasil pengukuran dan pengujian hanya memiliki perbedaan +/- 1 cm dengan objek deteksi air pada ember 50cm, sampai pada jarak 70cm antara sensor dan permukaan air.
3. Hasil pengujian skema pengambilan data sudah menunjukkan sistem berjalan dengan lancar, dengan waktu rata-rata hidup perangkat sebesar 32 sekon dan sleep sesuai dengan skema waktu yang dirancang
4. Hasil pengukuran tegangan dan arus, pada *end device* arus aktif sebesar 40,2mA dan *sleep* sebesar 12,73mA, sedangkan pada *router* arus aktif sebesar 40,25mA dan *sleep* sebesar 26,46mA.
5. Pada skema pengambilan data pada *end device*, maksimal penggunaan baterai sampai dengan selama 9 hari 12 jam dan pada sampai dengan selama 4 hari 3 jam dan 36 menit.
6. Throughput rata-rata perangkat pada kondisi ruang terbuka dengan panjang paket maksimum sebesar 6,36kb/s dan minimum sebesar 2,22kb/s, sedangkan pada pengujian laboratorium throughput pada panjang

- paket maksimum sebesar 6,74kb/s dan minimum sebesar 2,12kb/s
7. delay rata-rata perangkat pada kondisi ruang terbuka dengan panjang paket maksimum sebesar 129,59ms dan minimum sebesar 75,70ms, sedangkan pada pengujian laboratorium delay pada panjang paket maksimum sebesar 122.33ms dan minimum sebesar 75,50ms
 8. Nilai *Packet Delivery Ratio* pada pada pengujian ruang terbuka dan pada laboratorium menunjukkan nilai 100%.
 9. Pada pengujian RSSI dengan jarak pengujian 100 meter, nilai daya yang diterima perangkat sebesar -59,29dBm pada router dan -56,23 pada *end device* sedangkan jarak maksimal perangkat masih dapat saling berkomunikasi adalah sebesar 500 meter daya terima sebesar -81 dBm.

Referensi

- [1]. Possore. 2014. BNPB: Kerugian Banjir Nasional Capai Rp14,75 Triliun. (<http://possore.com/2014/03/11/bnpb-kerugian-banjir-nasional-capai-rp1475-triliun/>). Januari 2015
- [2]. BPPT. 2013. Sijampang, Dukungan Teknologi Hadapi Musim Hujan. (<http://www.bppt.go.id/index.php/teknologi-sumberdaya-alam-dan-kebencanaan/1814-sijampang-dukungan-teknologi-hadapi-musim-hujan>). Januari 2015
- [3]. Sijampang. 2013. Sistem Deteksi Dini berbasis data Radar Cuaca. (<https://sijampang.wordpress.com>). Januari 2015
- [4]. Bauman, Cris. 2006. *Picking the Right 802.15.4/Zigbee wireless connection for your embedded design*. Atmel Corp.
- [5]. Hendrix, Jay. Jim K. 2009. Zigbee Overview. Zigbee Alliance.
- [6]. Digi International. 2012. *XBee/XBee-PRO ZB RF Modules Datasheet*. Digi International Inc, Minnetonka.
- [7]. Elek Freaks. Ultrasonic Ranging Module HC-SR04. Elek Freaks
- [8]. Arduino.cc. 2014. Arduino Uno. (<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>). September 2014.
- [9]. Geetech wiki. 2014. Arduino GPRS Shield. (http://www.geetech.com/wiki/index.php/Arduino_GPRS_Shield). September 2014.
- [10]. Piyare Rajeev, Lee Seong-ro.2013. *Performance Analysis of Xbee ZB Module Based Wireless Sensor Networks*. Mokpo National University. South Korea.
- [11]. Haldar, Manik. 2013. *Study of Wireless Sensor Network Using Xbee Sensor Node*. India: jadavpur University. .
- [12]. Microwave Journal. *Extending 2.4 GHz ZigBee Short Range Radio Performance with Skyworks Front-End Modules*.
- [13]. Debus, Walter. 2006. *RF Path Loss & Transmission Distance Calculation*. Axonn,LLC
- [14]. Sputnik. 2004. *RF Propagation Basic*. Sputnik.Inc
- [15]. Rappaport, Theodore S. 1998. *Wireless Communications Principles & Practice*. 2nd Ed., Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- [16]. Digi International. 2015. Sending data through an 802.15.4 Network Latency Timing. (http://knowledge.digi.com/articles/Knowledge_Base_Article/Sending-data-through-an-802-15-4-network-latency-timing). 1 Juni 2015.
- [17]. PRISM. 2015. IEEE 802.15.4 CSMA-CA Protocol (ZigBee). (<http://www.prismmodelchecker.org/casestudies/zigbee.php#protocol>). 1 Juni 2015.
- [18]. SIMcom. 2010. *SIM-900 AT Command Manual*. Shanghai SIMcom Wireless Solution Ltd
- [19]. Maxim Integrated. 2013. DS3231 Datasheet. Maxim Integrated Inc, California.