

IMPLEMENTASI KOMUNIKASI DATA BERBASIS ZIGBEE PADA SCADA (SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION) PLTMH

Beny Firman, Suharyanto, Eka Firmansyah
Jurusan Teknik Elektro FT UGM
Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA

Abstract

Recently, Microhydro Power Center (Pusat Listrik Tenaga Mikrohidro or PLTMh) has been spread widely the energy electric generator. PLTMh control system in Indonesia often uses automatic control system. One of the reasons for this is that the operation and monitoring of the PLTMh could be done from a distance. One of PLTMh models of remote control is known as SCADA. One of the main parts of SCADA is Master Station (MS), Remote Terminal Unit (RTU) & Communication System. Communication System in SCADA can be build in several choices: wired or wireless. Remote control can be built using Wireless Sensor Network (WSN) system. The application of WSN in operating SCADA could ease installation and increase communication reliability.

This study applied ZigBee technology on PLTMh SCADA control data communication. ZigBee was chosen because it's free of operation and licensing charge, had OSI feature and low cost, those are reasons why they are best suited to PLTMh application. In the application, ZigBee hardware was divided into several parts: Coordinator on Master Station (MS) (one unit), End Devices which were each RTU unit point (two units) and Router as a data hooping between Coordinator & End Device (one unit). The furthest point between Coordinator and End Device through Router could reach 645 meters. This was tested in LOS (Line of Sight) condition.

RSSI signal on ZigBee was used to see the strength of signal reception on Coordinator as data collector. RSSI score (-dBm) became smaller at maximum distance variation. This meant signal power at data jump point became lower. ZigBee based data communication to form SCADA network had been built well in join a network model, which was between Coordinator — Router — End Device at the furthest distance, 645 meters, with signal power of -82dBm.

Keywords: WSN, ZigBee, SCADA, Microhydro Power Center (PLTMh)

Intisari

Pusat Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMh) telah banyak dikembangkan sebagai penyedia energi. Sistem pengendalian PLTMh di Indonesia telah banyak menggunakan sistem pengendali otomatis. Hal ini dilakukan agar pengoperasian dan pemantauan dapat dilakukan dari jarak jauh. Salah satu model pengendali jarak jauh PLTMh dikenal dengan nama SCADA. Bagian utama dari SCADA adalah Master Station (MS), Remote Terminal Unit (RTU) & Sistem Komunikasi. Sistem Komunikasi dalam SCADA dapat dibangun dalam beberapa pilihan baik *wired* maupun *wireless*. Pengendalian jarak jauh dapat dibangun dengan menggunakan sistem Jaringan Sensor Nirkabel (WSN). Penerapan WSN dalam pengoperasian SCADA mampu mempermudah instalasi dan meningkatkan kehandalan komunikasi.

Penelitian ini menerapkan teknologi ZigBee untuk komunikasi data pengendalian SCADA PLTMh. ZigBee dipilih karena bebas biaya operasi dan lisensi, fitur OSI dan rendahnya biaya peranti sehingga sesuai untuk aplikasi PLTMh. Pada penerapannya perangkat keras ZigBee dibagi menjadi beberapa bagian: 1 buah Coordinator pada bagian Master Station (MS), 2 buah End Device yaitu pada masing-masing titik unit RTU dan 1 buah Router sebagai pelompat data antara Coordinator & End Device. Jarak terjauh antara Coordinator dan End Device dengan melewati Router dapat mencapai 645meter, pengujian tersebut dilakukan dalam keadaan LOS (Line of Sight).

Sinyal RSSI pada ZigBee dimanfaatkan untuk melihat besar kekuatan penerimaan sinyal pada Coordinator sebagai pengumpul data. Nilai RSSI (-dBm) menjadi semakin kecil pada variasi jarak maksimal, ini berarti kekuatan sinyal yang terjadi pada titik lompatan data semakin rendah. Komunikasi data berbasis ZigBee untuk membentuk jaringan SCADA sudah dapat dibangun dengan baik pada model *join a network* yaitu antara Coordinator – Router – End Device pada jarak terjauh 645 meter dengan kekuatan sinyal -82dBm.

Kata kunci: WSN, ZigBee, SCADA, Pusat Listrik Tenaga Mikrohidro(PLTMh)

PENDAHULUAN

Konsumsi listrik Indonesia setiap tahunnya terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional. Oleh karena itu, prakiraan kebutuhan listrik jangka panjang di Indonesia sangat diperlukan agar dapat menggambarkan kondisi kelistrikan saat ini dan masa datang. Dengan diketahuinya perkiraan kebutuhan listrik jangka panjang antara tahun 2003 hingga tahun 2020 akan dapat ditentukan jenis dan perkiraan kapasitas pembangkit listrik yang dibutuhkan di Indonesia selama kurun waktu tersebut (Moch. Muchlis dan Adhi Darma, 2009).

PLTMh merupakan suatu penyedia energi yang sederhana yang dapat dimanfaatkan pada daerah yang memiliki potensi sumber daya air yang melimpah sehingga dapat menjadi pilihan bagi pemenuhan kebutuhan energi listrik di daerah. Sistem pengendali unit PLTMh pada dasarnya dilakukan secara berkala dikarenakan sistem pengoperasiannya yang secara berkeberlanjutan agar *supply* energi tidak terputus. Umumnya sistem pengendali dan pengawasan PLTMh masih tradisional yaitu dengan menempatkan seorang operator dalam proses pengawasan PLTMh.

Sebuah sistem kendali yang sedang banyak dikembangkan akhir-akhir ini adalah SCADA. SCADA (*Supervisory Control dan Data Acquisition*) adalah sistem proses kendali yang memungkinkan operator lokal untuk memantau dan mengontrol proses yang didistribusikan di antara berbagai tempat.

Jaringan Sensor Nirkabel (WSN) diharapkan menjadi teknologi utama untuk beberapa aplikasi seperti otomatisasi rumah (ZigBee Alliance, 2007) kendali bangunan (Y Yu dkk, 2007) dan penghematan energi. Sistem pengendali jarak jauh dapat dibangun dengan WSN. Teknologi ZigBee dapat dimanfaatkan dalam sistem WSN yang dapat menyampaikan informasi dari titik 1 ke lainnya secara nirkabel. Lapisan protokol ZigBee didasarkan pada model acuan dasar *Open System Interconnect(OSI)* (Eady Fred, 2007) dengan kelebihan berupa bebas lisensi dan dibandingkan dengan jaringan lainnya, ZigBee memiliki kelebihan sebagai berikut: konsumsi daya rendah, harga yang murah, tundaan waktu yang singkat, kapasitas jaringan yang besar, handal serta aman (Quan Xi Li dan Gang Li, 2010).

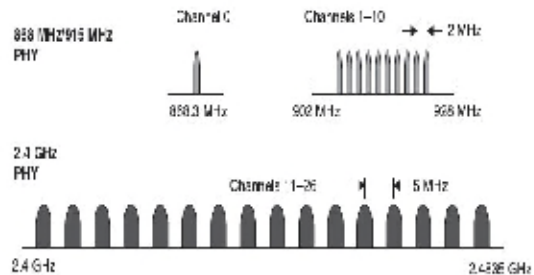
Dalam penelitian ini, akan dibangun jaringan komunikasi nirkabel menggunakan perangkat WSN berbasis ZigBee yang digunakan untuk komunikasi SCADA PLTMh.

TEKNOLOGI ZIGBEE

150 Firman, Implementasi Komunikasi Data Berbasis Zigbee pada Scada (*Supervisory Control and Data Acquisition*) PLTMH

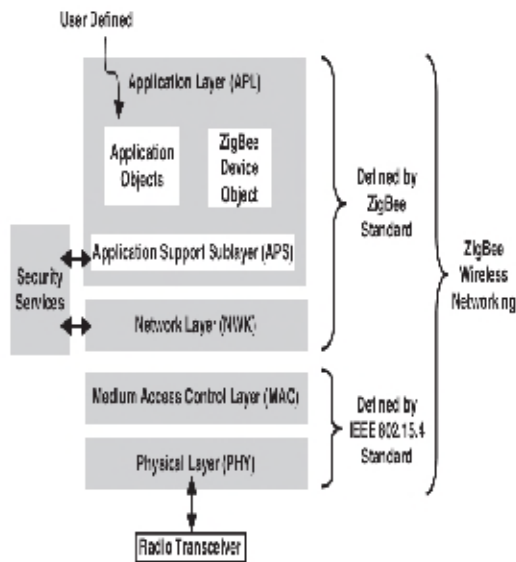
Kelanjutan pada IEEE 802.11a/b/g berbasis jaringan nirkabel dan sistem nirkabel seperti *Bluetooth*, *ZigBee*, dan *WiMax* saat ini memfasilitasi kehandalan dan menghadirkan konektivitas[7]. Teknologi ZigBee memiliki jangkauan data pendek, daya rendah, serta biaya yang rendah dan juga teknologi komunikasi nirkabel yang rendah kompleksitasnya. Teknologi ini banyak dikembangkan pada sistem otomasi kontrol, kendali di bidang industri dan banyak lagi (Li Xiaolong dkk, 2010).

ZigBee menggunakan DSSS yang membagi spektrum 2,402 to 2,480GHz menjadi 16 kanal atau 10 kanal pada spektrum 915Mhz 1 kanal pada spektrum 868MHz yang diterapkan di Eropa (Thonet Gilles, dkk, 2008).



Gambar 1. Spektrum Frekuensi IEEE 802.15.4/ZigBee

ZigBee dapat bekerja pada jenis jaringan yang berbeda yaitu: *Star*, *Tree* dan *Mesh*. Pada jaringan *Star*, *Coordinator* ZigBee membuka jaringan dan seluruh *node* secara langsung dapat bergabung (*associated*) dengan *Coordinator* ZigBee. Pada dua jenis jaringan lainnya, tiga jenis *node* ZigBee, *Router* ZigBee dan *End Device* dapat bergabung. *Router* ZigBee dapat bergabung sendiri ke *Router* ZigBee yang lain atau langsung ke *Coordinator* ZigBee. Pada jaringan *Tree*, *Router* ZigBee membentuk sebuah *Tree* atau pohon yang menyebar seperti akar (*rooted*) pada *Coordinator* ZigBee. Pada jaringan *Mesh*, topologi jaringan dapat menjadi jaringan *Mesh* yang umum mencakupi *Router* ZigBee dan *Coordinator* ZigBee (Farahani Shahin, 2008). Pada umumnya, topologi *Mesh* terdiri dari sebuah *Coordinator* dan sekumpulan *Router* dan *End Device* (Digi International Inc., 2008).



Gambar 2. Arsitektur Tumpukan Protokol ZigBee

Jaringan Sensor Nirkabel ZigBee merupakan sebuah jaringan nirkabel yang berbasis pada standar IEEE 802.15.4 dan protokol jaringan ZigBee seperti pada gambar 2.

Standar IEEE 802.15.4 yang disepakati pada Mei 2003, adalah standar *Wireless Personal Area Network (WPAN)* dengan kecepatan rendah yang diarahkan oleh IEEE dan kepuasan model referensi *Open Systems Interconnection (OSI) International Organization for Standardization (ISO)*. Pada perbandingannya dengan jaringan nirkabel lainnya, persetujuan IEEE 802.15.4 mempunyai kelebihan: kemampuan jaringan yang baik, adaptasi lebar, kehandalan yang tinggi dan efisiensi energi yang tinggi (Xiong Junhua dan Wang Tingling, 2010).

TEKNOLOGI SCADA

Sistem SCADA secara tradisional digunakan kombinasi komunikasi radio dan serial secara langsung atau koneksi modem yang memenuhi persyaratan, meskipun *Ethernet* dan *IP* melalui *SONET/SDH* juga sering digunakan pada tempat yang besar seperti *railways* dan *power stations*. Pengelolaan atau fungsi pemantauan sebuah sistem SCADA sering mengacu pada sistem telemetri (He Hong-jiang, dkk, 2009). Fungsi SCADA adalah mengumpulkan informasi, mengirimkan kembali ke pusat informasi, membawa serta beberapa analisis yang dibutuhkan serta mengendalikan dan kemudian menampilkan informasi pada sejumlah layar operator. Sistem secara

otomatis mengendalikan kerja dan proses otomatis (Kim Tai-hoon, 2011).

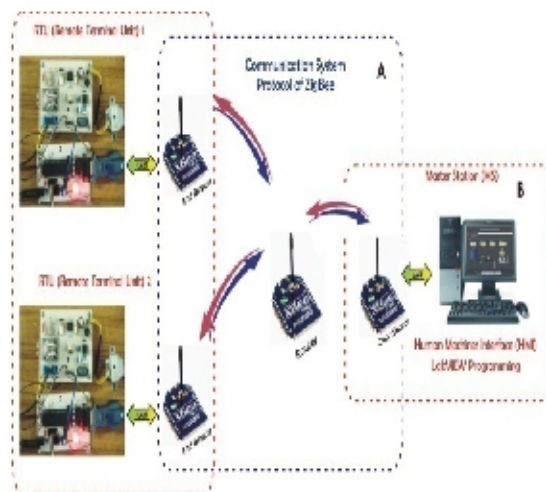
Sistem SCADA mempunyai tiga bagian utama yaitu: RTU (*Remote Terminal Unit*), Sistem Komunikasi (*Communication System*), dan MS (*Master Station*). RTU merupakan pengendali utama pada sistem lokal dan berfungsi mengatur serta mengirimkan data pengaturan lokal ke *Master Station* melalui sistem komunikasi. Pada sistem komunikasi berfungsi untuk mengirimkan data dari sistem pengawasan ke bagian penerima, oleh karena itu, SCADA dapat dipantau.

Sistem otomatisasi modern dilengkapi dengan panel operasi menerapkan antarmuka *HMI (Human-Machine Interface)* untuk komunikasi antara operator dan proses industri yang otomatis. HMI adalah bagian utama dari aplikasi *SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition)*.

PERANCANGAN PERANGKAT KERAS & PENERAPAN PROTOKOL ZIGBEE

- X-Bee PRO

Sistem komunikasi SCADA berbasis ZigBee ini tersusun dari beberapa blokbagiannya terletak pada bagian RTU (*Remote Terminal Unit*) yaitu pembacaan data tegangan dan arus yang diproses oleh Mikrokontroler AVR dan diteruskan melalui Serial UART ke XBee sebagai *End Device* untuk dikirimkan menuju *Coordinator* pada lompatan *Router* pada konfigurasi jaringan *Mesh* seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Sistem Arsitektur Rancangan Komunikasi Data pada SCADA PLTMh menggunakan Teknologi ZigBee

Fitur utama pada perangkat radio XBee adalah perangkat nirkabel dengan konsumsi daya rendah sehingga memungkinkan

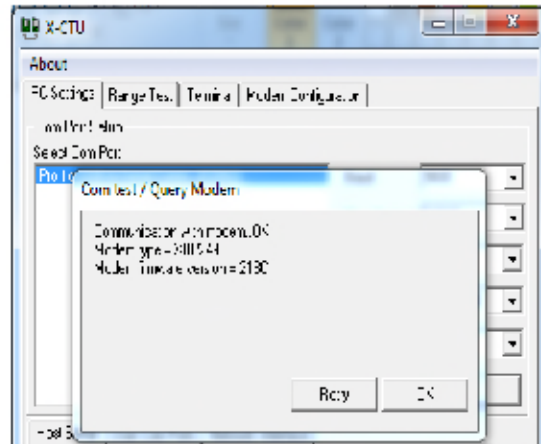
penggunaan daya dalam jangka waktu yang lama. Pada perancangan ini, penulis menempatkan perangkat *End device* pada sisi RTU (*Remote Terminal Unit*). Pada sisi ini pengendalian secara lokal oleh perangkat kendali mikrokontroler. Beberapa parameter kendali yang dikirimkan untuk di akuisisi oleh *Master Station* yang terintegrasi dengan HMI (*Human Machine Interface*) SCADA dilakukan oleh perangkat XBee sebagai *Router* yang berfungsi meneruskan data menuju *Coordinator* pada *Master Station (MS)*.

Spesifikasi perangkat keras pada Transceiver yang digunakan:

- XBee PRO
 - ✓ Asupan Daya : 2,1 – 3,6VDC
 - ✓ Arus Kerja (*Transmit Power*) : 295mA(3,3V)
 - ✓ Arus Kerja (*ReceivePower*) : 45mA(3,3V)
 - ✓ Jangkauan *Indoor / Outdoor* : hingga 100mtr
 - ✓ *Outdoor LOS* : hingga 1,6km
 - ✓ *Transmit Power* : 63mW(+18dBm)
 - ✓ *Data Rate* : 250Kbps
 - ✓ Frekuensi Kerja : ISM 2,4GHz
- Alamat Jaringan XBee PRO
 - ✓ *Coordinator* : 0013A20040704317
 - ✓ *Router* : 0013A200407042B5
 - ✓ *End Device1* : 0013A20040704FCB
 - ✓ *End Device2* : 0013A20040704630

- X – CTU Software

Merupakan sebuah perangkat lunak yang digunakan untuk menuliskan serta mengatur konfigurasi Radio XBee. Pada perangkat lunak ini dapat dengan mudah mengatur *firmware* agar bekerja pada protokol ZigBee dengan konfigurasi jaringan *Mesh*. Pengaturan lainnya adalah pengaturan perangkat X-Bee sebagai *Coordinator*, *Router* maupun *End Device*. Proses konfigurasi Radio XBee sebagai *Coordinator* pada tipe modem XBP24-B diterapkan pada Radio XBee dengan nomor serial 0013A20040704317, perangkat lainnya dijadikan *Router* dan *End Device*.



Gambar 4. Proses Pengenalan firmware dan Hasil Konfigurasi Modem tipe XBP24 – B

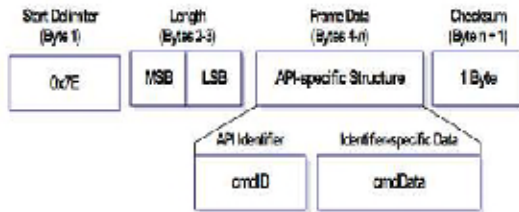
PROTOKOL ZIGBEE

Proses pengiriman data serial pada komunikasi ZigBee terjadi saat data serial yang diterima dan siap untuk dipaketkan, modul RF akan menjadi *Idle Mode* dan akan langsung mengirimkan data. Alamat tujuan menentukan *node* yang akan menerima data. Jika rute tidak diketahui, maka rute penemuan akan membangun rute ke *node* tujuan. Jika modul dengan alamat jaringan yang benar tidak ditemukan, maka paket tersebut akan dibuang. Data yang akan dikirimkan akan dibangun sekaligus rute tersebut.

Jika rute penemuan gagal dalam menetapkan rute, maka paket akan dibuang. Saat terjadi proses pengiriman data dari satu *node* ke *node* lainnya, sinyal *acknowledgment* akan dikirimkan kembali melalui rute yang telah dibangun ke *node* sumber. Proses ini menunjukkan bahwa paket *acknowledgment* ke *node* awal telah diterima oleh *node* tujuan. Tetapi jika *acknowledgment* jaringan tidak diterima, *node* sumber akan mengirimkan kembali data tersebut.

Perencanaan perangkat lunak Radio XBee terdiri dari perencanaan protokol komunikasi data dan perencanaan program. Protokol komunikasi data antar *nodesensor* menggunakan *frame API X-Bee ZB*.

Susunan frame data API seperti pada Gambar berikut:



Gambar 5. Struktur Bingkai Data UART dalam Konfigurasi Operasi API

Dalam format bingkai UART yang sama digunakan untuk *commands* yaitu paket-paket yang dikirimkan dari pengendali utama ke perangkat ZigBee atau *events* yaitu paket-paket dikirimkan dari perangkat ZigBee ke pengendali utama[17].

Algoritma pembacaan nilai sensor pada *End Device* dilakukan menggunakan *frame API* dengan jenis *cmdID ZigBee Receive Packet (AO = 0)*.

Tabel 1. Nama & Nilai dari Bingkai API[16]

API Frame Names	Values
Modem Status	0x6A
AT Command	0x06
AT Command - Queue Parameter Value	0x09
AT Command Response	0x86
Remote Command Request	0x17
Remote Command Response	0x97
ZigBee Transmit Request	0x10
Explicit Addressing ZigBee Command Frame	0x11
ZigBee Transmit Status	0x6B
ZigBee Receive Packet (AO=0)	0x90
ZigBee Explicit Rx Indicator (AO=1)	0x91
ZigBee IO Data Sample Rx Indicator	(0x92)
XBee Sensor Read Indicator (AO=0)	0x94
Node Identification Indicator (AO=0)	0x95

HASIL PENGUKURAN

Setiap paket dimulai dengan *Start delimiter (0x7E)*. Berikutnya diikuti panjang data *byte* yang dikirim dalam paket terhitung setelah *byte length* hingga *checksum*. *Byte* berikutnya adalah nomor serial pengirim (*64-bit Serial Number*) dan *16-bit Network Address*. *Byte* selanjutnya adalah nilai sensor yang dikemas dalam ukuran *2byte*. *Byte* berikutnya adalah *Receive Options* yang menandakan *Packet Acknowledged* atau paket data lengkap atau tidak. *Byte* terakhir sebelum *Checksum 1byte* adalah nilai data sensor *2byte*.

Berikut bentuk data yang diterima pada terminal serial terhadap hasil pembacaan Radio XBee pada *Coordinator* untuk pengujian data variasi jarak terhadap waktu bergabung kembali ke jaringan saat terjadi mode *sleep* pada *end device*. Pengiriman data dari *End device* dilakukan pada setiap 1000milidetik dan

kembali ke mode *sleep* sesaat setelah pengiriman selesai.

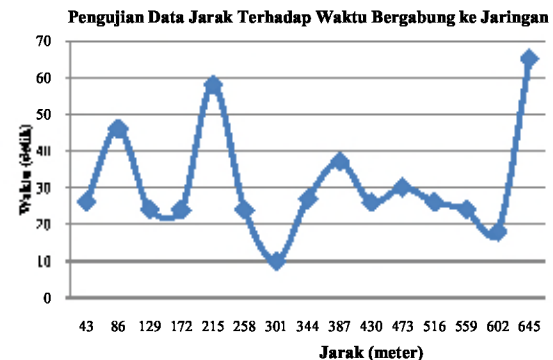
```

7E 00 12 92 00 13 A2 00 40 70 4F CB 91 41 01
01 00 00 01 02 09 0E
Data Parsed:
7E 00 12 92 00 13 A2 00 40 70 4F CB 91 41 01
01 00 00 01 02 09 0E
64Bits Remote Module Address:
0013:A200-4070:4630
16Bits Remote Module Network Address:
98B6
Status:
0x00 = OK
Para: 02 02

```

Dalam serangkaian data serial yang diterima terminal serial, panjang data sama seperti struktur bingkai data dalam konfigurasi operasi API seperti pada gambar 5. Pada 64-bit alamat *Remote Module* berisi nilai 0013:A200-4070:4630 yang merupakan nomor ID *End Device* yang mengirimkan data suhu senilai 02 02(heksa) atau sebesar 514(desimal).

Pada tahapan pengiriman data ini, diukur lamanya waktu jawaban atau respon dari *End Device* hingga data tersebut sampai ke *Coordinator* saat *End Device* selesai mengirimkan data dan kembali pada mode *sleep*. Besar nilai antara lama waktu bergabung kembali ke jaringan dengan variabel jarak antar node bervariasi hingga pada jarak terjauh. Pada jarak terjauh yaitu 645 meter, waktu yang dibutuhkan oleh *End Device* untuk bergabung ke dalam jaringan yaitu 65 detik.



Gambar 6. Pengujian Data Jarak Terhadap Waktu *Join a Network*

Pengujian berikutnya adalah kode perintah yang dikirimkan oleh *Coordinator* ke titik *End Device* untuk meminta data kekuatan sinyal yang terjadi pada *End Device*. Perintah paket data API ini mengirimkan sederetan kode heksa dengan isi data 0x44 0x42 yaitu ATDB merupakan perintah *ATReceived Signal Strength*. Pengujian data kekuatan sinyal

dilakukan terhadap variasi jarak pada beberapa titik pengukuran. Bentuk data yang diterima pada terminal serial seperti berikut:

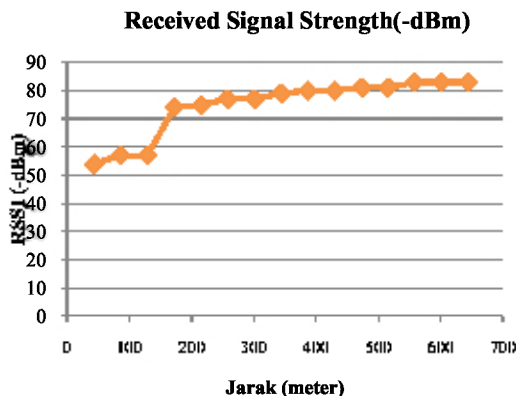
```

00 10 97 01 00 13 A2 00 40 70 46 30 98 B6
      44 42 00 39 7F
Data Parsed:
7E 00 10 97 01 00 13 A2 00 40 70 46 30 98
      B6 44 42 00 39 7F
Remote AT Command Response
Frame ID: 0x01
64Bits Remote Module Address:
0013:A200-4070:4630
16Bits Remote Module Network Address:
98B6
Command:
DB
Status:
0x00 = OK
Para: 39

```

Nilai yang diterima oleh paket data pada terminal serial dalam bentuk bilangan heksadesimal dan kemudian dikonversi kedalam bentuk desimal agar dapat dibaca langsung dalam satuan kekuatan sinyal (-dBm).

Pada grafik terlihat semakin jauh jarak *End device* terhadap *coordinator*, maka semakin besar nilai RSSI atau ini berarti kekuatan sinyal yang terjadi pada titik lompatan data semakin rendah.



Gambar 7. Pengujian Kekuatan Sinyal dalam Variasi Jarak Terhadap Coordinator

Pada skema pengujian seperti pada gambar 4, didapat hasil pengujian terjauh antar titik */node* adalah ±480 meter, sehingga jarak terjauh antara *End Device* dengan *Coordinator* adalah ±1440 meter. Dalam pengukuran ini waktu yang dibutuhkan untuk *End Device* bergabung kembali ke jaringan berkisar antara 25 hingga 65 detik saat terjadi putus hubungan komunikasi dalam 1 titik pada jaringan.

KESIMPULAN

Dengan adanya komunikasi berbasis ZigBee ini memungkinkan terbangunnya sebuah sistem yang lebih efisien dan murah dalam pengiriman data SCADA PLTMh. Penggunaan perangkat mikrokontroler dan sensor yang murah namun secara kinerja dapat diandalkan dapat menjadi jaminan akan sistem yang dibangun lebih efisien dan efektif.

Penggunaan perangkat XBee dengan pembentukan jaringan *Mesh* dapat menjadi alternatif pengiriman data parameter PLTMh pada SCADA nirkabel serta memudahkan operator dalam proses pengamatan, pengendalian dan akuisisi data jarak jauh tanpa harus berada pada lokasi dimana PLTMh beroperasi.

DAFTAR PUSTAKA

Eady, Fred. *Hands-On ZigBee Implementing 802.15.4 with Microcontrollers*, Elsevier Ltd, 2007.

Faludi, Robert., *Building Wireless Sensor Network*, O'Reilly Media, Inc., 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, CA 95472, (pp.100 – 101).

Farahani, Shahin., *ZigBee Wireless Networks and Transceivers*, Elsevier Ltd, 2008.

Galitz, W. O. (2007). *The Essential Guide to User Interface Design An Introduction to GUI Design Principles and Techniques*. Indiana, Canada: Wiley Publishing, Inc.

Gislason, Drew. 2008. *ZigBee Wireless Networking*.

Hong-jiang He, Zhu-qiang Yue, Xiao-jie Wang *Design and Realization of Wireless Sensor Network Gateway Based on ZigBee and GPRS*, Second International Conference on Information and Computing Science, 2009.

Junhua Xiong, Tingling Wang , *DESIGN OF TIERED PRICING METER BASED ON ZIGBEE WIRELESS METER READING SYSTEM*,.

Khusvinder Gill, "A Zigbee-based Home Automation System," *IEEE Transactions*, vol. 55, no. 2, pp. 422 - 430, May 2009.

KAZEM SOHRABY, DANIEL MINOLI, TAIEB ZNATI, *WIRELESS SENSOR NETWORKS, Technology, Protocols, and Applications*, A John Wiley & Sons, Inc., Publication, 2007

- Muchlis, Moch., dan D.P. Adhi, *Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN Tahun 2003 s.d 2020*.
- Ramani, K.V., 1992, "Rural electrification and rural development, Rural electrification guide book for Asia & Pacific", Bangkok.
- Thonet, Gilles., Allard-Jacquín, Patrick., Colle, Pierre, "ZigBee – WiFi Coexistence", SchneiderElectric Innovation Department, 15 April 2008.
- Wibowo, C. S. (2009) Aplikasi Programmable Logic Controller dan Mikrokontroler sebagai induction Generator Controller pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro. *CITEE* .
- Xiaolong Li, Sairam Munigala, Qing-An Zeng, "Design and Implementation of a Wireless Programmable Logic Controller System", International Conference on Electrical and Control Engineering, 2010.