PROTOTYPE SMART STREET LIGHTING DI WIRELESS SENSOR NETWORK

(Prototype Smart Street Lighting in Wireless Sensor Network)

Ratih Loviesta Nurbed[1], Rendy Munadi[2], Ratna Mayasari[3]
[1,2,3]Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom
ratihloviestanurbed@gmail.com[1], rendy_munadi@yahoo.co.id[2], ratnamasayari07@yahoo.com[3]

Abstrak

Penghematan energi merupakan salah satu permasalahan *global warming*. Keterbatasan akan energi maupun Sumber Daya Alam menyebabkan berbagai pihak memikirkan banyak cara atau sistem yang dapat mengupayakan penghematan konsumsi energi listrik. Penggunaan lampu penerangan di taman saat ini kurang efisien dikarenakan pada malam hari intensitas kebutuhan lampu penerangan tidak begitu tinggi. Untuk penghematan itu, salah satu cara yang bisa digunakan adalah dengan mengatur intensitas cahaya agar lebih efisien, dan data konsumsi energi listrik ini akan dikirim dengan memanfaatkan jaringan sensor nirkabel.

Dalam penelitian ini di desain suatu jaringan sensor nirkabel yang hemat energi yang dapat memantau intensitas cahaya pada lampu penerangan di taman beradasarkan ada atau tidaknya pergerakan pada *coverage area*. Perancangan ini akan menggunakan topologi *mesh*. Cara kerja sistem ini diawali dengan sensor *Light Dependent Resistor (LDR)* mendeteksi intensitas cahaya untuk menandakan kapan lampu akan menyala, kemudian sensor *Passive Infrared (PIR)* akan mendeteksi adanya pergerakan atau tidak di *coverage area*. Selanjutnya data akan di proses di Arduino Uno R3 dan hasil data tersebut akan dikirim ke Xbee *coordinator* yang terhubung dengan PC menggunakan Xbee Series 2. Data yang diterima berupa konsumsi energi listrik di *end device* serta *lifetime router node*. Data akan diproses dan di tampilkan pada PC sehingga user dapat lebih gampang untuk proses monitoring dan kontrol.

Dengan pengontrolan otomatis ini, diharapkan dapat menekan konsumsi energi listrik dengan mengoptimasi *lifetime router node* sebesar 3.433%. Jaringan yang dibuat ini, kemudian akan di uji pada empat kondisi, saat ada pergerakan dari arah kiri, saat ada pergerakan dari arah kanan, saat ada pergerakan dari dua arah dan saat ada manusia tapi tidak melakukan pergerakan.

Kata Kunci : Jaringan Sensor Nirkabel, *LDR, PIR, Xbee Series 2.*

Abstract

Energy optimization is one of the global warming problems. The limitation of energy and natural resources causes many side to think a lot of ways or sistem which can effort the consumption saving of electricity energy. Nowadays, the usage of lamp in the park is not efficient because the intensity of need itself is not quite high. So that for the saving, the one way that can be used is by setting the light intensity in order to be more efficient, and the data consumption of electricity energy will be sent by utilizing the wireless sensor network.

In this research will be designed a saving energy of wireless sensor network which can control the light intensity to the lamp in the park according to the presence or the absence of the movement in coverage area. The design will use a mesh topology. The way of working of the sistem is started with the Light Dependent Resistor (LDR) Sensor which detecs the light intensity to indicate when the lamp goes on, then the Passive Infrared (PIR) sensor will detect the movement in the coverage area. Furthermore, the data will be processed in* Arduino Uno *R3 and the data result will be sent to* Xbee *coordinator that connected to PC using* Xbee *Series 2. The accepted data is about the electricity energy consumption in the end service and lifetime of node router. The Data will be processed and displayed in PC so that the user can be more easier in monitoring and controlling process.

With this automatic controller, it is expected to be able to hold down the consumption of the electricity energy with optimize a lifetime router node about 3.433%. Then the made network will be tested in four condition, when there is a left movement, when there is right movement, when there is two sides movement and when there is a human that do nothing movement.

***Keywords* : Wireless Sensor Network, LDR, PIR, Xbee Series 2.**

1. Pendahuluan

Pengadaan lampu di berbagai publik area selalu menjadi konsentrasi utama oleh pemerintah, karena penggunaannya bisa mencapai 10-20% energi listrik di suatu Negara bahkan termasuk Negara berkembang [1].

Pemerintah juga menetapkan Instruksi Presiden Nomor 10 Tahun 2005 tentang penghematan energi [2], Instruksi Presiden Nomor 13 Tahun 2011 tentang Penghematan Energi dan Air [3].Disatu sisi pemerintah ingin memberikan pelayanan tanpa menghabiskan energi dan uang, tapi disisi lain kebutuhan para pengguna jalan akan penerangan di publik area yang akan memicu peningkatan keselamatan, juga sangat penting [1]. Dinas Pemakaman dan Pertamanan sudah mulai untuk pengembangan suatu *device* yang bisa menggantikan *device* yang sekarang dengan yang baru berbasis LED, lebih hemat energi dan memiliki kecerdasan sistem dimana diharapkan teknologi yang baru ini mampu melakukan monitoring dan pengontrolan penggunaan energi [1] sehingga tetap memberikan nilai dan keuntungan bagi pemerintah. Salah satu contoh penerapan ini bisa kita lihat pada *Smart City*.

Penerapan *Smart City* ini sudah mulai terlihat di berbagai Negara di dunia beberapa tahun terakhir. Seperti *Smart Building, Smart Environment, Smart Grid, Smart Lighting, Smart Home* dsb. Tentu saja, tidak menutup kemungkinan penerapan konsep *smart* ini dapat kita terapkan pada lampu penerangan di taman, mengingat konsumsi energi listrik Negara sangat tinggi. Lampu penerangan di taman ini sangat membantu pejalan kaki untuk penerangan jalan di malam hari. Namun jika dihitung, berapa besar konsumsi energi untuk lampu di semua taman yang mungkin tidak akan dilewati sepanjang malam. *Smart Street Lighting* ini akan dimonitoring menggunakan *Wireless Sensor Network*, menggunakan teknologi zigbee, sehingga dapat di*remote* monitoring secara berkala. Oleh karena itu diperlukan sistem ini yang nantinya akan membantu dalam penghematan konsumsi energi.

2. Dasar Teori

2.1 *Wireless Sensor Network*

Wireless Sensor Network (Jaringan Sensor Nirkabel) adalah sekelompok node dimana masing-masing node saling berkomunikasi atau terhubung satu dengan yang lainnya membentuk suatu jaringan yang dimaksudkan untuk memonitor dan mengendalikan kondisi fisik atau lingkungan di lokasi yang beragam. Node ini dirancang dengan berbagai fungsi yang berbeda, ada yang berfungsi sebagai *sensing* atau pemantau perubahan dilingkungan sekitar, ada yang sebagai *relaying data* atau sebagai penerima dan penerus data serta ada yang sebagai *exchanging data* atau pertukaran data dengan jaringan atau perangkat lain. Node yang sebaga*i sensing* biasa dikenal dengan sensor node, kemudian *relaying data* biasa dikenal dengan *router*dan *exchanging data* dikenal dengan *gateway (coordinator)* [4]. Node pada jaringan sensor nirkabel terdiri dari beberapa komponen diantaranya transducer, microcontroller, radio transceiver dan power supply [4]. Salah satu protocol yang digunakan pada jaringan sensor nirkabel adalah Zigbee. Zigbee merupakan protocol dengan standar IEEE 802.15.4 yang memiliki keunggulan dalam penggunaan daya yang kecil [4].

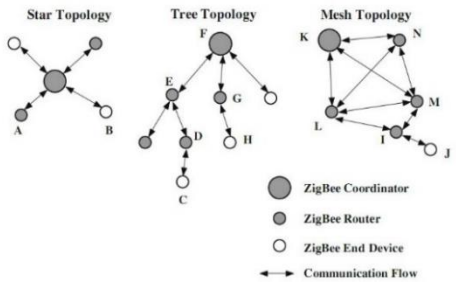
2.2 Sensor PIR dan LDR

Sensor LDR atau Light Dependent Resistor adalah salah satu jenis resistor yang nilai hambatannya dipengaruhi oleh cahaya yang diterima olehnya. Besarnya nilai hambatan pada LDR tergantung pada besar kecilnya cahaya yang diterima oleh LDR itu sendiri [13].

Sensor Passive Infrared (PIR) adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi adanya pergerakan atau pancaran inframerah. Sensor PIR menghasilkan outputan digital 0 dan 1. Sensor akan memberi nilai 0 saat tidak mendeteksi adanya gerakan dan bernilai 1 saat mendeteksi adanya pergerakan. Sensor PIR di desain hanya mendeteksi pancaran inframerah dengan panjang delombang 8-14 mikrometer [11].

2.3 IEEE 802.15.4 Topologi

Pada jaringan sensor nirkabel, zigbee network mampu men support topologi star, tree dan mesh yang merupakan perpanjangan fungsi dari peer to peer topologi [4]. Pada Zigbee network, harus ada satu *coordinator* yang bertanggung jawab terhadap kinerja keseluruhan jaringan, menjamin komunikasi antar node berjalan lancar dan aman [4].



Gambar 2.1

2.3.1 Topologi Star

Pada topologi star semua komunikasi dan koordinasi diatur oleh PAN *coordinator*. PAN *coordinator* mengumpulkan informasi dari seluruh node yang ada serta menghubungkan setiap node yang terdiri dari *router*node dan *end device*. Topologi star ini tidak cocok untuk jaringan skala besar dikarenakan keterbatasan *coordinator* [4].

2.3.2 Topologi *Cluster-Tree*

Topologi tree ini juga lebih flexible dibandingkan dengan topologi star karena penyebaran range area untuk bergabung ke jaringan *coordinator* tidak terpusat di *coordinator* saja, tapi bisa menggunakan *router*sebagai perpanjangan range *coordinator*. Cluster Tree adalah kasus special dari topologi peer to peer dimana terdapat beberapa FFD dan sebuah RFD yang terhubung sebagai daun pada *cluster tree* diakhir cabang. FFD dapat berperan sebagai *coordinator* yang berperan menjadi cluster head [4].

2.3.3 Topologi Mesh

Topologi mesh pada dasarnya hampir sama dalam pengiriman datanya dengan topologi tree, sama-sama lebih flexible karena tidak terbatas hanya pada *coordinator* saja. Pada topologi ini terdapat pula PAN *coordinator*, dimana topologi ini semua device dapat berkomunikasi satu sama lain selama masih dalam jangkauannya [4]. Kelemahan pada topologi ini adalah adanya latensi/delay, karena data harus melalui beberapa hop sebelum mencapai gateway.

2.4 Energy Aware Routing Protocol

Protokol routing ini merupakan pengembangan dari protocol routing Ad hoc On Demand Distance Vector (AODV). Energi-Aware routing protocol ini memungkinkan pengiriman data melalui link yang berbeda-beda. Ini didasarkan pada rate konsumsi energi jalur atau link yang digunakan. Sebelum node mengirimkan data, node akan mengecek ketersediaan jalur dan rate konsumsi energi jalur menuju ke destination. Ketika jalur yang tersedia (berdasarkan tabel routing) rate konsumsi energi nya rendah, maka paket dikirim menggunakan link tersebut. Namun jika rate konsumsi energi link atau jalurnya tinggi, maka next hop tersebut akan dimatikan untuk sementara waktu serta rute menuju link tersebut akan dibuang dari tabel routing agar node sumber bisa kembali menginisialisasi jalur terbaru menuju destination. Ini artinya tidak ada jalur yang digunakan sepanjang waktu. Hal ini akan mencegah menipisnya rate konsumsi energi link tersebut [4].

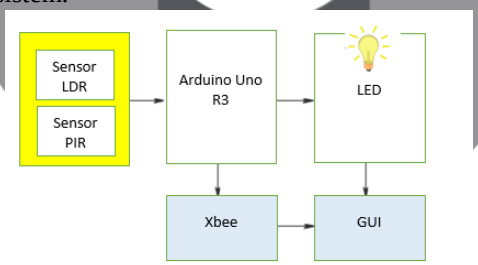
2.5 ZigBee (IEEE 802.15.4)

Zigbee adalah spesifikasi untuk protocol komunikasi tingkat tinggi yang mengacu pada standard IEEE 802.15.4 yang berhubungan dengan wireless personal area network (WPAN). Teknologi dari Zigbee sendiri dimaksudkan untuk penggunaan pengiriman data secara wireless yang membutuhkan transmisi data rendah dan juga konsumsi daya rendah, dan juga tidak lebih mahal dibanding dengan WPAN lain seperti Bluetooth. Beberapa karakteristik Zigbee diantaranya, Zigbee bekerja pada frekuensi 2.4 GHz, 868 MHz dan 915 MHz, *low cost*, konsumsi daya rendah, *transfer rate* 250kbps, serta memiliki *throughput* yang tinggi dan *delay* yang kecil [5].

3. Pembahasan

3.1 Pemodelan Sistem

Sistem monitoring lampu jalan berbasis jaringan sensor nirkabel ini mempunyai empat blok, yaitu blok sensor, blok catu daya, blok komunikasi antar node dan blok *interface* ke user nya. Pada blok sensor digunakan 2 macam sensor, LDR (*light dependent resistor)* dan sensor PIR (*passive infrared).* Untuk mikrokontroller digunakan Arduino Uno, untuk modul komunikasi digunakan Xbee Series 2 dan hasil dari monitoring. Gambar 3.1 menunjukkan gambaran umum sistem.



Gambar 3.1

Sistem akan diuji pada 3 kondisi, Gelap, Redup dan terang. Untuk cara kerja , Pertama sensor memonitoring keadaan lingkungan sekitarnya, ketika sensor LDR mendeteksi perubahan intensitas cahaya dari terang ke gelap, otomatis akan menyebabkan tinggi nya nilai resistansi. Data sensing ini akan dikirimkan ke mikrokontroller untuk di proses sehingga lampu menyala dalam keadaan menyala redup, setelah itu sensor PIR akan mendeteksi ada atau tidak pergerakan pada *coverage-area* dan secara otomatis data sensing akan dikirim lagi ke mikrokontroller untuk di proses.. Jika ada pergerakan dalam *coverage-area*, maka lampu akan menyala terang, jika tidak lampu akan tetap menyala redup.

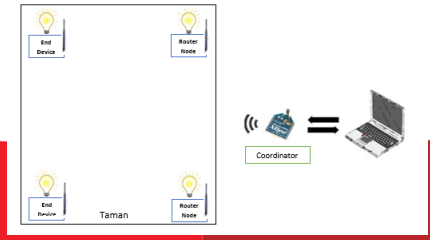
Data yang sudah di proses di mikrokontroller (data hasil sensing) dikumpulkan dulu di setiap node dan akan dikirimkan secara nirkabel melalui modul Xbee series 2 menggunakan jaringan *mesh* menuju *coordinator* yang

terhubung langsung ke PC. Pada PC dibuat suatu tampilan GUI yang ditujukan agar user dapat membaca dan memonitoring hasil sensor dengan mudah.

Data yang akan dimonitoring berupa konsumsi energi listrik tiap node dan energi *router*node, sehingga dari data ini kita bisa membandingkan rata-rata penggunaan energi listrik apakah lebih hemat atau tidak dari sebelumnya dan dapat melihat lifetime *router*node. Selain itu data ini bisa digunakan untuk monitoring kerusakan atau *lifetime* perangkat, dimana apabila satu node tidak mengirim data maka dapat diasumsikan perangkat mengalami kerusakan.

3.1.1 Perancangan Sistem Secara Keseluruhan

Secara umum setelah data diolah di arduino uno, data dikirimkan ke *coordinator* yang terhubung dengan PC menggunakan modul Xbee series 2 agar dapat di monitoring



Gambar 3.2

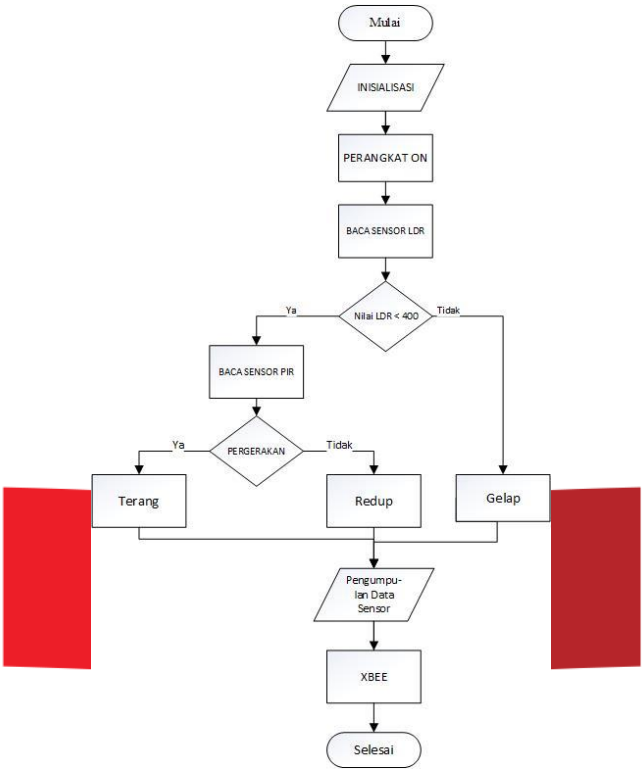
3.1.2 Perancangan Sensor PIR dan LDR

Untuk mendapatkan intensitas cahaya yang diinginkan, dapat digunakan penggabungan dari dua jenis sensor, sensor cahaya LDR dan sensor gerak PIR. Sensor ini nantinya akan bekerja berdasarkan cahaya dan pergerakan objek di coverage area. Nantinya sensor LDR akan diberi nilai threshold 1000 lux (menyesuaikan dengan cahaya matahari terik) dan sensor PIR akan diberi kondisi HIGH ketika ada pergerakan dan LOW ketika tidak ada pergerakan.

3.2 Flowchart Sistem

Berikut menjelaskan alur kerja dari proses pengiriman data sensor sampai pada koordinator. Dimulai dari inisialisasi perangkat memastikan alat yang kita gunakan dapat berjalan dengan baik. Sensor akan mengambil data dan akan dikirimkan dengan menggunakan Xbee. Sebelum melakukan pengiriman Xbee akan mengecek beberapa kondisi, antaralain:

- *End device* tidak masuk pada area cakupan *router node* dan *coordinator nod*e maka data tidak akan tersampaikan.
- *End device* tidak masuk pada area cakupan *router node* tetapi termasuk pada area cakupan *coordinator node*, maka Xbee pada *end device* akan mengirimkan data langsung pada *coordinator node*.
- *End device* tidak masuk pada area cakupan *coordinator node* tetapi termasuk pada area cakupan *router node*, maka Xbee pada *end device* akan mengirimkan data ke *coordinator node* melalui *router node*.



Gambar 3.3

3.3 Gambaran Khusus Sistem

Setiap *end device* dan *router node* terdiri dari sensor PIR dan LDR untuk dapat mendeteksi perubahan di sekitar area. Terdapat juga Arduino Uno sebagai mikrokontroller untuk memproses data. Untuk komunikasi antar *node* nya, digunakan modul Xbee Series 2. Dalam sistem yang dibuat dengan perangkat yang sama, dibagi menjadi 3 bagian yang memiliki fungsi dan karakteristik masing-masing, yaitu:

a. *End Device Node*
Node yang berfungsi untuk mendapatkan data dari sensor dan mengirimkannya ke router atau langsung menuju koordinator *node. End device* node akan mengirimkan data dalam skala waktu tertentu saja.

b. *Router Node*
Node yang berfungsi sebagai perantara antara *end deveice node* dan *coordinator node*. *Router node* akan selalu aktif untuk menerima data dari *end device node* dan melanjutkannya menuju *coordinator node*.

c. Coordinator Node
Node yang berfungsi sebagai pusat dan tujuan dari *node* lainnya.

3.4 Konfigurasi Xbee *Series* 2 dengan X-CTU

Dalam perancangan Xbee *Series* 2 terdapat beberapa hal yang harus diperharikan, diantaranya fungsional dari Xbee yang dapat dikonfigurasi sebagai *coordinator, router, dan end device* Langkah pertama yang harus dilakukan dalam menggunakan Xbee agar dapat melakukan komunikasi ke Xbee lainnya adalah melakukan setting konfigurasi alamat (address). Proses konfigurasi ini dapat dilakukan melalui perangkat lunak X-CTU.Diperlukan juga Xbee USB Adaptor untuk mengkonfigurasi Xbee sekaligus menghubungkan modul Xbee dengan PC. Konfigurasi Xbee dilakukan bertahap, pertama mengkonfigurasi *coordinator node* terlebih dahulu setelah selesai Xbee dilepas dari Xbee Adoptor dan mengganti dengan Xbee yang lainnya. Agar 2 buah Xbee atau lebih dapat saling berkomunikasi, maka Xbee tersebut harus dilakukan setting beberapa parameter, antara lain:

Tabel 3.1

Xbee Kordinator *set* sebagai Coordinator API	
PAN ID	PAN ID semua *node*
Alamat SH	Digunakan DH semua *Router* dan *End Device*
Alamat SL	Digunakan DL semua *Router* dan *End Device*
Xbee *Router set* sebagai Router AT	
PAN ID	PAN ID semua *node*
Alamat DH	SH (Serial Number High) kordinator
Alamat DL	SL (Serial Number Low) kordinator

Xbee *End Device set* sebagai End Device AT	
PAN ID	PAN ID semua *node*
Alamat DH	SH (Serial Number High) kordinator
Alamat DL	SL (Serial Number Low) kordinator

4.1 Pengujian Jarak Sensor

Pengujian jarak sensor ini ditujukan untuk mengetahui akurasi dari sensor yang digunakan. Pengujian yang dilakukan menggunakan sensor PIR. Pengujian jarak dilakukan diluar ruangan dengan cara menempatkan node di titik yang telah di tentukan, dan dilakukan pergerakan di sekitar *coverage* area untuk mendapatkan seberapa jauh sensor dapat mendeteksi pergerakan objek. Pengujian kali ini dilakukan sebanyak 20 kali dengan kelipatan jarak setiap 0.5 meter dengan ada dan tidaknya pergerakan lalu dipantau menggunakan software arduino yang terhubung ke PC dengan menggunakan komunikasi serial.

Hasil pengujian sensor dapat dilihat sensor dapat mendeteksi pergerakan pejalan kaki sampai jarak ± 6 meter, lebih dari itu sensor tidak bisa mendeteksi pergerakan di sekitarnya. Sedangkan pada datasheet sensor, kemampuan sensor ini untuk mendeteksi adalah dapat maksimal pada jarak 7 meter. Hal ini dikarenakan oleh beberapa faktor diantaranya rangkaian yang kurang optimal, salah satunya disebabkan oleh penyolderan rangkaian yang kurang baik.

Jadi sensor ini dapat diterapkan pada lampu taman karena biasanya jarak untuk setiap lampu taman ± 5 meter. Dan apabila sensor ini diterapkan pada setiap lampu, tentunya setiap sensor mampu mendeteksi pergerakan sehingga dapat bekerja lebih bagus dan *continue.*

4.2 Pengujian Daya Lampu

Pengujian ini dilakukan agar diperoleh data konsumsi daya di setiap lampu pada tiap kondisi. Pada pengujian daya lampu ini, node ditempatkan pada tiga kondisi berbeda, Terang, Redup dan Gelap dan outputan dari pengujian ini adalah lampu akan menyala terang, atau lampu akan menyala redup, atau lampu akan mati. Agar sistem dapat mendeteksi perubahan kondisi lingkungan di sekitar nya, penulis mengggunakan treshold sensor LDR = 1000 lux. Ketika nilai sensor LDR diatas 1000 lux berarti daerah disekitar sistem dalam keadaan terang, jika kurang dari 1000 lux berarti daerah disekitar sistem dalam keadaan redup atau gelap. Selanjutnya sensor PIR ini memiliki 2 kondisi, HIGH ketika ada pergerakan dan LOW ketika tidak ada pergerakan.

Tabel 4.1

Kondisi Lingkungan	Sensor LDR	Sensor PIR	Aksi
Terang	>1000	HIGH	Lampu Off
		LOW	Lampu Off
Redup	400-1000	HIGH	Lampu On
		LOW	Lampu Redup/dim
Gelap	< 1000	HIGH	Lampu On
		LOW	Lampu Redup/dim

Setelah dilakukan percobaan, rata-rata konsumsi arus tiap lampu pada kondisi yang berbeda-beda. Pada kondisi terang diperoleh = 26.0515 mA, kondisi redup = 22.0715 mA dan kondisi gelap = 9.7453 mA. Dilihat dari perbandingan nilai arus tersebut, pada kondisi gelap diperoleh arus paling yang dikonsumsi paling sedikit, pada rumus tegangan nilai arus berbanding lurus dengan nilai daya. Jadi bisa disimpulkan bahwa semakin kecil arus semakin kecil daya yang dihasilkan. Daya ini yang nantinya akan menyalakan lampu pada kondisi yang sudah ditetapkan oleh sistem. Sehingga sistem ini cocok untuk digunakan pada lampu jalan.

4.3 Pengujian Respon Sistem

Pengujian respon sistem ini dilakukan dengan cara memutus sementara power dari *end device* dan *router* dimana dari pengujian ini dapat dilihat berapa lama waktu inisialisasi kembali *end device* atau *router*node untuk kembali bergabung ke network *coordinator* setelah terputus. Penghitungan waktu bergabung kembali ini dihitung menggunakan stopwatch agar hasil yang lebih akurat. Pengujian respon sistem kali ini dilakukan 10 kali, dilakukan pada kondisi yang sama dan dengan jumlah data yang dikirim sama.

Tabel 4.2

Percobaan ke-	Waktu end device (detik)	Waktu router (detik)
1	16.04	14.78
2	15.13	14.75
3	15.76	14.89
4	15.44	14.85
5	15.31	14.66

6	15.27	14.91
7	15.70	14.57
8	15.58	14.83
9	15.14	14.65
10	15.38	14.61

Dari tabel 4.2 dapat dilihat waktu inisialisasi kembali oleh *end device* dan *router*setelah terputus. Setelah dihitung diperoleh rata-rata waktu untuk *end device* bergabung kembali ke network *coordinator* sebesar 15.475 detik sedangkan untuk *router*node sebesar 14.75 detik. Jadi sistem ini sangat cocok digunakan pada lampu taman dikarenakan delay *end device* dan *router* node untuk kembali bergabung ke jaringan *coordinator* kecil.

4.4 Pengujian Delay

Pengujian dilakukan dengan 4 kondisi pengiriman data. Tabel 4.3 menggambarkan delay disetiap kondisi pengiriman data.

Tabel 4.3

Kondisi	Delay system (detik)	Delay pengiriman (detik)
Delay Local (Node terhubung langsung)	3	0.063
End device	3	0.064
Router	3	0
End device melalui Router	3	0.057

dapat dilihat dari tabel 4.3 delay pengiriman yang terjadi sangatlah kecil, < 0.001. Delay disini disebabkan oleh banyak hal, salah satunya disebabkan adanya interferensi dari sekitar. hal ini menunjukan bahwa delay tidak akan terlalu mempengaruhi kinerja sistem.

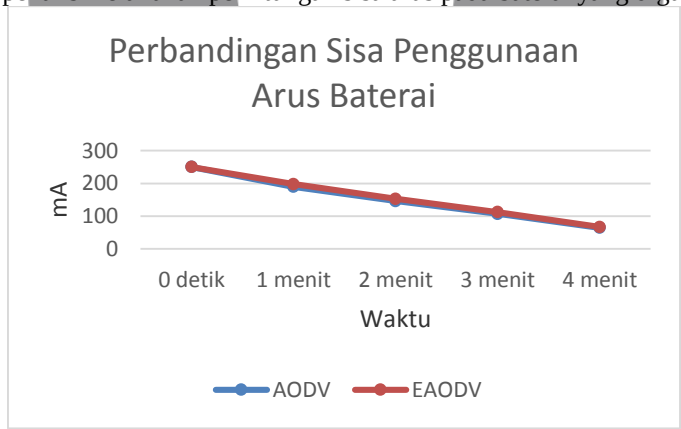
4.5 Pengujian Konsumsi Daya Baterai

Pengujian menggunakan 1 *end device* dan 2 *router*node untuk bisa melihat penyetaraan energi yang digunakan. Bisa di lihat tabel 4.4, tabel ini menggambarkan berapa lama waktu agar baterai pada *router* node akan habis jika digunakan untuk mengirim data terus menerus.

Tabel 4.4

Kapasitas baterai	Tegangan	Router 1 (menit)	Router 2 (menit)
250 mA	9 V	04.28.10	04.01.32

Selanjutnya dilakukan pengujian dengan melakukan perbandingan antara perutingan default Xbee dengan perutingan yang dirancang penulis pada sistem ini. Untuk melihat perbandingan ini, dengan menggunakan stopwatch sebagai timer penulis melakukan perhitungan sisa arus pada baterai yang digunakan.



Gambar 4.1

Dari gambar 4.2, dengan menggunakan baterai yang sama, bisa dilihat bahwa sistem yang dirancang oleh penulis lebih tahan lama dikarenakan konsumsi energi baterai yang lebih efisien dibandingkan dengan sistem sebelumnya.

4.5 Pengujain Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian sistem secara keseluruhan ini dilakukan dengan menyalakan semua node dan melihat hasil monitoring di GUI yang sudah dirancang di awal. Setelah dipastikan setiap node dapat mengirim data dan *coordinator* dapat menerima data, dilakukan pengujian berdasarkan skenario yang sudah dirancang. Pengujian ini dilakukan dengan 4 skenario, (i) Ketika ada pergerakan objek dari arah kiri, (ii) Ketika ada pergerakan objek dari

arah kanan, (iii) Ketika ada pergerakan objek dari dua arah, kiri dan kanan, dan terakhir (iv) Ketika ada objek di *coverage* area namun tidak melakukan pergerakan (duduk).

Dari 4 skenario, pada scenario ke (iv) terdapat data error dimana ada ketimpangan antara kondisi dengan tampilan data di GUI, akurasi system ini ± 87.5%. Terdapatnya *error* pada system disebabkan oleh banyak faktor, diantaranya peletakan sensor yang kurang efektif dan gangguan yang datangnya dari luar. Jenis gangguan dapat berupa benda yang menghasilkan atau dapat memantulkan gelombang infrared yang dapat mengaktifkan sensor, sehingga data tersebut terekam pada GUI. Dan juga cara kerja sensor ini memilik keunggulan yaitu dengan mendeteksi gelombang infrared yang dimiliki oleh makhluk hidup, sehingga tidak etrpengaruh terhadap cahaya. Jadi sensor ini sangat cocok jika digunakan di malam hari termasuk untuk di implementasikan pada lampu taman.

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan proses perancangan, pengukuran, dan pengujian maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari 20 kali pengujian, diperoleh sensor dapat mendeteksi pergerakan pada jarak ± 6 meter, hal ini dikarenakan beberapa faktor diantaranya rangkaian yang kurang optimal.
2. Arus yang rata-rata pada kondisi gelap = 9.7453 mA, redup = 22.0715 mA, terang = 26.0515 mA. Nilai arus berbanding lurus dengan nilai daya. Semakin besar arus maka semakin besar daya yang dihasilkan. Nilai daya ini disesuaikan dengan kondisi OKE, DIM dan OFF, sehingga lebih hemat dibandingkan dengan kondisi lampu yang selalu ON
3. Waktu yang dibutuhkan node untuk kembali bergabung ke coordinator sebesar 15.475 detik untuk end device sedangkan untuk router sebesar 14.75 detik.
4. Delay penerimaan packet oleh *coordinator* diperoleh < 0.01 detik. Dengan delay ini tidak akan mengganggu kinerja sistem.
5. Menggunakan perutingan sistem, diperoleh penggunaan daya antara 2 router yang digunakan untuk pengiriman data hampir sama, dapat dikatakan konsumsi energi 2 *router* node seimbang.
6. Dibandingkan dengan perutingan yang sudah ada sebelumnya, perutingan sistem ini lebih hemat energi sebesar ± 3.433%
7. Untuk sistem keseluruhan, masih terdapat data *error* pada skenario ke 4. Dari 16 data terdapat *error*, sehingga akurasi sistem ± 87.5%

5.2 Saran

Dalam upaya pengembangan penelitian ini beberapa saran dan peneliti berikan, diantaranya:

1. Aplikasi *user interface* di integrasikan pada aplikasi android atau web.
2. Menggunakan tegangan AC dalam perancangan sistem agar hasil lebih maksimal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] S. Escolar, J. Carretero, M.-C. Marinescu dan a. S. Chessa, "'Estimating Energy Savings in Smart Street Lighting by Using an Adaptive Control System'," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 7, no. 5, May 2014.

[2] "Instruksi Presiden Nomor 10 Tahun 2005 tentang Penghematan Energi".

[3] "Instruksi Presiden Nomor 2 Tahun 2008 tentang Penghematan Energi dan Air".

[4] S.-H. Yang, Wireless Sensor Network Priciples, Design and Applications, Springer, 2014.

[5] Winardi, "'Mengenal Teknologi Zigbee sebagai Standart Pengiriman Data secara Wireless'," Bina Nusantara University, 2012.

[6] R. Faludi, Building Sensor Networks, United States: O'REILLY, 2011.

[7] R. Aquino-Santos, L. A. Villaseñor-González, V. R. Licea, O. Á. Cárdenas dan A. E. Block, "Performance Analysis of Routing Strategies for Wireless Sensor Network," *SciELO Colombia*, vol. 27, no. 2, 2010.

[8] R. C. Shah dan J. M. Rabaey, "Energy Aware Routing for Low Energy Adhoc Sensor Network," Barkeley Wireless Research Center University of California, Barkeley.

[9] Digi International Inc, *XBee®/XBee-PRO® ZB RF Modules*

[10] "Arduino Uno," [Online]. Available: http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno. [Diakses 20 Oktober 2014].

[11] Ladyada, "PIR Motion Sensor," 28 January 2014. [Online]. Available: https://learn.adafruit.com/downloads/pdf/pir-passive-infrared-proximity-motion-sensor.pdf. [Diakses 20 October 2014].

[12] "HC-SR501 PIR MOTION DETECTOR," [Online]. Available: http://www.mysensors.org/motion/HCSR501.pdf. [Diakses 20 Oktober 2014].

[13] S. Supatmi, "Pengaruh Sensor LDR terhadap Pengontrolan Lampu," pp. 175-176, 2010.

[14] Computer and Communication Laboratory, "Web Portal," Bandung, 2014.