

IMPLEMENTASI *WIRELESS SENSOR AND ACTUATOR NETWORK* BERBASIS PROTOKOL ZIGBEE UNTUK PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN *SMART HOME*

WIRELESS SENSOR AND ACTUATOR NETWORK IMPLEMENTATION BASED ON ZIGBEE PROTOCOL TO MONITOR AND CONTROL SMART HOME

Banu Santoso
Program Studi Teknik Komputer
Universitas Amikom Yogyakarta
banu@amikom.ac.id

Abstrak

Kebutuhan energi listrik yang meningkat dan tidak terkendali yang diakibatkan oleh kelalaian pengguna dalam mengontrol peralatan listrik di ruangan gedung sehingga tagihan listrik pengguna menjadi meningkat. Oleh karena itu pada penelitian ini dikembangkan sebuah sistem pemantauan dan pengendalian perangkat listrik melalui konsep *Smart Home* menggunakan teknologi *Wireless Sensor and Actuator Network* (WSAN) berbasis protokol Zigbee.

Aplikasi yang dibuat menggunakan perangkat keras yang sesuai dengan teknologi WSAN, yaitu *Microcontroller* Arduino, modul radio XBee sebagai pemancar dan penerima secara *wireless*, *Relay Shield* dan beberapa sensor. Pemantauan dan pengendalian dilakukan pada setiap titik (*node*) dan fungsi aktuasi (*Actuator*) melalui sebuah titik koordinator. Pada setiap *node* dipasang beberapa sensor yaitu sensor cahaya, sensor suhu, sensor kelembaban, sensor gerak PIR (*passive infrared receiver*) dan sebuah *Actuator* relay. Hasil sensing dapat dilihat pada aplikasi yang dibuat berupa grafik dan *report* secara detail.

Pengujian sistem dilakukan di dalam ruangan (*indoor*) dan di luar ruangan (*outdoor*). Hasil pengujian yang dilakukan selama 20 menit untuk lokasi yang berbeda pada lingkungan *indoor* maupun *outdoor* menunjukkan bahwa *throughput* terbesar dan *packet loss* terendah terdapat di lingkungan *outdoor* dibandingkan *indoor*. Hal ini disebabkan banyaknya *Obstacles* yang terdapat di lingkungan *Indoor*.

Kata Kunci: Arduino, Jaringan Sensor Network, *Smart Home*, *Wireless Sensor and Actuator Network* (WSAN), Zigbee

IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR
AND ACTUATOR NETWORK BERBASIS PROTOKOL ZIGBEE
UNTUK PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN SMART HOME
(Banu Santoso)

Abstract

The need for increased and uncontrolled electrical energy caused by the user's negligence in controlling the electrical equipment in the building room so that the electricity bill of the user becomes increasing. Therefore, in this research developed a system of monitoring and control of electrical devices through Smart Home concept using Wireless Sensor and Actuator Network (WSAN) technology based on Zigbee protocol.

Applications created using hardware that is compatible with WSAN technology, the Arduino Microcontroller, XBee radio module as a wireless transmitter and receiver, Relay Shield and several sensors. Monitoring and control are performed at each point (node) and actuary function (Actuator) through a coordinator point. At each node are installed several sensors ie light sensor, temperature sensor, humidity sensor, PIR motion sensor (passive infrared receiver) and a relay Actuator. Results of sensing can be seen in the application made in the form of graphics and report in detail.

System testing is done indoors (indoor) and outdoors (outdoor). 20 minutes test results for different locations in both indoor and outdoor environments show that the largest throughput and lowest packet loss are in outdoor environments compared to indoor. This is due to the abundance of Obstacles in the Indoor environment.

Keywords: *Arduino, Wireless Sensor Network (WSN), Smart Home, Wireless Sensor and Actuator Network (WSAN), Zigbee*

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik nasional terus meningkat (Fadillah et al., 2015), hal ini disebabkan banyaknya pemakaian energi listrik yang besar pada industri, rumah tangga, sosial, bisnis dan pemerintahan. Di sisi lain, pemakaian energi listrik masyarakat masih dianggap sangat boros (Maslichah, 2016). Hal ini disebabkan oleh kelalaian pengguna dalam mengontrol peralatan listrik pada ruangan suatu gedung yang masih tersambung dengan listrik atau masih dalam keadaan menyala, selain itu kejadian ini masih berlangsung secara terus-menerus. Pemantauan penggunaan peralatan listrik dapat dilakukan melalui berbagai aplikasi teknologi informasi yang banyak dikembangkan saat ini, baik berbasis wireline maupun berbasis jaringan *wireless*.

Salah satu perkembangan teknologi berbasis jaringan *wireless* adalah penerapan pada konsep *Smart Home*. Pada *Smart Home* diaplikasikan teknologi canggih menjadi sebuah rumah modern, yang di dalamnya merupakan integrasi dari berbagai peralatan listrik. Peralatan-peralatan listrik tersebut dapat dipantau serta dikendalikan dari jarak jauh menggunakan jaringan internet melalui sebuah *smartphone*. Adanya *Smart Home* akan memudahkan penghuninya dalam membantu pekerjaan sehari-hari, seperti menyalakan dan mematikan lampu dan kipas angin,

mengaktifkan AC atau televisi, membuka dan menutup pintu secara otomatis serta penggunaan peralatan listrik lainnya.

Smart Home merupakan pengembangan dari teknologi *Internet of Things* (Hsiao et al., 2016), dimana semua perangkat terintegrasi dan terkoneksi dengan internet. Salah satu teknologi yang digunakan untuk konsep *Smart Home* ini adalah teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) (Irmak et al., 2016). Kemampuan sensor pada teknologi WSN membuat pengguna dapat melakukan monitoring semua perangkat di dalam rumah. Protokol untuk komunikasi pada teknologi WSN adalah Zigbee. Protokol Zigbee merupakan teknologi yang dikembangkan menjadi sebuah standar untuk memenuhi kebutuhan jaringan *wireless* dengan biaya yang relatif murah serta tidak memerlukan daya yang besar. Protokol Zigbee dapat melakukan komunikasi dengan sensor yang cukup banyak dalam waktu yang bersamaan, sehingga sangat mendukung penggunaan teknologi WSN.

Berdasarkan hal tersebut, diperlukan sebuah sistem yang tidak hanya untuk memonitor namun juga untuk mengendalikan peralatan listrik dari jarak jauh melalui jaringan nirkabel dengan teknologi WSN (*Wireless Sensor and Actuator Network*) berbasis protokol zigbee serta menggunakan basis data sehingga akan menghasilkan aplikasi yang dapat digunakan oleh masyarakat pengguna listrik.

TINJAUAN PUSTAKA

Pada Tabel 1 menjelaskan tentang penelitian-penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pemantauan dan pengendalian peralatan listrik. Pada ikhtisar penelitian tersebut dijelaskan tentang penelitian-penelitian sebelumnya dalam hal peneliti, lokasi, kontribusi penelitian serta teknologi dan alat.

Tabel 1. Ikhtisar Penelitian

Peneliti/ Tahun	Lokasi	Kontribusi Penelitian	Teknologi dan Alat
(Sunehra and Veena, 2015)	Rumah	Memantau dan mengendalikan peralatan listrik melalui subyek email dan bluetooth.	Email, Bluetooth
(Pavithra and Balakrishnan, 2015)	Rumah	Memantau dan mengendalikan peralatan listrik berupa lampu, kipas angin, kunci pintu dan alarm kebakaran melalui Raspberry Pi dan diteruskan ke <i>gateway</i> IoT.	<i>Internet of Things</i> (IoT), Wi-Fi, IR Sensor, PIR Sensor, Fire Detection Sensor
(Choi et al., 2016)	Rumah	Memantau dan mengendalikan penggunaan peralatan listrik dengan memasang modul BLE pada stop kontak.	<i>Bluetooth Low Energy</i> (BLE)

IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR
AND ACTUATOR NETWORK BERBASIS PROTOKOL ZIGBEE
UNTUK PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN SMART HOME
(Banu Santoso)

Peneliti/ Tahun	Lokasi	Kontribusi Penelitian	Teknologi dan Alat
(Sharma et al., 2016)	Rumah	Memantau dan mengendalikan peralatan listrik di beberapa ruangan rumah atau kantor melalui Wi-Fi pada ponsel Android.	Wi-Fi (App. Android), Bluetooth, Arduino
(Bai et al., 2017)	Rumah	Memantau, mengendalikan dan manajemen peralatan listrik melalui Bluetooth <i>Smartphone</i> .	Bluetooth Low Energy (BLE)
Penelitian ini	Rumah	Memantau dan mengendalikan peralatan listrik secara terpusat (<i>server</i>) di lingkungan rumah serta menganalisis hasil pengiriman paket data.	Zigbee (WSAN), sensor cahaya, sensor suhu dan kelembaban, sensor gerak PIR dan empat buah <i>channel Actuator relay</i> pada setiap <i>node</i> .

Berdasarkan studi literatur terdapat perbedaan-perbedaan yang diusulkan sebagai kontribusi positif dalam penelitian ini. Hal tersebut berupa perancangan dan pembuatan purwarupa dengan penggunaan teknologi (WSAN) *Wireless Sensor and Actuator Network* berbasis protokol Zigbee dalam memantau dan mengendalikan peralatan listrik secara terpusat (*server*) di lingkungan rumah serta menganalisis hasil pengiriman paket data dalam sistem yang dibuat.

METODE PENELITIAN

Data primer

Data primer merupakan hasil analisis pengujian sistem yang dibuat sebagai bahan *assessment* atau data hasil pengujian sistem, misalnya hasil pembacaan sensor dan pengendalian peralatan listrik yang dapat dipantau melalui aplikasi.

Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari studi literatur dan referensi yang digunakan dalam penelitian ini, selain itu juga data yang diperoleh melalui pembahasan dalam forum-forum ilmiah tentang penerapan teknologi WSAN (*Wireless Sensor and Actuator Network*) yang dapat menambah wawasan dan pengetahuan mengenai komunikasi data *wireless*.

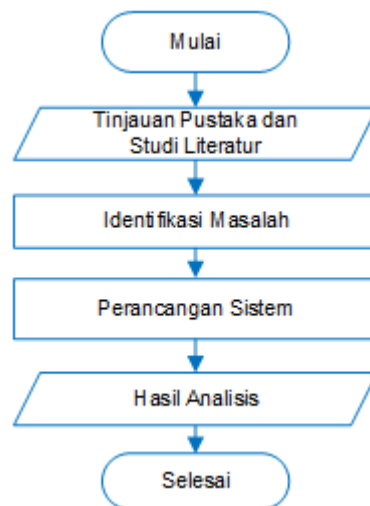
Alat Penelitian

Alat penelitian berupa perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan antara lain: sensor LDR, sensor suhu dan kelembaban, sensor gerak PIR, XBee Pro, Arduino Uno dan relay *shield*. Perangkat lunak yang digunakan antara lain: software Arduino IDE 1.6.0, software X-CTU, Visual Basic 2010, SQL Server serta SAP *Crystal Report*.

Jalan Penelitian

Jalan penelitian yang dilakukan disajikan pada Gambar 1 tentang diagram alir penelitian, yaitu meliputi:

1. Melakukan studi pustaka dengan mempelajari beberapa jurnal maupun paper yang berkaitan dengan tema penelitian, yaitu tentang monitoring dan pengendalian peralatan listrik menggunakan Arduino dan XBee.
2. Mengidentifikasi kebutuhan dalam pengembangan sistem. Kebutuhan dalam sistem yang dibangun meliputi perangkat keras, seperti Arduino, modul XBee, relay *shield*, sensor cahaya (LDR), sensor suhu dan kelembaban serta sensor PIR, kebutuhan perangkat lunak, seperti *software* Arduino IDE 1.6.0, Visual Basic 2010 dan SQL Server 2008.
3. Merancang skenario dan arsitektur sistem yang akan dibangun. Skenario dibuat untuk memberikan gambaran tentang cara kerja sistem. Pembuatan model desain sistem monitoring dan pengendalian pengiriman data pada peralatan listrik.

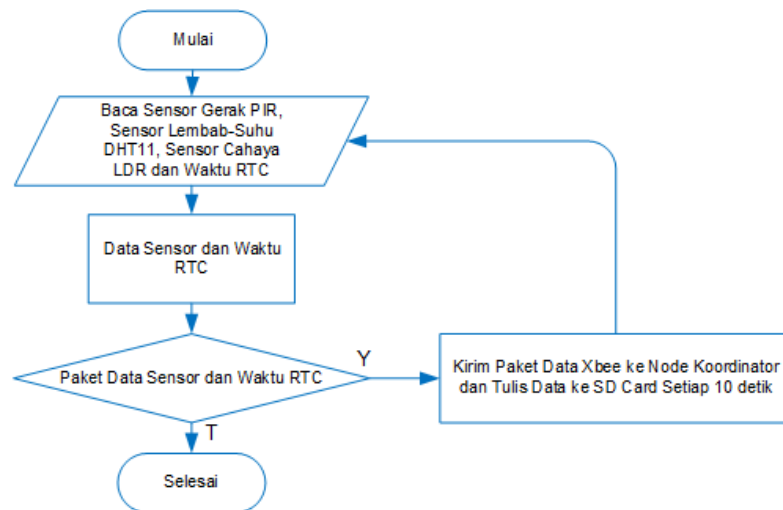


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

4. Melakukan uji fungsionalitas sistem aplikasi yang sudah dibuat. Selanjutnya, melakukan uji coba untuk menyalakan lampu dari jarak jauh serta menganalisa kualitas hasil pengiriman data.

Perancangan Sistem

Diagram blok perancangan sistem ini dapat dilihat pada Gambar 2 berikut ini. Aplikasi pemantauan dan pengendalian untuk lingkungan *Smart Home* dengan teknologi WSN berbasis protokol Zigbee yang dibuat dan terhubung dengan *database* SQL Server yang berada di laptop, dan juga menyimpan data sebagai *backup* di *module* Sd card. Cara kerja sistem adalah dari *node* sensor dan *Actuator* relay nirkabel mengirimkan hasil pembacaan nilai waktu date time *module* RTC, beberapa



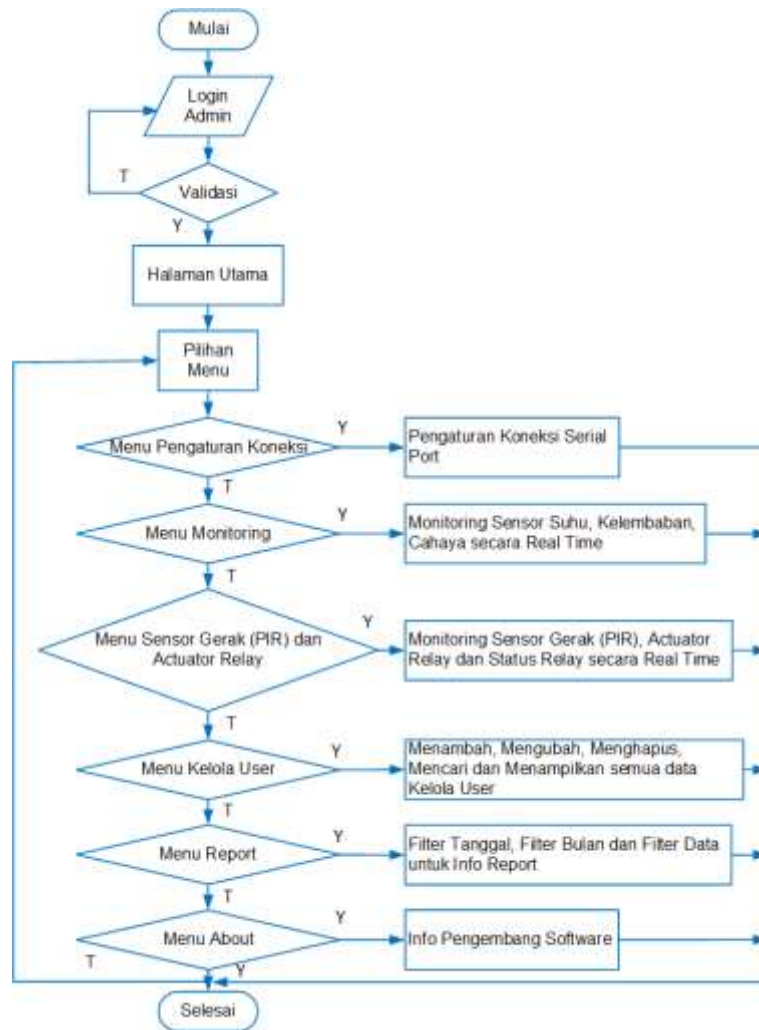
Gambar 3. *Flowchart* Pembacaan Data Sensor

Selain itu, dalam waktu yang sama paket data sensor juga disimpan ke dalam *Sd card* setiap 10 detik. Penyimpanan data pada *Sd card* ini digunakan sebagai *backup* data apabila terjadi kegagalan pengiriman dari *node* sensor ke *node* koordinator.

Flowchart Aplikasi WSN

Flowchart pada Gambar 4 menunjukkan alur aplikasi untuk *role* Admin. Dimulai dari login yang memiliki *role* Admin, kemudian dilakukan validasi. Jika validasi berhasil maka akan menuju halaman utama, tetapi jika gagal, akan kembali lagi ke form login. Selanjutnya, pada halaman utama, terdapat enam menu pilihan yaitu menu Pengaturan Koneksi, menu Monitoring, menu Sensor Gerak (PIR) dan *Actuator* Relay, menu Kelola User, menu *Report* serta menu About. Menu Pengaturan Koneksi berfungsi untuk mengatur koneksi *serial port*. Menu Monitoring berfungsi untuk memantau sensor suhu dan kelembaban pada Sensor DHT11 dan cahaya pada sensor cahaya LDR secara *real time*. Menu Sensor Gerak (PIR) dan *Actuator* Relay berfungsi untuk memantau status sensor gerak (PIR), status relay untuk kondisi ON/OFF dan aktuasi relay. Menu Kelola User berfungsi untuk mengolah user dan admin yang terdaftar sebagai pengguna dalam mengakses aplikasi sistem ini.

IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR
AND ACTUATOR NETWORK BERBASIS PROTOKOL ZIGBEE
UNTUK PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN SMART HOME
(Banu Santoso)



Gambar 4. Flowchart aplikasi WSAN untuk *role* Admin

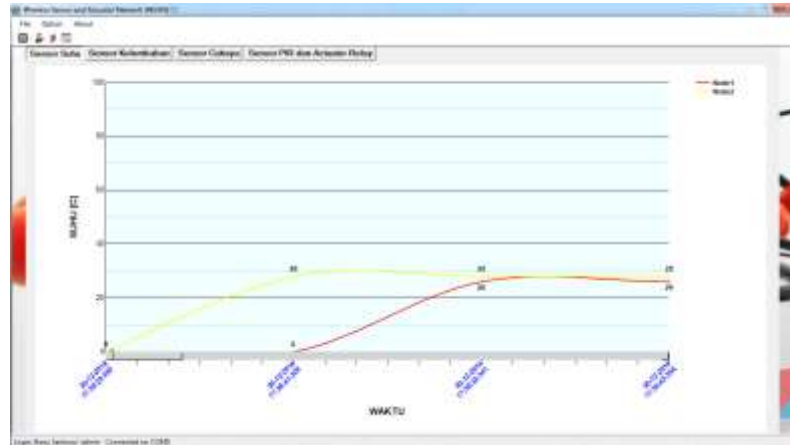
Khusus untuk menu kelola user dan *Actuator* relay hanya dimiliki oleh wewenang login *role* Admin. Selanjutnya menu *Report* berisi tentang *report* secara detail dan rekap dari informasi setiap pembacaan sensor, nilai date time untuk *module* RTC dan status Relay berdasarkan data per-tanggal tiap minggu dan yang mengakses aplikasi atau username, selain itu pada menu *Report* juga menyediakan filter berupa filter tanggal, filter bulan dan filter data serta nilai rata-rata per-tiap sensor berupa data grafik. Kemudian menu About berisi tentang informasi pengembang aplikasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Perangkat Lunak

Tampilan Antarmuka Monitoring Sensor Suhu

Tampilan antarmuka untuk monitoring sensor suhu dapat dilihat pada Gambar 5. Sensor suhu yang menggunakan modul sensor DHT11 ini mendeteksi suhu pada ruangan atau lingkungan sekitar lokasi percobaan, dalam hal ini di lingkungan *indoor* dan *outdoor*. Tingkat suhu dapat terdeteksi oleh sensor suhu. Tingkat suhu tersebut dapat dilihat pada grafik antarmuka monitoring sensor suhu, dengan range $0^0 - 100^0$ *Celcius*. Waktu pembacaan monitoring sensor Suhu ditampilkan sesuai dengan datetime aplikasi sistem.



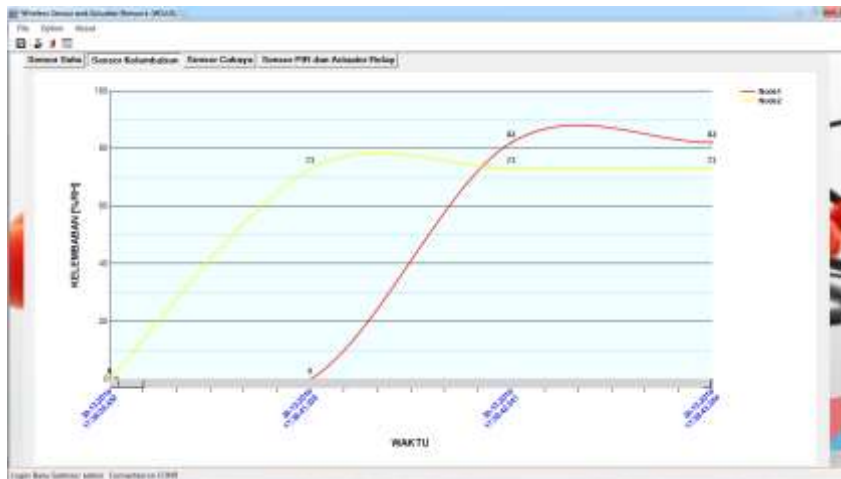
Gambar 5. Antarmuka Monitoring Sensor Suhu

Tampilan pada grafik akan menunjukkan pembacaan data dari sensor suhu yang ada di *node 1* dan *node 2*. Grafik disajikan dengan warna yang berbeda antara *node 1* dan *node 2* untuk memudahkan pembacaan data. *Node 1* ditunjukkan dengan warna merah pada grafik dan *node 2* ditunjukkan dengan warna kuning pada grafik.

Tampilan Antarmuka Monitoring Sensor Kelembaban

Tampilan antarmuka untuk monitoring sensor kelembaban dapat dilihat pada Gambar 6. Sensor kelembaban yang menggunakan modul sensor DHT11 ini mendeteksi tingkat kelembaban pada ruangan atau lingkungan sekitar lokasi percobaan, dalam hal ini di lingkungan *indoor* dan *outdoor*. Intensitas kelembaban dapat terdeteksi oleh sensor kelembaban. Intensitas kelembaban tersebut dapat dilihat pada grafik antarmuka monitoring sensor kelembaban, dengan kisaran 0 – 100 RH (*Relative Humidity*). Waktu pembacaan monitoring sensor Kelembaban ditampilkan sesuai dengan datetime aplikasi sistem.

IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR
AND ACTUATOR NETWORK BERBASIS PROTOKOL ZIGBEE
UNTUK PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN SMART HOME
(Banu Santoso)

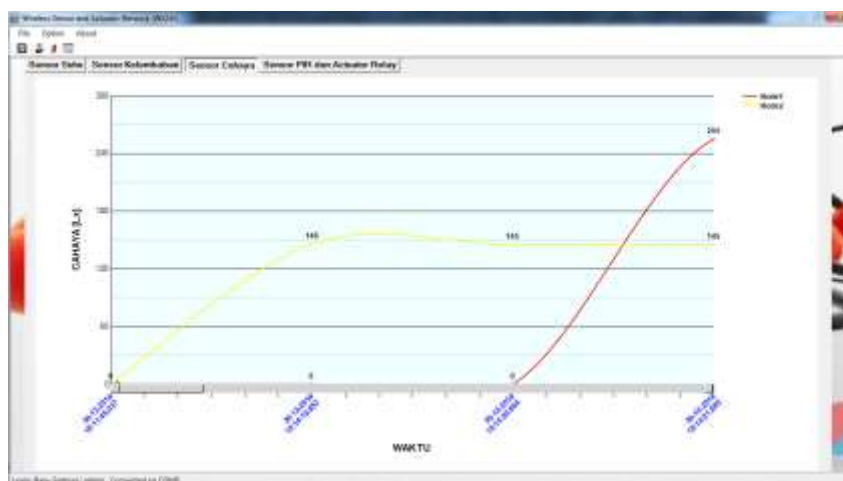


Gambar 6. Antarmuka Monitoring Sensor Kelembaban

Tampilan pada grafik akan menunjukkan pembacaan data dari sensor suhu yang ada di *node 1* dan *node 2*. Grafik disajikan dengan warna yang berbeda antara *node 1* dan *node 2* untuk memudahkan pembacaan data. *Node 1* ditunjukkan dengan warna merah pada grafik dan *node 2* ditunjukkan dengan warna kuning pada grafik.

Tampilan Antarmuka Monitoring Sensor Cahaya

Tampilan antarmuka untuk monitoring sensor cahaya dapat dilihat pada Gambar 7. Sensor cahaya ini mendeteksi adanya cahaya pada ruangan atau lingkungan sekitar lokasi percobaan, dalam hal ini lingkungan *indoor* dan *outdoor*. Sensor Cahaya LDR (*Light Dependent Resistor*) ini dapat menangkap Cahaya berupa cahaya matahari maupun sinar lampu pada ruangan atau lingkungan tersebut. Intensitas cahaya tersebut dapat dilihat pada grafik antarmuka monitoring sensor cahaya dengan kisaran skala 0 – 255 Lux. Waktu pembacaan monitoring sensor cahaya ditampilkan sesuai dengan datetime aplikasi sistem.

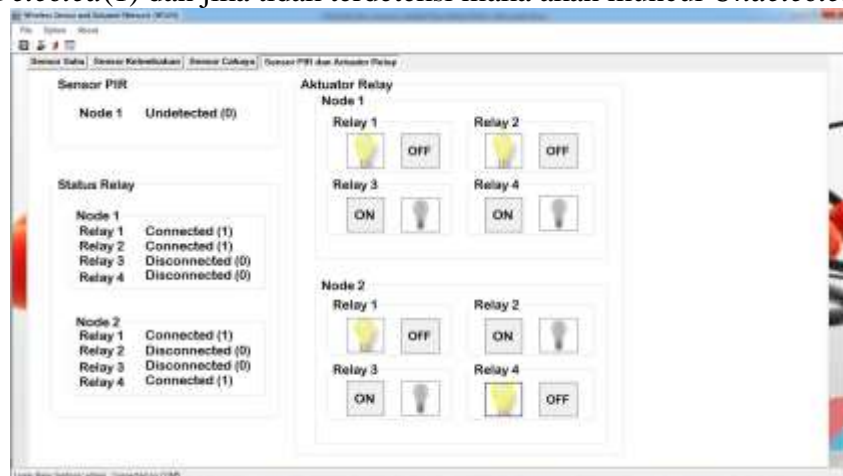


Gambar 7. Antarmuka Monitoring Sensor Cahaya

Tampilan pada grafik akan menunjukkan pembacaan data dari sensor cahaya yang ada di *node 1* dan *node 2*. Grafik disajikan dengan warna yang berbeda antara *node 1* dan *node 2* untuk memudahkan pembacaan data. *Node 1* ditunjukkan dengan warna merah pada grafik dan *node 2* ditunjukkan dengan warna kuning pada grafik.

Tampilan Antarmuka Monitoring Sensor PIR dan Actuator Relay

Tampilan antarmuka untuk monitoring sensor PIR (*Passive Infrared Receiver*) dan *Actuator* relay dapat dilihat pada Gambar 8. Untuk sensor gerak PIR, hanya mendeteksi keadaan 1 dan 0, jika terdeteksi adanya pergerakan maka akan muncul di aplikasi *Detected*(1) dan jika tidak terdeteksi maka akan muncul *Undetected*(0).



Gambar 8. Antarmuka Monitoring Sensor PIR dan Actuator Relay

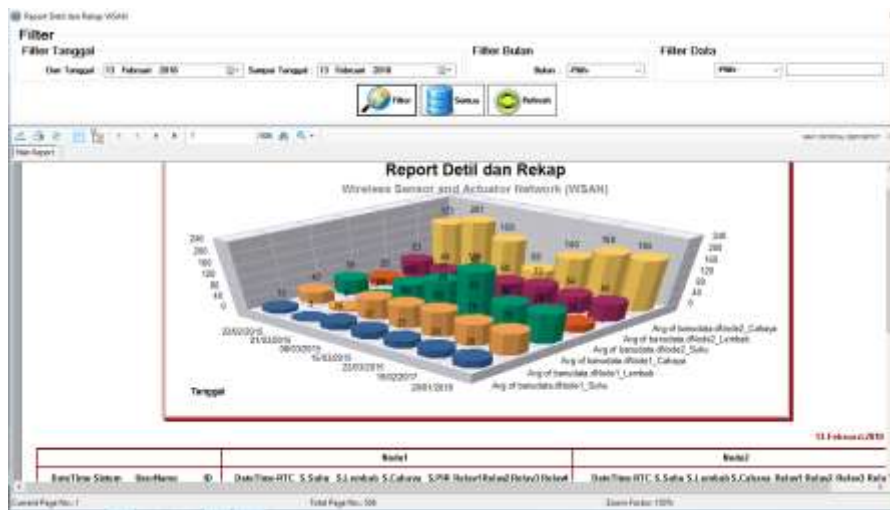
Sedangkan untuk *Actuator* Relay, pada aplikasi terdapat perangkat yang terhubung dengan *Node 1* dan *Node 2*. Perangkat listrik tersebut berupa lampu sejumlah

IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR
AND ACTUATOR NETWORK BERBASIS PROTOKOL ZIGBEE
UNTUK PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN SMART HOME
(Banu Santoso)

4 buah pada setiap *node*. Masing-masing lampu terhubung dengan sebuah relay. Jika terdapat salah satu atau dua atau bahkan semua lampu yang menyala saat mengklik panel tombol ON, maka pada aplikasi akan muncul pesan status Relay *Connected* (1). Sedangkan saat mengklik panel tombol OFF, maka pada aplikasi akan muncul pesan status Relay *Disconnected* (0).

Tampilan Antarmuka *Report Detail dan Rekap*

Tampilan antarmuka untuk *report* detail dan rekap dapat dilihat pada Gambar 9. Pada antarmuka ini menunjukkan tampilan antarmuka *Report* detail dan rekap dari hasil pembacaan sensor, baik sensor suhu, sensor cahaya, sensor kelembaban serta sensor PIR dan *Actuator* relay pada *node* 1 dan *node* 2.



Gambar 9. Antarmuka *report* rekap dan detail

Antarmuka *report* ini menampilkan data grafik berupa nilai rata-rata sensor pada *Node* 1 dan *Node* 2 per minggu beserta username yang aktif saat mengakses aplikasi WSAN. Selain hasil detail pembacaan sensor dan aktuasi relay, antarmuka *report* ini terdapat rekap data berupa jumlah banyaknya terjadi aktuasi relay, username yang mengakses, nilai maksimum dan nilai minimum pembacaan sensor, serta nilai rata-rata pembacaan sensor pada masing-masing *node*.

Pada Filter Tanggal, *report* dapat ditampilkan sesuai dengan tanggal yang dipilih. Misalnya dengan mengisikan tanggal dan bulan pada kolom Tanggal, maka akan muncul tampilan *report* sesuai dengan tanggal yang dipilih. Pada Filter Bulan, dapat dipilih nama bulan yang diinginkan, maka akan muncul *report* sesuai dengan bulan yang diisikan. Pada filter data, dapat dipilih untuk data Jam, Suhu, Kelembaban,

Cahaya dan Aktuator. Jika dipilih salah satu dari pilihan tersebut, maka tampilan *report* sesuai dengan pilihan tersebut.

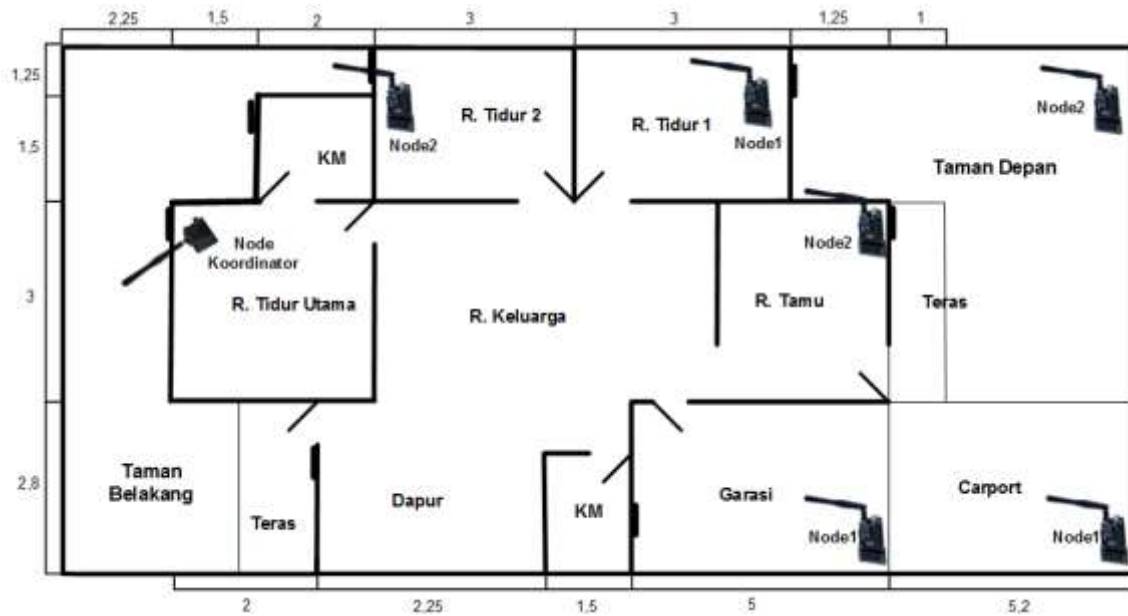
Pengujian Alat

Pengujian di Lingkungan *Indoor*

Denah lokasi pengujian sistem serta pengambilan data disajikan pada Gambar 10. Lokasi pengujian sistem dilakukan di rumah peneliti karena sesuai dengan konsep penelitian yaitu membuat aplikasi pemantauan dan pengendalian penggunaan perangkat listrik untuk *Smart Home*. Pengambilan data dibagi menjadi enam lokasi percobaan, yaitu: lokasi pertama, *node* koordinator diletakkan di Kamar Tidur Utama, kemudian *node* sensor diletakkan pada Ruang Tidur 2. Pada lokasi kedua, *node* koordinator tetap berada di Ruang Tidur Utama, untuk *node* sensor diletakkan di Ruang Tidur 1. Pada lokasi ketiga, *node* koordinator tidak berubah posisinya, untuk *node* sensor diletakkan di Ruang Tamu. Pada lokasi keempat, *node* koordinator tidak berubah posisinya, untuk *node* sensor diletakkan di Garasi. Pada lokasi kelima, *node* koordinator tidak berubah posisinya, untuk *node* sensor diletakkan di Taman depan dan Pada lokasi keenam, *node* koordinator tidak berubah posisinya, untuk *node* sensor diletakkan di depan garasi (*carport*).

Pengambilan data dilakukan pada kondisi tempat yang mempunyai banyak penghalang/ *obstacle*, misalnya dinding tembok, pintu dan jendela, sehingga proses pengambilan data bisa secara model *point to point* atau *star*. Pada pengambilan data lokasi pertama, jarak antara *node* koordinator dengan *node* sensor sebesar 8,8 meter. Pada pengambilan data lokasi kedua, jarak antara *node* koordinator dengan *node* sensor sebesar 10,5 meter. Pada pengambilan data lokasi ketiga, jarak antara *node* koordinator dengan *node* sensor sebesar 11 meter. Pada pengambilan data lokasi keempat, jarak antara *node* koordinator dengan *node* sensor sebesar 11,8 meter. Pada pengambilan data lokasi kelima, jarak antara *node* koordinator dengan *node* sensor sebesar 16 meter dan pada pengambilan data lokasi keenam, jarak antara *node* koordinator dengan *node* sensor sebesar 18 meter.

IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR
AND ACTUATOR NETWORK BERBASIS PROTOKOL ZIGBEE
UNTUK PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN SMART HOME
(Banu Santoso)



Gambar 10. Denah pengambilan data

Hasil pengujian *throughput* dan *packet loss* disajikan pada Tabel 2 berikut ini. Pengujian dilakukan pada enam lokasi yang berbeda, yaitu Ruang Tidur1, Ruang Tidur 2, Ruang Tamu, Garasi, Taman Depan dan *Carport*.

Tabel 2. Pengujian *Throughput* dan *Packet loss* Lingkungan *Indoor*

No.	Durasi (Menit)	Lokasi	Jarak (Meter)	Sd card (Record)	Database (Record)	Packet loss (Paket)	Throughput (%)	Packet loss (%)
1.	20	Ruang Tidur 2	8,8	176	172	4	97,73	2,27
2.	20	Ruang Tidur 1	10,5	176	173	3	98,3	1,7
3.	20	Ruang Tamu	11	176	176	0	100	0
4.	20	Garasi	11,8	176	153	23	86,93	13,07
5.	20	Taman Depan	16	176	156	20	88,64	11,36
6.	20	<i>Carport</i>	18	176	176	0	100	0

Pengujian *throughput* dan *packet loss* dilakukan selama 20 menit pada lokasi yang sama dengan saat pengambilan data. Hasil pengujian *packet loss* yang pertama

dengan lokasi antara *node* koordinator dan *node* sensor di Ruang Tidur 2 yang mempunyai jarak 8,8 meter, 176 baris hasil pengujian pada *node* sensor (*sd card*), 172 baris hasil pengujian pada *database* aplikasi. *Packet loss* (Paket) yang dihasilkan sejumlah 4, dengan perhitungan selisih antara *node* koordinator dengan *node* sensor (*sd card*) di Ruang Tidur 2 ($176-172 = 4$), serta persentase *throughput* sebesar 97,73 dan kehilangan paket data sebesar 2,27%. Hasil pengujian *throughput* dan *packet loss* yang kedua dengan lokasi antara *node* koordinator dan *node* sensor di Ruang Tidur 1 yang mempunyai jarak 10,5 meter, 176 baris hasil pengujian pada *node* sensor (*sd card*), 173 baris hasil pengujian pada *database* aplikasi. *Packet loss* (paket) yang dihasilkan sejumlah 3, serta persentase *Throughput* yang dihasilkan sebesar 98,3% dan kehilangan paket data sebesar 1,7%.

Pengujian yang ketiga dilakukan antara *node* koordinator dengan *node* di Ruang Tamu yang berjarak 11 meter. Hasilnya adalah sejumlah 176 baris hasil pengujian pada *node* sensor (*sd card*) dan 176 baris hasil pengujian pada *database* aplikasi. *Packet loss* (paket) yang dihasilkan sejumlah 0, serta persentase *Throughput* yang dihasilkan sebesar 100 % dan kehilangan paket data sebesar 0 %. Selanjutnya, pengujian keempat dilakukan antara *node* koordinator dengan *node* sensor di Garasi yang berjarak 11,8 meter. Hasilnya adalah muncul sejumlah 176 baris hasil pengujian pada *node* sensor (*sd card*) dan 153 baris hasil pengujian pada *database* aplikasi, sehingga *packet loss* (paket) yang dihasilkan sejumlah 23 dengan persentase *Throughput* yang dihasilkan sebesar 86,93 % dan kehilangan paket data sebesar 13,07 %.

Pengujian yang kelima dilakukan antara *node* koordinator dengan *node* sensor di Taman depan yang berjarak 16 meter. Hasilnya adalah muncul sejumlah 176 baris hasil pengujian pada *node* sensor (*sd card*) dan 156 baris hasil pengujian pada *database* aplikasi, sehingga *packet loss* yang dihasilkan sejumlah 20 dengan persentase *Throughput* yang dihasilkan sebesar 88,64 % dan kehilangan paket data sebesar 11,36 %. Pengujian yang keenam dilakukan antara *node* koordinator dengan *node* sensor di *Carport* yang berjarak 18 meter. Hasilnya adalah muncul sejumlah 176 baris hasil pengujian pada *node* sensor (*sd card*) dan 176 baris hasil pengujian pada *database* aplikasi, sehingga *packet loss* yang dihasilkan sejumlah 0 dengan persentase *Throughput* yang dihasilkan sebesar 100 % dan kehilangan paket data sebesar 0%.

IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR
AND ACTUATOR NETWORK BERBASIS PROTOKOL ZIGBEE
UNTUK PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN SMART HOME
(Banu Santoso)



Gambar 11. Persentase *Throughput* dan *Packet loss* Lingkungan *Indoor*

Grafik persentase *throughput* dan *packet loss* pada lingkungan *indoor* dari hasil pengujian disajikan pada Gambar 11. Persentase *Throughput* dan *Packet loss* Lingkungan *Indoor*. Pada grafik tersebut ditunjukkan bahwa *throughput* terbesar sebesar 100 % dengan *packet loss* terendah sebesar 0% yang merupakan hasil dari pengujian lokasi ketiga dan keenam antara *node* koordinator dengan *node* sensor di Ruang Tamu yang berjarak 11 meter dan *carport* yang berjarak 18 meter. Selanjutnya, *throughput* terendah sebesar 86,93 % dengan *packet loss* tertinggi sebesar 13,07% yang merupakan hasil dari pengujian lokasi keempat antara *node* koordinator dengan *node* sensor di Garasi yang berjarak 11,8 meter.

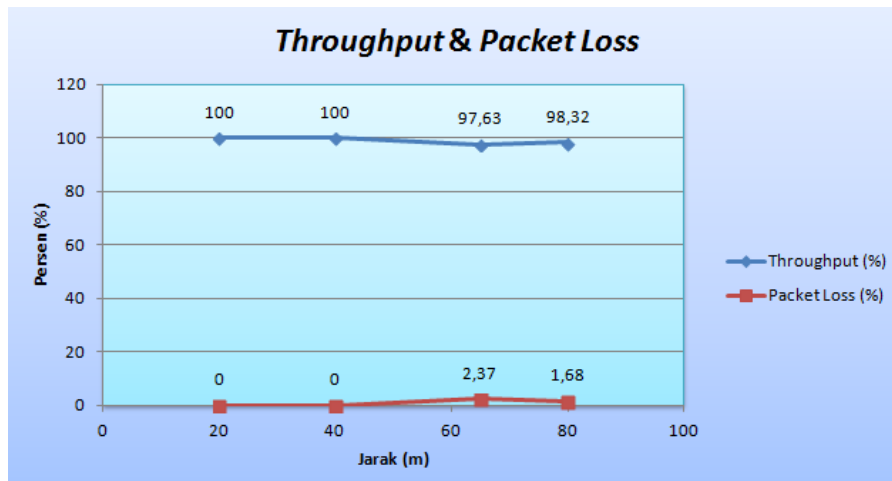
Pengujian di Lingkungan *Outdoor*

Hasil pengujian di lingkungan *outdoor* disajikan pada Tabel 3 di bawah ini. Pengujian dilakukan di tempat terbuka dengan durasi 20 menit untuk empat jarak yang berbeda, yaitu pada jarak 20, 40, 65 dan 80 meter. Pengujian pertama yang dilakukan pada jarak 20 meter menghasilkan jumlah *record* pada *node* sensor (*sd card*) 178 dan pada *database* sejumlah 178 baris. Berdasar hasil tersebut, maka tidak terdapat perbedaan atau selisih antara data pada *node* sensor (*sd card*) dan *database*, dengan persentase *throughput* 100 % dan *packet loss* 0%.

Tabel 3. Pengujian *Throughput* dan *Packet loss* Lingkungan *Outdoor*

No.	Durasi (Menit)	Jarak (Meter)	SDCard (Record)	Database (Record)	Packet loss (Paket)	Throughput (%)	Packet loss (%)
1.	20	20	178	178	0	100	0
2.	20	40	180	180	0	100	0
3.	20	65	169	165	4	97,63	2,37
4.	20	80	179	176	3	98,32	1,68

Selanjutnya, pengujian kedua dilakukan dengan jarak 40 meter antara *node* Koordinator dengan *node* sensor (*sd card*). Hasil dari pengujian ini adalah 180 baris pada *Sd card* dan 180 baris pada *database*, artinya tidak terdapat selisih pada hasil pengujian tersebut dengan persentase *throughput* 100 % dan *packet loss* 0%. Pengujian ketiga dilakukan pada jarak 65 meter dari titik Koordinator, menghasilkan 169 baris data pada *Sd card* dan 165 pada *database*. Artinya, terdapat selisih sejumlah 4 baris, dengan persentase *throughput* 97,63 % dan *packet loss* 2,37%. Selanjutnya, pengujian keempat dilakukan pada jarak 80 meter dari titik Koordinator. Hasilnya adalah 179 baris data pada *Sd card* dan 176 baris data pada *database*. Sehingga selisih hasil pengujian ini adalah 3 baris, dengan persentase *throughput* 98,32 % dan *packet loss* sebesar 1,68%.



Gambar 12. Persentase *Throughput* dan *Packet loss* Lingkungan *Outdoor*

Grafik pada Gambar 12 di atas menunjukkan grafik pada hasil pengujian *throughput* dan *packet loss* untuk lingkungan *outdoor*. Pada grafik tersebut ditunjukkan bahwa *throughput* terbesar sebesar 100% dan *packet loss* terendah sebesar 0% yang merupakan hasil dari pengujian pertama dan kedua antara *node* koordinator dengan *node* sensor yang berjarak 20 dan 40 meter. Selanjutnya, *throughput* terendah sebesar

IMPLEMENTASI WIRELESS SENSOR
AND ACTUATOR NETWORK BERBASIS PROTOKOL ZIGBEE
UNTUK PEMANTAUAN DAN PENGENDALIAN SMART HOME
(Banu Santoso)

97,63 dan *packet loss* tertinggi sebesar 2,37% yang merupakan hasil dari pengujian ketiga antara *node* koordinator dengan *node* sensor yang berjarak 65 meter.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Hasil pengujian yang dilakukan selama 20 menit untuk lokasi yang berbeda pada lingkungan *indoor* maupun *outdoor* menunjukkan bahwa *throughput* terbesar dan *packet loss* terendah terdapat di lingkungan *outdoor* dibandingkan *indoor*. Hal ini disebabkan banyaknya *Obstacles* yang terdapat di lingkungan *Indoor*.
2. Suatu perangkat lunak berbasis desktop dapat dirancang dan diimplementasikan untuk memantau dan mengendalikan perangkat listrik.
3. Pembacaan sensor dapat dilakukan pada sensor yang terpasang pada *node* 1 dan *node* 2 secara *real time*, yaitu untuk sensor suhu dan kelembaban, sensor cahaya, sensor gerak PIR dan *Actuator* relay.
4. Fungsi aktuasi dapat berjalan dengan baik. Hal ini dapat dibuktikan dengan menyalakan lampu secara jarak jauh menggunakan aktivasi relay pada aplikasi.

Saran

1. Penelitian selanjutnya bisa dikembangkan dengan adanya teknologi IoT dengan memanfaatkan gateway di *node* koordinator yang terhubung ke Internet dan *cloud*.
2. Untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan aktuasi yang berbeda, seperti aktuasi menggunakan *remote infrared* dan berbasis web, perangkat *mobile* (*smartphone*) dan sebagainya.
3. Penelitian selanjutnya dapat membuat sistem pemantauan dan pengendalian menggunakan modul *microcontroller* Arduino dengan seri yang lain yang mempunyai pin I/O lebih banyak serta kapasitas memori yang lebih besar, misalnya Arduino Mega.

DAFTAR PUSTAKA

- Bai, Y.W., Su, H.W., Hsu, W.C., 2017. *Indoor* and remote controls and management of home appliances by a smartphone with a four-quadrant user interface, in: 2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). Presented at the 2017 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), pp. 319–320. <https://doi.org/10.1109/ICCE.2017.7889336>
- Choi, M., Han, J., Lee, I., 2016. An efficient energy monitoring method based on Bluetooth Low Energy, in: 2016 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE). Presented at the 2016 IEEE International Conference on

- Consumer Electronics (ICCE), pp. 359–360.
<https://doi.org/10.1109/ICCE.2016.7430647>
- Fadillah, M.B., Sukma, D.Y., Nurhalim, N., 2015. Analisis Prakiraan Kebutuhan Energi Listrik Tahun 2015-2024 Wilayah Pln Kota Pekanbaru Dengan Metode Gabungan. *J. Online Mhs. JOM Bid. Tek. Dan Sains* 2, 1–10.
- Hsiao, S.J., Lian, K.Y., Sung, W.T., 2016. Employing Cross-Platform *Smart Home* Control System with IOT Technology Based, in: 2016 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C). Presented at the 2016 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C), pp. 264–267. <https://doi.org/10.1109/IS3C.2016.77>
- Irmak, E., Köse, A., Göçmen, G., 2016. Simulation and ZigBee based *wireless* monitoring of the amount of consumed energy at *Smart Homes*, in: 2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). Presented at the 2016 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), pp. 1019–1023. <https://doi.org/10.1109/ICRERA.2016.7884488>
- Maslichah, K., 2016. Hemat Energi Listrik: Studi Kasus di Badan Diklat Provinsi Banten. *J. Lingk. Widyaiswara* 3, 47–52.
- Pavithra, D., Balakrishnan, R., 2015. IoT based monitoring and control system for home automation, in: 2015 Global Conference on Communication Technologies (GCCT). Presented at the 2015 Global Conference on Communication Technologies (GCCT), pp. 169–173. <https://doi.org/10.1109/GCCT.2015.7342646>
- Sharma, A., Verma, A., Bhalla, M., 2016. WiFi home energy monitoring system, in: 2016 International Conference on Information Technology (InCITe) - The Next Generation IT Summit on the Theme - *Internet of Things: Connect Your Worlds*. Presented at the 2016 International Conference on Information Technology (InCITe) - The Next Generation IT Summit on the Theme - *Internet of Things: Connect your Worlds*, pp. 59–61. <https://doi.org/10.1109/INCITE.2016.7857590>
- Sunehra, D., Veena, M., 2015. Implementation of interactive home automation systems based on email and Bluetooth technologies, in: 2015 International Conference on Information Processing (ICIP). Presented at the 2015 International Conference on Information Processing (ICIP), pp. 458–463. <https://doi.org/10.1109/INFOP.2015.7489426>

