

Implementasi Protokol UPnP untuk *Discovery Node* Sensor berbasis nRF24L01 pada *Gateway Wireless Sensor Network*

Jenrinaldo Tampubolon¹, Rakhmadhany Primananda², Agung Setia Budi³

Program Studi Teknik Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya
Email: ¹jenrinaldo@student.ub.ac.id, ²rakhmadhany@ub.ac.id, ³agungsetiabudi@ub.ac.id

Abstrak

Teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) menjadi teknologi populer dewasa ini dan bahkan menjadi salah satu aplikasi *Internet of Things* (IoT) paling menjanjikan. Interoperabilitas jaringan sensor yang heterogen diperlukan untuk pencapaian sistem sensing yang terintegrasi. *Universal Plug and Play* (UPnP) adalah salah satu teknologi paling menjanjikan yang memungkinkan penyebaran jaringan dan layanan. Protokol UPnP sebelumnya berhasil diimplementasikan pada perangkat *Smart Home* berbasis IP yang berfungsi untuk pengenalan perangkat dan layanan dilakukan melalui tahap UPnP *discovery* dan *description*. Penelitian ini membuat sebuah *gateway* pada wireless sensor *node* berbasis non-ip yang mengimplementasikan sistem pencarian dan pengenalan *node* sensor menggunakan konsep protokol UPnP dapat mengenali *node* sensor sehingga interoperabilitas pada WSN dapat ditingkatkan. Terdapat dua pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian fungsional dan pengujian kinerja sistem dengan beberapa skenario. Pada pengujian fungsional, sistem dapat melakukan *discovery*, *addressing* dan *description*. Pengujian kinerja diukur ketika sistem melakukan *discovery* dan pengiriman data dengan menggunakan parameter *delay* dan rasio keberhasilan dengan jumlah 10 percobaan pada beberapa variasi jarak. Hasil pengujian total rata-rata *delay discovery* pada jarak 5m, 30m, 60m, 90m dan 100m secara berurut adalah 6.195 detik, 50.845 detik, 29.549 detik, 21.605 detik dan 26.534 detik dengan total rasio keberhasilan secara berurut sebesar 100%, 98%, 98%, 90% dan 83%. Hasil pengujian total rata-rata *delay* pengiriman data pada jarak 5m, 30m, 60m, 90m dan 100m secara berurut adalah 0.959 detik, 2.231 detik, 3.807 detik, 3.480 detik dan 3.713 detik dengan total rasio keberhasilan 95%, 85%, 88%, 95% dan 95%.

Kata kunci: UPnP, WSN, gateway, discovery, interoperabilitas, description

Abstract

Wireless Sensor Network (WSN) technology becomes a popular technology these days and it even becomes one of the most promising *Internet of Things* (IoT) applications. Heterogeneous network sensors are needed for integrated sensing systems. *Universal Plug and Play* (UPnP) is one of the most promising technologies that enable network and service deployments. The UPnP protocol was previously successfully implemented on IP-based *Smart Home* devices that function for device and service recognition through the UPnP *discovery* and *description* stages. This research creates a gateway on non-IP-based wireless sensor nodes which implements the search and recognition system of sensor nodes using the concept of the UPnP protocol to recognize sensor nodes so that interoperability in WSN can be improved. There are two tests conducted, namely functional testing and system performance testing with several scenarios. In functional testing, the system can perform *discovery*, *addressing*, and *description*. Performance testing is measured when the system performs the *discovery* and data transmission by using *delay* parameter and success ratio with a total of 10 tests with several variations of distance. The results of the total average *delay discovery* tests with distance of 5m, 30m, 60m, 90m and 100m are 6,195s, 50,845s, 29,549s, 21,605s and 26,534s with total success ratio of 100%, 98%, 98%, 90% and 83%. The results of the total average *delay* of sending data with distance of 5m, 30m, 60m, 90m and 100m in sequence are 0.959s, 2,231s, 3,807s, 3,480s and 3,713s with total success ratio of 95%, 85%, 88%, 95% and 95%.

Keywords: UPnP, WSN, gateway, discovery, interoperability, description

1. PENDAHULUAN

Teknologi Wireless Sensor Network (WSN) menjadi teknologi populer dewasa ini, bahkan menjadi salah satu aplikasi Internet of Things (IoT) paling menjanjikan (Khalil, et al., 2014). WSN merupakan sekumpulan sensor node terdistribusi yang dapat berkomunikasi dan mengolah informasi pada jaringan yang sama untuk memantau kondisi suatu tempat (Nikolić, et al., 2014). Jaringan sensor yang beragam serta persyaratan dalam jaringan yang heterogen dan multi-vendor mengakibatkan adanya kebutuhan untuk mengakomodasi sistem yang memiliki interoperabilitas (Lee, 2007). Interoperabilitas jaringan sensor yang heterogen diperlukan untuk pencapaian sistem sensing yang terintegrasi (Ballari, et al., 2008).

Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Suprayogi et al.(2016) yang berjudul “Implementasi Pervasive Service Discovery Protokol pada Rumah Cerdas Berbasis NRF24L01” yang mengaplikasikan sebuah sistem berbasis wireless untuk mengidentifikasi perangkat baru beserta layanannya menggunakan NRF24L01. Dengan menggunakan arduino dan NRF24L01 serta beberapa sensor, penulis mengimplementasikan protokol pervasive sehingga diperoleh hasil waktu rata-rata klien untuk terhubung ke gateway. Namun, pada penelitian ini mekanisme pengalamatan yang digunakan adalah dengan mekanisme pembuatan alamat secara random. Jika node sensor yang terhubung ke gateway dalam jumlah yang banyak memiliki peluang untuk tidak mendapatkan alamat karena telah digunakan oleh node lain dan bahkan terdapat juga peluang node sensor tersebut tidak akan pernah terhubung ke gateway jika gateway memberikan alamat yang telah digunakan oleh node lain. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibuat sistem dengan mekanisme pengalamatan yang menjamin alamat yang dihasilkan adalah alamat baru yang belum digunakan oleh node lain.

Universal Plug and Play (UPnP) adalah salah satu teknologi paling menjanjikan yang memungkinkan penyebaran jaringan dan layanan. Motivasi utama untuk memahami teknologi tersebut adalah kurangnya protokol untuk pengenalan layanan dalam jaringan yang dapat mengatasi masalah seperti interoperabilitas (Thiago, et al., 2013). UPnP Bridge memungkinkan perangkat non-IP untuk

terhubung ke jaringan UPnP sehingga mampu memperluas ruang lingkup penerapan UPnP (Park, et al., 2009). UPnP memiliki enam tahapan utama yaitu: pengalamatan, penemuan, deksripsi, control, eventing dan presentasi. Pada tahap penemuan, UPnP menggunakan Simple Service Discovery Protocol (SSDP) (Lin & Liao, 2019).

Penelitian dengan judul “Implementasi Protokol UPnP pada Perangkat Smart Home Berbasis ESP8266” dilakukan oleh Ghozaly et al.(2019) yang berhasil mengimplementasikan protokol UPnP pada perangkat Smart Home berbasis ESP8266 untuk mengidentifikasi perangkat baru dan layanan dari perangkat. Hasil penelitian ini berhasil mengimplementasikan protokol UPnP pada perangkat smarhome berbasis IP dengan melakukan percobaan terhadap empat sensor berbeda dan didapatkan waktu rata-rata untuk setiap node sensor terhubung yaitu 279,33 ms. Pada protokol ini terdapat empat tahapan yaitu proses discovery, addressing, description, control dan eventing yang mempermudah sistem untuk saling mengenali perangkat serta dapat melakukan proses control dan eventing. Waktu rata-rata yang diperlukan untuk merespon perintah control dan mengirimkan event message adalah 235,79 ms dan 220,49 ms. Pada sensor SCT-013-000, rata-rata waktu kesalahan baca sebesar 42 mA dengan persentase 98,48%. Namun, perangkat pada perangkat smart home terdapat juga perangkat yang berbasis non-IP sehingga menjadi permasalahan apakah protokol UPnP ini dapat diimplementasikan pada perangkat berbasis non-IP.

Penelitian yang dilakukan oleh Thiago et al.(2013) yang berjudul “Multilevel Security in UPnP Networks for Pervasive Environments” berhasil membuat sebuah mekanisme yang jelas dan standar yang dapat digunakan pengembang untuk otentikasi dan otorisasi, mencegah penggunaan solusi non-standar atau eksklusif dan menghindari interoperabilitas antara layanan UPnP yang tersedia menjadi lebih sulit atau bahkan tidak mungkin.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini berfokus pada pembuatan gateway yang mengimplementasikan sistem pencarian dan pengenalan node sensor pada WSN menggunakan protokol UPnP dapat mengenali router node dan sink node dan mengatasi interoperabilitas pada WSN.

2. PENELITIAN TERKAIT

Penelitian terdahulu dengan judul “Implementasi Gateway berbasis NRF24L01 dan ESP8266 pada Protokol Message Queue Telemetry Transport - Sensor Network (MQTT-SN)” yang dilakukan oleh Mulya et al. (2016) yang berhasil menerapkan protokol MQTT-SN pada sistem yang menggunakan NRF24L01 yang bertujuan untuk mengidentifikasi gateway oleh client pada WSN. Client dan gateway dapat terhubung dengan menggunakan id yang telah didefinisikan pada masing-masing perangkat sebelumnya. Pada penelitian tersebut, diperoleh hasil ID gateway dapat dikenali oleh client melalui mekanisme discovery serta mekanisme advertise untuk menjaga koneksi antar client dengan gateway. Namun, tidak dijelaskan parameter serta bagaimana client melakukan pemilihan gateway jika terhubung ke dua gateway. Fitur mekanisme advertise dan discovery yang membuat gateway dan client dapat tetap terhubung merupakan fitur yang penting agar interoperabilitas perangkat tetap terjaga, oleh karena itu fitur ini juga akan digunakan pada penelitian ini sehingga interoperabilitas perangkat juga tetap terjaga.

Penelitian lainnya yang berkaitan dengan penelitian yang diusulkan oleh Suprayogi et al. (2016) dengan judul “Implementasi Pervasive Service Discovery Protokol pada Rumah Cerdas Berbasis NRF24L01” yang mengaplikasikan sebuah sistem berbasis wireless untuk mengidentifikasi perangkat baru beserta layanannya menggunakan NRF24L01. Dengan menggunakan arduino dan NRF24L01 serta beberapa sensor, penulis mengimplementasikan protokol pervasive sehingga diperoleh hasil waktu rata-rata klien untuk terhubung ke gateway. Namun, pada penelitian ini mekanisme pengalamatan yang digunakan adalah dengan mekanisme pembuatan alamat secara random. Jika node sensor yang terhubung ke gateway dalam jumlah yang banyak memiliki peluang untuk tidak mendapatkan alamat karena telah digunakan oleh node lain dan bahkan terdapat juga peluang node sensor tersebut tidak akan pernah terhubung ke gateway jika gateway memberikan alamat yang telah digunakan oleh node lain. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibuat sistem dengan mekanisme pengalamatan yang menjamin alamat yang dihasilkan adalah alamat baru yang belum digunakan oleh node lain.

Susanto et al.(2017) juga melakukan

penelitian yang berjudul “Implementasi Sistem Gateway Discovery pada Wireless Sensor Network (WSN) Berbasis Modul Komunikasi LoRa” yang mengaplikasikan sistem dengan menggunakan teknologi LoRa untuk mengidentifikasi gateway pada node dengan mencocokkan id dari broadcast gateway dengan id gateway yang telah didefinisikan pada node sebelumnya. Dari percobaan tersebut, didapatkan hasil berupa waktu rata-rata setiap node terhubung ke gateway yakni sekitar 1011 milidetik serta 1011 dan 1123,2 milidetik untuk dua klien terhubung secara bersamaan. Penelitian ini berfokus pada penemuan gateway dan penentuan jalur pengiriman data masih dilakukan secara manual dengan mendefinisikan id gateway yang benar pada node sensor. Pada penelitian ini juga tidak menggunakan mekanisme pengalamatan dan pengenalan layanan yang digunakan oleh node sensor, serta tidak menjelaskan juga bagaimana data yang diterima pada gateway digunakan.

Penelitian dengan judul “Implementasi Protokol UPnP pada Perangkat Smart Home Berbasis ESP8266” dilakukan oleh Ghozaly et al.(2019) yang berhasil mengimplementasikan protokol UPnP pada perangkat Smart Home berbasis ESP8266 untuk mengidentifikasi perangkat baru dan layanan dari perangkat. Hasil penelitian ini berhasil mengimplementasikan protokol UPnP pada perangkat smarthome berbasis IP dengan melakukan percobaan terhadap empat sensor berbeda dan didapatkan waktu rata-rata untuk setiap node sensor terhubung yaitu 279,33 ms. Pada protokol ini terdapat empat tahapan yaitu proses discovery, addressing, description, control dan eventing yang mempermudah sistem untuk saling mengenali perangkat serta dapat melakukan proses control dan eventing. Waktu rata-rata yang diperlukan untuk merespon perintah control dan mengirimkan event message adalah 235,79 ms dan 220,49 ms. Pada sensor SCT-013-000, rata-rata waktu kesalahan baca sebesar 42 mA dengan persentase 98,48%. Namun, perangkat pada perangkat smart home terdapat juga perangkat yang berbasis non-IP sehingga menjadi permasalahan apakah protokol UPnP ini dapat diimplementasikan pada perangkat berbasis non-IP.

Wibowo et al. (2014) juga melakukan penelitian dengan judul “Development of Embedded Gateway for Wireless Sensor Network and Internet Protocol Interoperability” yang mengaplikasikan sebuah sistem yang

mampu mengatasi interoperabilitas pada protokol jaringan. Berdasarkan hasil percobaan, dapat disimpulkan bahwa berbagai vendor pada WSN dan interoperabilitas pada IP dapat diatas dengan menggunakan sebuah gateway yang memiliki web server yang berisi aplikasi web yang juga didukung oleh aplikasi berbasis Python untuk berkomunikasi dengan beberapa node yang telah dimuat dengan aplikasi C.

Berdasarkan penelitian diatas, dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan protokol komunikasi yang tepat dapat mengatasi discovery dan pengelanan node sehingga interoperabilitas antar perangkat sehingga pencarian dan pengenalan node. Implementasi protokol UPnP melalui tahapan-tahapan discovery, addressing dan description dapat meningkatkan interoperabilitas perangkat untuk saling terhubung, sehingga pengimplementasian protokol pada sistem ini diharapkan mampu mengatasi interoperabilitas pada jaringan sensor nirkabel.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian bertujuan agar penelitian dapat dilakukan secara sistematis dan terurut. Penelitian bersifat implementatif-pengembangan sehingga alur penelitian tampak seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Metode Penelitian

Alur penelitian dimulai dari studi literatur, kemudian melakukan analisa kebetuhan sistem, melakukan perancangan sistem, implementasi, pengujian dan analisis serta penarikan kesimpulan.

4. REKAYASA KEBUTUHAN

Rekayasa kebutuhan memaparkan kebutuhan serta persyaratan yang dimiliki system sehingga setiap fungsi yang ada pada system dapat bekerja sesuai tujuan. Kebutuhan yang harus dipenuhi meliputi antara lain, kebutuhan fungsional, kebutuhan non-fungsional, kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak. Kebutuhan fungsional sistem dijabarkan pada Tabel 1. Kebutuhan non-fungsional adalah kebutuhan pendukung bersifat opsional dengan tujuan sistem dapat berjalan lebih baik lagi. Kebutuhan ini menjelaskan kebutuhan kinerja dari sisi waktu *delay* dan rasio keberhasilan pengiriman data yang berhubungan dengan jarak antar *node* sensor maupun dengan *gateway*. Kebutuhan perangkat keras terdiri dari laptop, Arduino Pro-mini, Arduino Nano, *NodeMcu*, DHT11, sensor PIR, Nrf24l01 dan *powerbank*. Kebutuhan perangkat lunak sistem adalah Arduino IDE, *library* RF24, *library* RF24Network, *library* Firebase-ESP8266 dan *library* DHT.h.

Tabel 1 Kebutuhan Fungsional

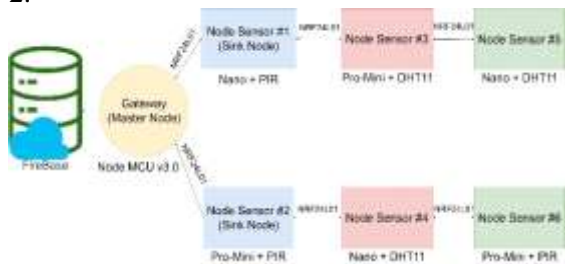
No	Kode	Kebutuhan Sistem
1	UPNP-KF-001	<i>Node</i> sensor mencari <i>gateway</i> dan mendapat alamat baru
2	UPNP-KF-002	<i>Gateway</i> membuat dan mengirimkan alamat kepada <i>node</i> sensor
3	UPNP-KF-003	<i>Node</i> mengirim pesan konfirmasi dan informasi <i>node</i>
4	UPNP-KF-004	<i>Gateway</i> melakukan <i>description</i>
5	UPNP-KF-005	<i>Node</i> sensor melakukan akuisisi data dari sensor
6	UPNP-KF-006	<i>Node</i> sensor melakukan pengiriman data ke <i>gateway</i>
7	UPNP-KF-007	<i>Node</i> sensor melakukan check connection ketika terputus dari <i>gateway</i>
8	UPNP-KF-008	<i>Gateway</i> dapat menerima data dari <i>node</i> sensor dan disimpan pada SPIFFS
9	UPNP-KF-009	<i>Gateway</i> dapat terhubung dengan akses point
10	UPNP-KF-010	<i>Gateway</i> dapat mengirimkan data pada file SPIFFS ke Firebase

5. PERANCANGAN SISTEM

5.1 Gambaran Umum Sistem

Sistem yang dibuat merupakan sebuah

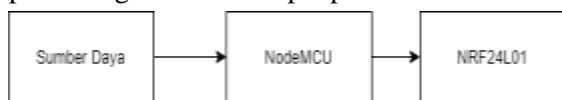
gateway yang mengimplementasikan konsep protocol UPnP untuk memudahkan perangkat lain agar dapat terhubung pada jaringan yang sama dengan tujuan meningkatkan interoperabilitas pada jaringan sensor nirkabel. Sistem secara keseluruhan terdiri dari sebuah gateway dan enam node sensor dan topologi yang dipakai pada sistem adalah topologi pohon dengan 4 level. Sistem menggunakan modul NRF24L01 agar antar node dan gateway dapat berkomunikasi. Gateway menggunakan mikrokontroler node mcu ESP8266 sebagai pemroses utama, sedangkan node sensor menggunakan mikrokontroler Arduino nano dan Arduino pro-mini. Gateway mengirimkan informasi dan data yang diterima ke firebase menggunakan protokol HTTP. Blok diagram sistem secara keseluruhan terdapat pada Gambar 2.



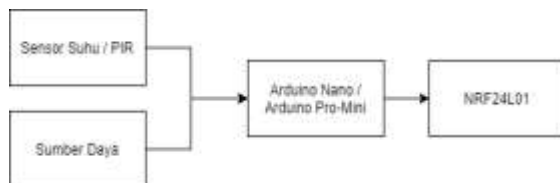
Gambar 2 Blok Diagram Sistem

5.2 Perancangan Perangkat Keras

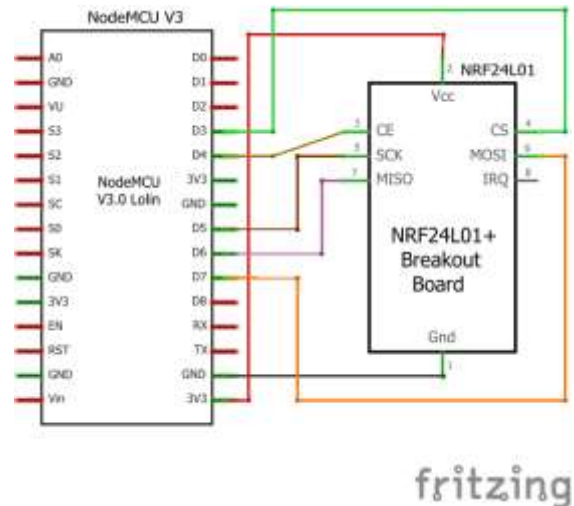
Perangkat keras meliputi perangkat keras pada node sensor dan perangkat keras pada gateway. Perancangan perangkat keras terdiri dari pembuatan blok diagram dan skematik perangkat. Blok diagram gateway disajikan pada Gambar 3 dan blok diagram node disajikan pada Gambar 4. Skematik perancangan gateway terdapat pada Gambar 5 serta skematik perancangan node terdapat pada Gambar 6.



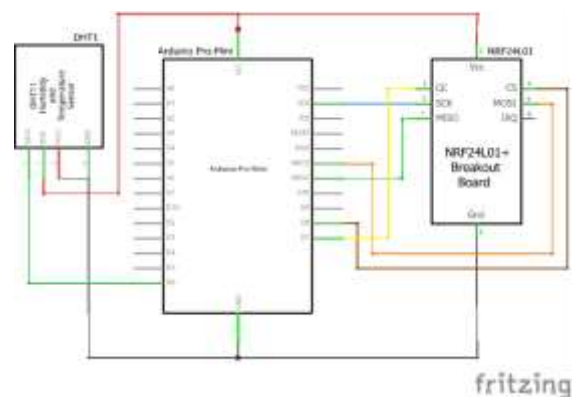
Gambar 3 Blok diagram node



Gambar 4 Blok diagram gateway



Gambar 5 Skematik perancangan gateway

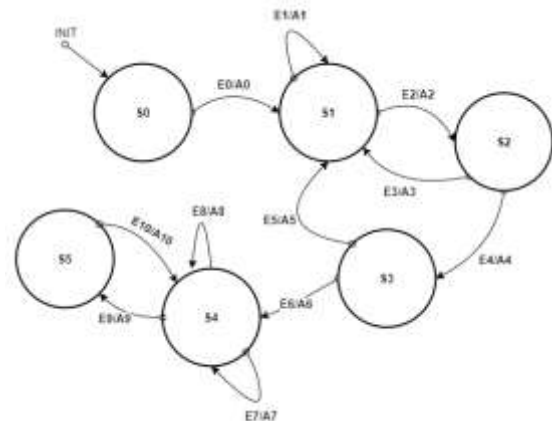


Gambar 6 Skematik perancangan node

5.3 Perancangan Perangkat Lunak

5.3.1 State Machine Perangkat Gateway

Perancangan state machine gateway memberikan gambaran perpindahan state serta event dan action yang mungkin terjadi ketika gateway bekerja. Pemodelan state machine pada gateway seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 dan memiliki 5 state, 10 event dan action.



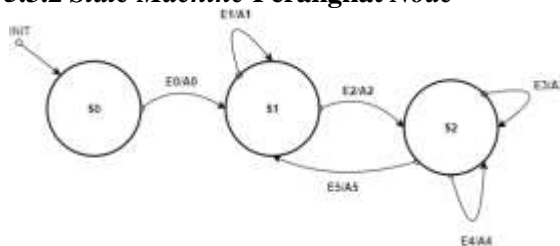
Gambar 7 State Machine Gateway

State	Event	Action
S0 Network begin	E0 Inisialisasi network berhasil	A0 Cetak output "Network begin success"
S1 Discovery	E1 Discovery Node gagal	A1 Menunggu node mengirim pesan "NETWORK_REQ_ADDRESS" kembali
S2 Addressing	E2 Discovery Node berhasil	A2 Memberikan alamat baru pada node dan mengirim header "NETWORK_ADDR_RESPONSE"
S3 Description	E3 Addressing gagal	A3 Mengulang kembali proses discovery
S4 Device Operation	E4 Addressing berhasil	A4 Melakukan description node
S5 POST data	E5 Description node gagal	A5 Tidak menambahkan node ke list dan menunggu node mengirim pesan ack
	E6 Description node berhasil	A6 Menambahkan node ke list node
	E7 Menerima data dari node	A7 Menambahkan data pada struct
	E8 Wi-Fi not found	A8 Mencari Wi-Fi yang tersedia
	E9 Wi-Fi connect	A9 Menampilkan output "Wi-Fi terhubung"
	E10 Kirim Data	A10 Mengirimkan data pada struct

Gambar 8 Penjelasan State Machine Gateway

Gambar 8 merupakan penjelasan *state machine* pada *node* yang dimulai dengan keadaan S0 yang ditandai dengan kata INIT sebagai awal mula sistem, ketika perangkat dihidupkan maka perangkat akan membangun *network* melalui library RF24Network. Ketika *network* telah berhasil dimulai, maka akan menampilkan output pada serial monitor dan *state* berpindah.

5.3.2 State Machine Perangkat Node



Gambar 9 State Machine Node

State machine perangkat *node* hanya memiliki 3 *state* serta 6 *event* dan *action*. State S0 merupakan *state* awal pada *node* sama seperti perangkat *gateway* untuk membangun *network* melalui library RF24Network. Jika *network* berhasil dibangun maka akan menampilkan output pada serial monitor seperti pada *event* E0 dan *action* A0. Kemudian *node* akan berpindah *state* ke S1 untuk melakukan *discovery gateway*. Jika *gateway* gagal ditemukan, maka *node* akan kembali mengirimkan pesan request ke *gateway* seperti pada *event* E1 dan *action* A1. Namun jika *node* sensor berhasil menemukan *gateway*, maka

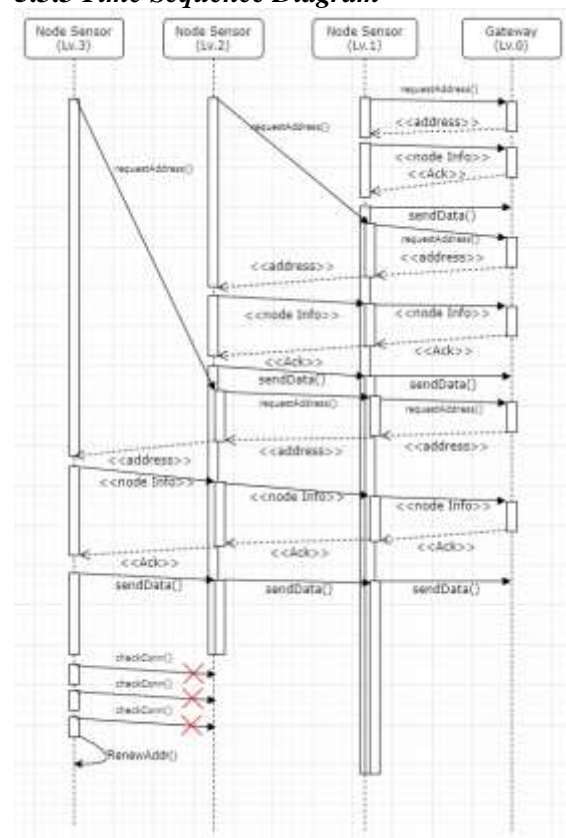
node sensor akan menjadikan alamat dari *gateway* sebagai alamat baru seperti pada *event* E2 dan *action* A2 serta terjadi perpindahan *state* ke S2.

State	Event	Action
S0 Network begin	E0 Inisialisasi network berhasil	A0 Cetak output "Network begin success"
S1 Discovery	E1 Gateway gagal ditemukan	A1 Mengirimkan pesan request
S2 Device Operation	E2 Gateway berhasil ditemukan	A2 Membuat alamat baru dari gateway sebagai alamat default dan mengirimkan konfirmasi penggunaan alamat serta informasi node
	E3 Data dikirimkan gagal	A3 Melakukan pengiriman ulang
	E4 Data dikirimkan berhasil	A4 Menampilkan data di serial monitor
	E5 Node sensor terputus	A5 Melakukan pengiriman pesan request sebanyak tiga kali,

Gambar 10 Penjelasan State Machine Node

Gambar 10 merupakan penjelasan *state*, *event* dan *action* dari *state machine* pada *node*.

5.3.3 Time Sequence Diagram



Gambar 11 Time Sequence Diagram Sistem

Gambar 11 adalah *time sequence diagram* yang digunakan untuk menggambarkan proses interaksi yang terjadi antar objek dalam hal ini

node sensor dan *gateway* dalam bentuk pesan yang digambarkan dalam bentuk waktu untuk dapat memperhitungkan perkiraan waktu pengiriman pesan.

6. IMPLEMENTASI

Implementasian sistem terdiri dari implementasi perangkat keras *gateway* dan *node* serta implementasi perangkat lunak untuk pencarian *node*, pemberian alamat ke *node*, pengenalan *node* dan pengiriman data serta kondisi dan perubahan *state* pada *node sensor*.



Gambar 12 Implementasi Perangkat *Gateway*

Gambar 12 adalah perangkat keras *gateway* yang diimplementasikan sesuai perancangan yang dibuat, *gateway* terdiri dari mikrokontroler *NodeMCU* sebagai pemroses utama data serta untuk menjalankan kebutuhan-kebutuhan fungsional sistem dan *nRF24L01* untuk berkomunikasi ke *node*.



Gambar 13 Implementasi Perangkat *Node*

Gambar 13 merupakan hasil implementasi *node* sesuai perancangan perangkat *node sensor* yang dibuat. *Node* yang diimplementasikan terdiri dari 6 *node* dengan mikrokontroler *Arduino pro-mini* dan/atau *Arduino nano* serta sensor *DHT11* untuk melakukan akuisisi data suhu dan/atau sensor *PIR* dengan modul

nRF24L01 agar antar *node* dan *gateway* dapat berkomunikasi.

7. PENGUJIAN

7.1 Pengujian Fungsional

Pengujian yang bertujuan agar kesesuaian fungsionalitas sistem dengan kebutuhan sistem yang telah didefinisikan dapat diketahui. Perancangan serta implementasi menjadi acuan dalam pengujian ini. Pengujian ini dilakukan pada *node* di setiap level, yaitu level satu, dua dan tiga.

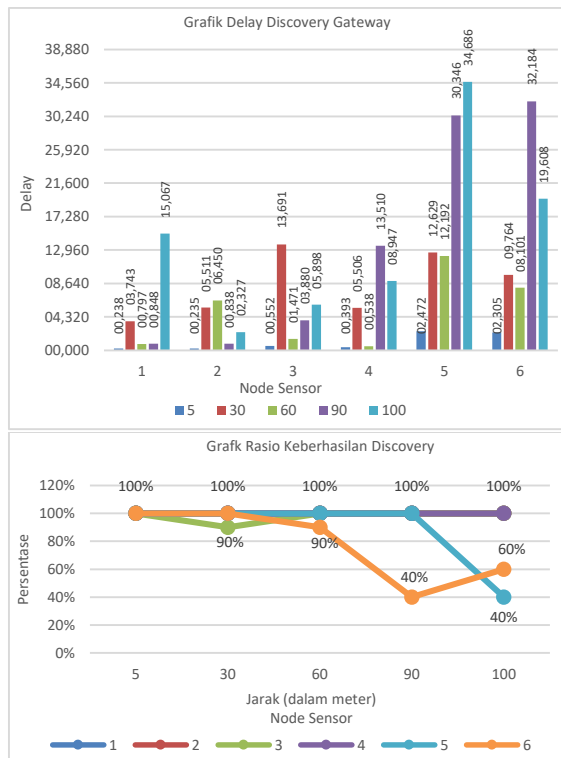
Tabel 2 Hasil Pengujian Fungsional

No	Kode	Kebutuhan Sistem
1	UPNP-KF-001	Valid
2	UPNP-KF-002	Valid
3	UPNP-KF-003	Valid
4	UPNP-KF-004	Valid
5	UPNP-KF-005	Valid
6	UPNP-KF-006	Valid
7	UPNP-KF-007	Valid
8	UPNP-KF-008	Valid
9	UPNP-KF-009	Valid
10	UPNP-KF-010	Valid

Tabel 2 adalah hasil pengujian fungsional sistem yang menyatakan bahwa seluruh pengujian berhasil dilakukan dan memperoleh hasil *valid* pada setiap kode pengujian.

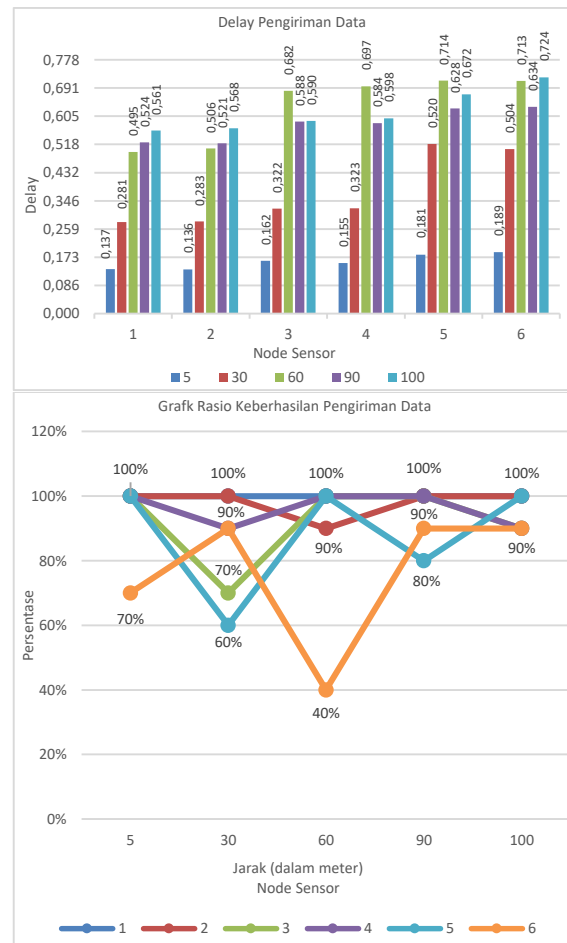
7.2 Pengujian Kinerja

Pengujian kinerja dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem ketika berada pada lingkungan dengan skenario tertentu. Pengujian dilakukan dengan menggunakan skenario jarak dan multihop. Pengujian akan dilakukan ketika *node sensor* melakukan *discovery* dan ketika *node sensor* melakukan pengiriman data. Delay serta persentase keberhasilan pengiriman digunakan sebagai acuan keberhasilan pengujian ini. Pengujian dilakukan ditempat terbuka dan tanpa penghalang serta dilakukan sebanyak 10 percobaan pada setiap *node sensor*. Delay yang dijadikan parameter pada pengujian ini ada dua jenis, yaitu *delay* ketika *node sensor* melakukan *discovery* dan *delay* ketika data dari *node* dikirimkan ke *gateway*.



Gambar 14 Hasil Pengujian delay dan success ratio Discovery

Gambar 14 adalah hasil pengujian *delay discovery* dengan beberapa skenario jarak. Hasil pengujian pada variasi jarak 5 meter memiliki total delay rata-rata sebesar 6.195 detik dengan rasio keberhasilan semua node sensor sebesar 100%. Pada jarak 30 meter, total rata-rata delay semua node sensor adalah 50.845 detik dengan rasio keberhasilan sebesar 100% untuk semua node sensor kecuali node sensor 3 yang memiliki rasio keberhasilan sebesar 90%. Pada jarak pengujian 60 meter, total delay rata-rata semua node sebesar 29.549 detik dengan rasio keberhasilan sebesar 90% untuk node sensor 6 dan 100% untuk node sensor lainnya. Pada jarak 90 meter, total rata-rata delay yang dihasilkan sebesar 21.605 detik dengan rasio keberhasilan terendah pada node sensor 6 yaitu sebesar 40% dan node sensor lainnya memiliki rasio keberhasilan sebesar 100%. Pada jarak pengujian 100 meter, total delay rata-rata yang dihasilkan sebesar 26.534 detik dengan rasio keberhasilan 40% untuk node sensor 5, 60% untuk node sensor 6 dan 100% untuk node sensor 1, node sensor 2, node sensor 3 dan node sensor 4.



Gambar 15 Hasil Pengujian delay dan success ratio Pengiriman Data

Gambar 15 adalah hasil kinerja sistem ketika melakukan pengiriman data ke gateway dengan menggunakan variasi jarak 5 meter memiliki total delay rata-rata sebesar 0.959 detik dengan rasio keberhasilan 100% pada node sensor 1, node sensor 2, node sensor 3, node sensor 4, node sensor 5 dan pada node sensor 6 memiliki rasio keberhasilan sebesar 70%. Node sensor ketika diuji dengan jarak 30 meter, total delay rata-rata yang dihasilkan semua node sensor sebesar 2.231 detik dengan tingkat rasio keberhasilan 100% untuk node sensor 1 dan node sensor 2. Node sensor 3 memiliki rasio keberhasilan sebesar 70%, node sensor 4 dan node sensor 6 memiliki rasio keberhasilan sebesar 90% sedangkan pada node sensor 5 memiliki rasio keberhasilan 60%. Pengujian dengan jarak 60 meter memiliki total rata-rata delay sebesar 3.807 detik dengan rasio keberhasilan 100% pada node sensor 1, node sensor 3, node sensor 4 dan node sensor 5. Sedangkan pada node sensor 2 memiliki rasio keberhasilan sebesar 90% dan 40% pada node sensor 6. Pengujian pada jarak 90 meter memiliki total delay rata-rata sebesar 3.480 detik

dengan rasio keberhasilan 80% untuk node sensor 5, 90% untuk node sensor 6 dan 100% untuk node sensor yang lainnya. Sedangkan pada jarak 100 meter, total delay rata-rata yang dihasilkan adalah 3.713 detik dengan rasio keberhasilan 100% pada node sensor 1, node sensor 2 dan node sensor 5. Node sensor 3, node sensor 4 dan node sensor 5 memiliki rasio keberhasilan sebesar 90% pada pengujian dengan jarak 100m.

8. KESIMPULAN DAN SARAN

8.1 Kesimpulan

Seluruh tahapan mulai dari perancangan, implementasi dan pengujian sistem berhasil diimplementasikan. Tahapan *discovery*, *addressing* dan *description* juga berhasil dilakukan serta kemampuan sistem untuk berkomunikasi dan melakukan pertukaran informasi meningkat. Kinerja dari *node* sensor untuk melakukan *discovery* diukur dengan parameter *delay* serta keberhasilan pengiriman dengan menggunakan beberapa skenario jarak.

Hasil pengujian jarak 5 meter memiliki total *delay* rata-rata sebesar 6.195 detik dengan total rasio keberhasilan semua *node* sebesar 100%. Pada jarak 30 meter, total rata-rata *delay* semua *node* sensor adalah 50.845 detik dengan total rasio keberhasilan sebesar 98%. Pada jarak 60 meter, total *delay* rata-rata semua *node* sebesar 29.549 detik dengan total rasio keberhasilan sebesar 98%. Pada jarak 90 meter, total rata-rata *delay* yang dihasilkan sebesar 21.605 detik dengan total rasio keberhasilan sebesar 90%. Pada jarak 100 meter, total *delay* rata-rata yang dihasilkan sebesar 26.534 detik dengan total rasio keberhasilan 83 %.

Kinerja sistem ketika melakukan pengiriman data ke *gateway* dengan menggunakan jarak 5 meter memiliki total *delay* rata-rata sebesar 0.959 detik dengan total rasio keberhasilan 95%. Pada jarak 30 meter, total *delay* rata-rata yang dihasilkan semua *node* sebesar 2.231 detik dengan total rasio keberhasilan sebesar 85%. Pengujian dengan jarak 60 meter memiliki total rata-rata *delay* sebesar 3.807 detik dengan total rasio keberhasilan 88%. Pengujian pada jarak 90 meter memiliki total *delay* rata-rata sebesar 3.480 detik dengan rasio keberhasilan 95%. Sedangkan pada jarak 100 meter, total *delay* rata-rata yang dihasilkan adalah 3.713 detik dengan total rasio keberhasilan 95%.

8.2 Saran

Setelah diperoleh kesimpulan, maka terdapat beberapa saran dari peneliti untuk penelitian berikutnya sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini, konsep UPNP yang diterapkan hanya pada *addressing*, *discovery* dan *description*. Pada penelitian selanjutnya, peneliti diharapkan mampu menerapkan konsep UPNP pada tahap *control*, *eventing* dan *presentation* agar konsep UPnP seutuhnya dapat diterapkan pada WSN.

2. Penelitian ini hanya menggunakan *node* sensor saja. Pada penelitian selanjutnya, diharapkan peneliti dapat menambahkan adanya aktuator agar sistem yang diterapkan dapat menjadi *end-to-end* serta fungsi *control* dan *eventing* yang diterapkan dapat diketahui fungsionalitasnya.

3. Pada penelitian ini, sistem hanya menggunakan dua jenis sensor yaitu DHT11 dan sensor PIR. Pada penelitian selanjutnya, peneliti diharapkan mampu menambah jenis sensor yang digunakan agar data yang diteliti menjadi lebih variatif.

4. Sumber daya pada alat yang digunakan pada sistem ini adalah *powerbank* dan peneliti tidak berfokus pada performa dan daya tahan. Diharapkan peneliti selanjutnya menggunakan sumber daya lain dan memperhitungkan performa serta daya tahan dari sumber daya yang digunakan.

5. Topologi yang digunakan pada sistem ini adalah topologi pohon dengan empat level. Pada penelitian berikutnya, peneliti diharapkan menambah level *node* sensor agar distribusi *node* lebih meluas sehingga cakupan wilayahnya juga menjadi lebih luas.

6. Sistem ini hanya mengirimkan data ke penyimpanan *firebase* dikarenakan menjadi batasan dari peneliti. Penelitian berikutnya diharapkan mampu menambahkan sebuah aplikasi untuk mempermudah monitoring serta visualisasi data dari *firebase*.

7. NRF24L01 digunakan sebagai modul komunikasi antar *node* dan *gateway*. Pada penelitian berikutnya, diharapkan menggunakan modul komunikasi lain dengan *gateway* sebagai penghubung agar interoperabilitas semakin terlihat sehingga dapat dijadikan perbandingan dengan sistem saat ini.

9. DAFTAR PUSTAKA

Ballari, D., Manso-Callejo, M. A. & Wachowicz, M., 2008. The

- Interoperability of Wireless Sensor Networks.
- Bhatti, N., Dhomeja, L. D. & Malkani, Y. A., 2014. Service *Discovery* Protocols in Pervasive Computing: A review. *17th IEEE International Multi Topic Conference 2014*, pp. 205-210.
- Bröring, A. et al., 2011. New Generation Sensor Web Enablement. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 12, pp. 2652-99.
- Ghozaly, I. S. A., Akbar, S. R. & Maulana, R., 2019. Implementasi Protokol UPnP pada Perangkat *Smart Home* Berbasis ESP8266. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, Volume 3, pp. 2128-2137.
- Khalil, N., Abid, M. R., Benhaddou, D. & Gerndt, M., 2014. Wireless Sensors Networks for *Internet of Things*. *2014 IEEE Ninth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP)*, pp. 1-6.
- Lee, K., 2007. Sensor standards harmonization-path to achieving sensor interoperability. *Proceedings of 2007 IEEE Autotestcon*, pp. 381-388.
- Lin, Z.-C. & Liao, C.-F., 2019. ICMPv6SD: A Compact Service *Discovery*. *2019 International Conference on Platform Technology and Service (PlatCon)*, pp. 1-6.
- Mulya, H., Akbar, S. R. & Widasari, E. R., 2017. Implementasi *Gateway* berbasis NRF24L01 dan ESP8266 pada Protokol Message Queue Telemetry Transport - Sensor Network (MQTT-SN). *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, Volume 1, pp. 1578-1588.
- Nikolić, G. et al., 2014. WIRELESS SENSOR *NODE* WITH LOW-POWER SENSING. *Electronics and Energetics*, Volume 27, pp. 435-453.
- Park, H., Choi, M., Eui-HyunPaik & Kim, N., 2009. Interoperability Model for Devices. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Volume 55, pp. 1185-1191.
- Semiconductor, N., 2017. *Nordic Semiconductor Smarter Things*. [Online] Available at: <http://www.nordicsemi.com/eng/Products/2.4GHz-RF/nRF24L01> [Diakses 31 08 2019].
- Suprayogi, D. A., Akbar, S. R. & I., M. H. H., 2017. Implementasi Pervasive Service *Discovery* Protocol pada Rumah Cerdas Berbasis NRF24L01. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, Volume 1, pp. 1251-1259.
- Susanto, A. R., Bhawiyuga, A. & Amron, K., 2019. Implementasi Sistem *Gateway Discovery* pada Wireless Sensor Network (WSN) Berbasis Modul Komunikasi LoRa. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, Volume 3, pp. 2138-2145.
- Thiago, M. et al., 2013. Multilevel Security in UPnP Networks for Pervasive Environments.
- Wibowo, S., Putra, G. & Hantono, B., 2014. Development of Embedded *Gateway* for Wireless Sensor Network and Internet Protocol Interoperability.