

**PENGEMBANGAN *GATEWAY* BERBASIS *EMBEDDED DEVICE* UNTUK
INTEROPERABILITAS JARINGAN SENSOR NIRKABEL DAN
PROTOKOL INTERNET**

SKRIPSI



Disusun oleh:
GUNTUR DHARMA PUTRA
09/284593/TK/35393

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO DAN TEKNOLOGI INFORMASI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS GADJAH MADA
YOGYAKARTA**

2014

HALAMAN PENGESAHAN

PENGEMBANGAN *GATEWAY* BERBASIS *EMBEDDED DEVICE* UNTUK INTEROPERABILITAS JARINGAN SENSOR NIRKABEL DAN PROTOKOL INTERNET

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Program S-1
Pada Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada

Disusun oleh:

GUNTUR DHARMA PUTRA
09/284593/TK/35393

Telah disetujui dan disahkan
pada tanggal 3 Februari 2014

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Sigit Basuki Wibowo, S.T., M.Eng.

NIP 1976 0501 2002 12 1 002

Bimo Sunarfri Hantono, S.T., M.Eng.

NIP 1977 0131 2002 12 1 003

HALAMAN PERSEMBAHAN

*Karya sederhana ini kupersembahkan
buat Bapak, Ibu,
dan Adik tercinta*

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur semata-mata hanya untuk Allah SWT, karena atas segala rahmat, hidayah dan bantuan-Nya jualah maka akhirnya Tesis dengan judul Analisis Teoretis Pemantulan dan Pembiasan Gelombang Elektromagnet Pada Bahan Magnetik Non Linear Orde Dua ini telah selesai penulis susun.

Telah banyak bantuan yang penulis peroleh selama dalam penulisan Tesis ini , untuk itu tak lupa penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Sarjiya, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
2. Bapak...selaku dosen pembimbing pertama ...
3. Ibu... selaku dosen pembimbing kedua ...
4. Bapak... selaku dosen pembimbing akademis.
5. Bapak dan Mama yang selama ini telah sabar membimbing dan mendoakan penulis tanpa kenal untuk selama-lamanya,
6. Prof. Drs. H. Muslim, Ph. D, selaku Pembimbing Utama, yang telah memberikan ilmunya kepada penulis serta dengan penuh kesabaran membimbing penulis,
7. Drs. Kamsul Abraha, Ph. D, selaku Pembimbing Pendamping yang telah memberikan inspirasi kepada penulis,
8. Dr. Pekik Nurwantoro dan Dr. rer. nat. M. Farchani Rasyid yang telah memperkenalkan sistem operasi LINUX dan \LaTeX kepada penulis serta memberikan bimbingan penggunaan \LaTeX tersebut dengan sabar,
9. Segenap staf dan karyawan di jurusan Fisika FMIPA UGM, yang telah banyak bekerjasama dengan penulis selama belajar di FMIPA UGM,
10. Sahabat saya M. Rizal Ginanjar, yang selalu bersedia membantu penulis ketika menyelesaikan masalah-masalah komputer.

Tesis ini tentunya tidak lepas dari segala kekurangan dan kelemahan, untuk itu segala kritikan dan saran yang bersifat membangun guna kesempurnaan Tesis ini

sangat diharapkan. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan lebih khusus lagi bagi pengembangan ilmu fisika.

Yogyakarta, 15 Januari 2014

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR SINGKATAN	xi
Intisari	xii
<i>Abstract</i>	xiii
I LATAR BELAKANG	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Keaslian Penelitian	3
1.7 Sistematika Penulisan	3
II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Landasan Teori	4
2.2.1 <i>Wireless Sensor Network</i>	4
2.2.2 IQRF	6
2.2.3 XBee	7
2.2.4 TCP/IP	8
2.2.5 <i>Access Point</i>	8

2.2.6	TP-LINK MR3020	9
2.2.7	Web Server	9
2.2.8	AJAX	9
2.2.9	OpenWRT	9
2.2.10	SSHFS	10
2.2.11	Bootstrap	10
III	METODOLOGI PENELITIAN	11
3.1	Alat dan Bahan	11
3.1.1	Perangkat Keras	11
3.1.2	Perangkat Lunak	11
3.2	Alur Penelitian	11
3.2.1	Pra Penelitian	11
3.2.2	Pengembangan Aplikasi	12
3.2.3	Evaluasi dan Perbaikan	12
3.2.4	Pasca Penelitian	13
3.2.5	Diagram Alir Penelitian	13
3.3	Tahapan Pelaksanaan	13
3.4	Jadwal Kegiatan	14
IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1	Analisis Kebutuhan Sistem	16
4.1.1	Fitur-Fitur Aplikasi	16
4.1.2	<i>Use Case Diagram</i>	16
4.1.3	Diagram Arsitektur Sistem	16
4.1.4	SDLC	16
4.2	Perancangan Aplikasi	16
4.2.1	Peta Situs	17
4.2.2	Diagram Alir Proses	17
4.2.3	Persiapan Pra Pengembangan Aplikasi	18
4.2.4	Pengembangan Aplikasi WSN	26
4.2.5	Pengembangan Aplikasi Python	26
4.2.6	Pengembangan Aplikasi Berbasis Web	26
4.2.7	Evaluasi dan Perbaikan	26
4.2.8	<i>Screenshot</i> Aplikasi	26
4.2.9	Kode Sumber	26

4.3	Analisis Unjuk Kerja Aplikasi	26
4.3.1	Hasil Akhir Perangkat Keras	27
4.3.2	Instalasi Aplikasi dan Perangkat Keras	27
4.3.3	Hasil Uji Coba Aplikasi	27
4.3.4	Masalah dan Penyelesaian	27
V	KESIMPULAN DAN SARAN	28
5.1	Kesimpulan	28
5.2	Saran	28
	DAFTAR PUSTAKA	30

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Jadwal Penelitian.	15
-----------	----------------------------	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Jaringan sensor nirkabel.	5
Gambar 2.2 Contoh sebuah simpul sensor IQRF.	6
Gambar 2.3 Jaringan bintang menggunakan WiFi.	6
Gambar 2.4 Sepasang peranti XBee.	7
Gambar 2.5 Tampilan antarmuka <i>command-line</i> OpenWRT versi <i>BackFire</i>	10
 Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.	 13
Gambar 3.2 Arsitektur WSN dan WiFi dengan sebuah AP.	14
 Gambar 4.1 Diagram <i>use case</i> dari penelitian.	 17
Gambar 4.2 Diagram Arsitektur Sistem.	18
Gambar 4.3 Diagram SDLC.	19
Gambar 4.4 Peta situs aplikasi web.	20
Gambar 4.5 Diagram Alir Penambahan Peranti IQRF ke Aplikasi.	21
Gambar 4.6 Diagram Alir Penambahan Peranti XBee ke Aplikasi.	22
Gambar 4.7 Konfigurasi SSH pada Mac OSX.	25

DAFTAR SINGKATAN

A

AP Access Point

F

FTDI Future Technology Devices International

FUSE Filesystem in Userspace

J

JTETI Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi

L

LAN Local Area Network

R

RF Radio Frequency

S

SDLC Software Development Life Cycle

SFTP Secure Shell File Transfer Protocol

SSHFS Secure Shell Filesystem

U

UGM Universitas Gadjah Mada

W

WAP Wireless Access Point

WIT-7 Western Indonesian Time

WLAN Wireless Local Area Network

WSN Wireless Sensor Network

Intisari

Penggunaan *Wireless Sensor Network* (WSN) untuk gedung dan perumahan semakin populer karena dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan seperti *home automation* dan *home surveillance*. Oleh karena itu, untuk meningkatkan fleksibilitas penggunaan WSN, diperlukan sistem pengendalian yang dapat dikendalikan secara jarak jauh. Padahal pada umumnya, WSN dikendalikan oleh sebuah pengendali utama berada di sekitar tempat WSN itu berada.

Penelitian ini mengusulkan integrasi dari WSN dengan *Internet Protocol* (IP) yang memungkinkan WSN dapat dikendalikan dimanapun dan dengan apapun asalkan masih terhubung dengan jaringan internet. Penelitian ini memanfaatkan infrastruktur jaringan data yang sangat populer dan terhubung ke internet, yaitu jaringan area lokal nirkabel atau dikenal dengan nama WiFi. Salah satu perangkat utama dalam jaringan WiFi adalah *Access Point* (AP) yang berfungsi sebagai koordinator simpul. Selain itu, AP juga berfungsi sebagai gateway yang menghubungkan berbagai piranti yang terhubung padanya ke internet. Oleh karena itu, penelitian ini akan mengembangkan perangkat lunak yang akan ditanamkan ke dalam AP sehingga menjadikan AP mempunyai kemampuan sebagai gateway untuk kedua jaringan WiFi dan beberapa protokol WSN ke dalam jaringan internet.

Kata kunci : *wireless sensor network, Internet Protocol, WiFi, interoperabilitas.*

Abstract

Wireless Sensor Network (WSN) usage for buildings and household has been increasingly popular because it offers many benefits, such as home automation and home surveillance. Therefore, in order to increase WSN flexibility usage, remote controlling which enables administration is needed. In fact, generally WSN is controlled by a coordinator (sink node) which is located near the WSN area itself.

This research proposes integration of WSN and Internet Protocol (IP), that enables remote controlling and administration through the Internet Protocol stack. This research utilizes the wireless local area network or commonly known as WiFi. One of main components on this WiFi network is Access Point (AP) that acts as node coordinator. Furthermore, AP also serves as a gateway that connects multiple devices, that is connected to the AP, to the Internet. Therefore, this research will develop a software which is going to be implemented to the AP so that the AP has a capability as a gateway for both WiFi network and several WSN protocols to the Internet.

Keywords : *wireless sensor network, Internet Protokol, WiFi, interoperability.*

BAB I

LATAR BELAKANG

1.1 Latar Belakang Masalah

Jaringan sensor nirkabel (*Wireless Sensor Network*, WSN) adalah jaringan simpul (*node*) sensor otonom terdistribusi yang digunakan untuk memonitor kondisi fisik atau lingkungan misalnya suhu, suara, getaran, kelembaban, dan lain-lain. Selain itu, tidak menutup kemungkinan untuk menambahkan fungsi tambahan pada setiap simpul misalnya port masukan/keluaran yang dapat digunakan sebagai pengendali aktuator yang terhubung ke piranti elektrik atau elektronis.

Penggunaan WSN untuk sebuah gedung dan rumah semakin populer karena dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan. Contoh penerapan WSN dalam rumah yang sangat populer adalah *home surveillance* yaitu pemanfaatan WSN untuk mengawasi tiap sudut rumah secara *realtime*. Dengan ini, sang pemilik rumah tidak perlu lagi khawatir karena rumahnya kurang pengawasan karena mengawasi rumah menjadi semakin mudah dengan bantuan WSN ini. Contoh lainnya adalah *home automation* yaitu proses otomatisasi segala urusan yang ada di rumah. Sebagai contoh, sang pemilik rumah harus menyalakan lampu di kala waktu sudah senja dan atau menyalakan pendingin ruangan saat pemilik baru saja pulang dari bekerja. Segala sesuatu yang mungkin untuk diautomatisasi, dapat terealisasi dengan bantuan WSN.

Pada umumnya, WSN dikendalikan oleh *sink node* yang berada dekat pada wilayah jaringan sensornya. Sehingga permasalahan pada WSN adalah jika diinginkan pusat kendali berada pada tempat yang jauh dari jaringan sensornya. Solusi yang mungkin dari permasalahan ini adalah penggunaan *Internet Protocol* (IP) karena jaringan IP sangat luas dan dapat diakses dimanapun dan dengan apapun.

Namun demikian, pada umumnya jaringan WSN tidak menggunakan IP, melainkan protokolnya sendiri, seperti protokol *zigbee*. Oleh karena itu, diperlukan sebuah gateway yang mampu menghubungkan WSN dari berbagai macam *vendor* dengan jaringan internet.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan WSN untuk sebuah gedung dan rumah semakin populer karena dapat dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan misalnya home automation dan ho-

me surveillance. Permasalahan pada WSN adalah jika diinginkan pusat kendali berada pada tempat yang jauh dari jaringan sensornya maka jaringan internet yang memungkinkan untuk menyelesaikan permasalahan ini. Namun demikian, pada umumnya jaringan WSN tidak menggunakan IP sehingga diperlukan gateway yang mampu menghubungkan WSN dengan jaringan internet.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan purwa rupa aplikasi berbasis web untuk integrasi beberapa WSN dengan Internet.
2. Peranti WSN yang digunakan dan diujikan hanya IQRF dan XBee. Untuk XBee, peranti tersebut disambungkan dengan XBee Relay Shield dan Arduino Uno sebagai *sensor node*.
3. Aplikasi web dibangun menggunakan bahasa PHP, basis data MySQL, dan berjalan pada sistem operasi OpenWRT yang berbasis pada Linux.
4. IQRF hanya digunakan untuk mendapatkan suhu sekitar dan XBee digunakan untuk menghidup dan mematikan relay.
5. AP yang digunakan adalah TP-LINK MR3020 dengan sistem operasi OpenWRT.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah mempelajari kemungkinan pengembangan perangkat lunak yang akan ditanamkan ke dalam sebuah *access point* untuk difungsikan sebagai gateway sehingga mampu digunakan untuk mengintegrasikan jaringan WiFi dan beberapa protokol WSN ke jaringan internet.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan terhubungnya WSN ke jaringan internet dimungkinkan pengembangan aplikasi WSN yang dapat diakses melalui jaringan internet. Terhubungnya WSN ke jaringan internet akan membuka kemungkinan pengembangan layanan-layanan

yang lebih beragam terutama layanan yang berbasis IP. Hal ini sejalan dengan perkembangan teknologi komunikasi yang menuju konvergensi penggunaan IP.

Selain itu, pengintegrasian gateway untuk WiFi dan WSN dalam satu piranti juga membuka peluang besar untuk memecahkan persoalan interoperabilitas perangkat keras dan kemudahan sistem.

1.6 Keaslian Penelitian

Penelitian ini tidak untuk menguji hipotesis baru melainkan merupakan pengembangan perangkat lunak yang akan ditanamkan ke dalam gateway sehingga mampu menghubungkan jaringan WiFi dan WSN ke jaringan internet. Penelitian ini akan meningkatkan fungsi AP menjadi gateway yang menghubungkan WiFi dan WSN dengan jaringan internet.

1.7 Sistematika Penulisan

BAB I : PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan latar belakang, rumusan masalah, batasan, tujuan, manfaat, keaslian penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Pada bab ini dijelaskan teori-teori dan penelitian terdahulu yang digunakan sebagai acuan dan dasar dalam penelitian.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian meliputi langkah kerja, pertanyaan penelitian, alat dan bahan, serta tahapan dan alur penelitian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini dijelaskan hasil penelitian dan pembahasannya.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini ditulis kesimpulan akhir dari penelitian dan saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Secara umum, cara untuk menghubungkan WSN dengan jaringan internet dapat dikelompokkan menjadi dua. Cara pertama adalah menggunakan gateway dan cara yang kedua adalah dengan menggunakan simpul sensor yang sudah dilengkapi dengan protokol internet. Cara yang lebih mudah ditempuh adalah dengan cara yang pertama karena perubahan yang dilakukan relatif tidak terlalu besar. Sedangkan cara yang kedua akan menemui banyak kendala terutama pada WSN yang sudah terpasang karena harus dilakukan penggantian tiap simpul sensor.

Salah satu usaha untuk mengintegrasikan jaringan WSN dengan jaringan Wi-Fi menggunakan gateway misalnya dilakukan pada penelitian. Pada riset tersebut pengintegrasian dilakukan dengan sebuah komputer yang didedikasikan untuk keperluan tertentu. Penggunaan komputer khusus ini adalah hardware-solution yang membutuhkan biaya dan kerumitan sistem.

Riset pada juga menawarkan pengintegrasian dengan jaringan IP. Namun demikian di dalam riset ini diperlukan perubahan yang signifikan jika konfigurasi jaringan sensor nirkabel sudah terpasang. Simpul sensor yang digunakan harus diganti dengan simpul sensor yang mendukung IP. Hal ini jelas akan memakan biaya yang cukup besar dan tidak praktis untuk dilakukan. Terlebih lagi jika jumlah sensor yang terpasang jumlahnya cukup banyak.

Riset pada sudah berhasil mengembangkan sebuah AP menjadi gateway yang dapat digunakan untuk menghubungkan sebuah protokol WSN dengan jaringan IP. Protokol WSN yang digunakan adalah protokol dari IQRN. Penelitian tersebut kemudian dilanjutkan dengan penelitian yang sudah diterapkan dalam sistem domotic.

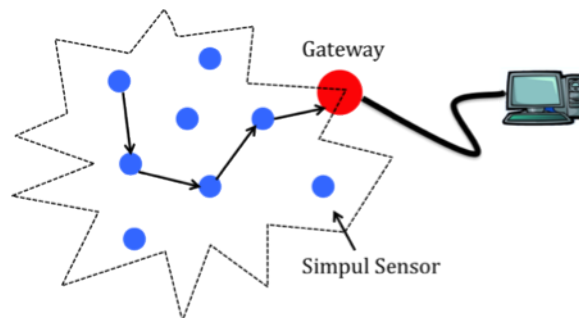
2.2 Landasan Teori

2.2.1 *Wireless Sensor Network*

Jaringan sensor nirkabel (Wireless Sensor Network, WSN) adalah jaringan simpul sensor otonom yang terdistribusi digunakan untuk memonitor kondisi fisik atau lingkungan misalnya suhu, suara, getaran, kelembaban, dan lain-lain. Selain

itu, tidak menutup kemungkinan untuk menambahkan fungsi tambahan pada setiap simpul misalnya port masukan/keluaran (I/O port) yang terdapat dalam setiap simpul dihubungkan dengan aktuator sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan piranti elektrik atau elektronis.

Secara umum, WSN dapat diilustrasikan seperti Gambar 2.1. Pada gambar tersebut terlihat adanya beberapa simpul yang diwakili dengan titik berukuran kecil dan satu buah simpul yang diwakili dengan titik berukuran lebih besar. Titik yang berukuran kecil mewakili simpul sensor sedangkan titik yang berukuran besar mewakili gateway yang berfungsi menghubungkan jaringan sensor nirkabel dengan pengendali utama yang dalam gambar tersebut diwakili oleh sebuah komputer. Contoh sebuah simpul dari IQRF ditunjukkan pada Gambar 2.2.

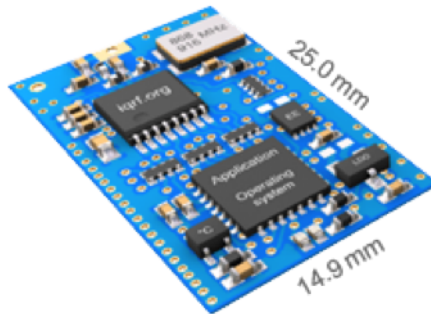


Gambar 2.1: Jaringan sensor nirkabel.

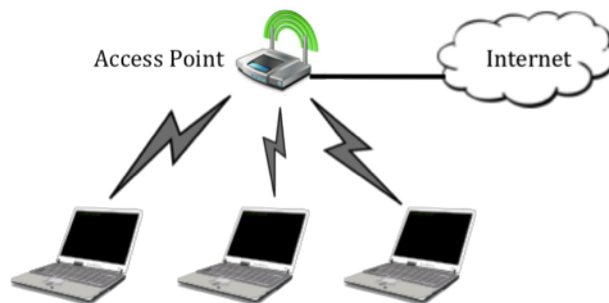
Pada umumnya, WSN adalah jaringan yang berdiri sendiri. Untuk menghubungkan WSN dengan jaringan yang lain misalnya jaringan internet, maka salah satu cara adalah dengan membangun gateway WSN yang mampu menjembatani perbedaan protokol yang ada pada WSN dan jaringan internet. Cara tersebut adalah cara yang ditempuh dalam penelitian ini karena lebih mudah dilakukan dibandingkan dengan cara yang lain seperti sudah dijelaskan pada Bab Tinjauan Pustaka.

Sementara itu, jaringan WiFi sebagai jaringan lokal nirkabel yang digunakan untuk komunikasi data dalam suatu area lokal dan sudah tersebar di berbagai tempat. Lokal yang dimaksud disini adalah area yang tidak terlalu luas yaitu dengan radius sekitar 20m atau dalam sebuah gedung. Untuk membangun jaringan lokal menggunakan WiFi, perangkat utama yang digunakan adalah Access Point (AP). AP adalah piranti yang akan menjadi koordinator dalam jaringan lokal jika diinginkan topologi bintang (star) seperti diilustrasikan pada Gambar 2.3.

Gambar 2.3 memberi ilustrasi sebuah jaringan WiFi yang terdiri dari tiga buah komputer dan satu buah AP yang terhubung ke jaringan internet. Dengan konfigurasi-



Gambar 2.2: Contoh sebuah simpul sensor IQRF.



Gambar 2.3: Jaringan bintang menggunakan WiFi.

si tersebut, semua komputer yang ada di dalam jaringan WiFi dapat berkomunikasi dengan internet dengan aturan yang ditentukan oleh AP.

Jika dilihat lebih dalam lagi, AP ini sebenarnya adalah piranti tertanam (embedded device) yang didalamnya sudah terdapat pusat pengolahan utama, memory, dan penyimpanan (storage). Dengan kenyataan inilah maka AP mempunyai potensi untuk menjagi gateway bagi jaringan WiFi dan WSN ke jaringan internet. Untuk mengembangkan aplikasi yang akan ditanamkan ke dalam AP, maka diperlukan sistem operasi yang sesuai untuk AP.

2.2.2 IQRF

IQRF adalah teknologi komunikasi nirkabel berbasis paket melalui frekuensi radio dalam pita frekuensi sub-GHz. Teknologi ini dimaksudkan untuk penggunaan umum saat konektivitas nirkabel dibutuhkan, entah *point to point* atau jaringan yang kompleks. fungsionalitas lengkapnya bergantung semata-mata pada aplikasi berbahasa C yang ditulis oleh pengguna.

Peranti komunikasi dasar dari IQRF adalah sebuah modul pancar-rima terma-

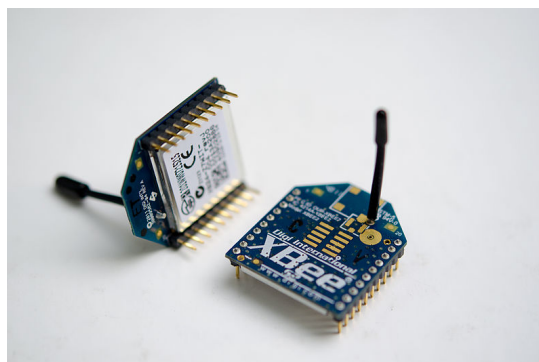
suk unit mikrokontroler dengan sistem operasi tertanam yang mengimplementasikan lapisan *link* dan lapisan jaringan yang mendukung jaringan jala (*mesh*) dengan protokol IQMESH. Tidak ada tingkat komunikasi yang lebih tinggi seperti lapisan *transport* yang termasuk kedalam teknologi ini.

Fitur-fitur yang dimiliki antara lain:

- Kecepatan, daya, dan ukuran data yang rendah,
- RF yang berbasis paket data, maksimal 128 Byte per paket,
- pita frekuensi sub-GHz (868 MHz, 916 MHz, dst.), *multichannel*, dan modulasi FSK,
- *bit rate* 1.2 kb/s ÷ 86.2 kb/s,
- daya keluaran maksimal 20 mW,
- maksimal 65.000 peranti dalam satu jaringan,
- konsumsi daya yang rendah: 380 nA saat *standby*, 25 μ A saat menerima.

2.2.3 XBee

XBee adalah sebuah merk dari Digi International untuk keluarga modul radio. XBee pertama diperkenalkan dalam merk MaxStream pada tahun 2005 yang berdasarkan pada standar IEEE 802.15.4-2003 untuk *point to point* dan komunikasi bintang dalam *baud rate* 250 kbit/s.



Gambar 2.4: Sepasang peranti XBee.

Pada awalnya diperkenalkan dua model, yaitu 1mW XBee dan 100mW XBee-PRO. Sejak pertama kali diperkenalkan, beberapa buah XBee baru juga diperkenalkan

dan semua XBee sekarang dipasarkan dengan merk Digi. Contoh peranti XBee dapat dilihat pada Gambar 2.4.

2.2.4 TCP/IP

Protokol internet adalah kumpulan protokol-protokol komunikasi yang digunakan dalam internet dan jaringan komputer sejenis, dan umumnya merupakan protokol yang paling populer untuk WAN. Pada umumnya hal ini dikenal dengan TCP/IP, karena protokol utamanya merupakan protokol jaringan pertama yang terstandarisasi. Terkadang hal ini dikenal dengan model DoD karena pengaruh ARPANET pada dekade 1970an.

TCP/IP menyediakan konektivitas antar ujung yang menspesifikasikan bagaimana data harus diformat, dialamatkan, ditransmisikan, dirutekan, dan diterima di tujuan. TCP/IP memiliki empat layer abstraksi yang digunakan untuk mengurutkan semua protokol internet menurut jangkauan jaringan yang terlibat. Dari terendah sampai tertinggi, lapisan-lapisan tersebut adalah layer link, layer internet, layer transport, dan layer aplikasi.

2.2.5 Access Point

Access Point, disingkat AP, atau juga dikenal dengan istilah *Wireless Access Point* adalah sebuah peranti yang memungkinkan peranti-peranti nirkabel untuk terkoneksi dengan jaringan kabel menggunakan Wi-Fi atau standar lain. AP biasanya terkoneksi dengan sebuah *router* (melalui jaringan kabel) sebagai peranti yang berdiri sendiri, namun juga dapat menjadi bagian dalam komponen *router* tersebut.

Penggunaan secara korporat melibatkan beberapa AP ke dalam jaringan kabel dan menyediakan akses nirkabel ke LAN kantor. AP diatur dengan *WLAN Controller* yang menangani pengaturan daya RF, kanal-kanal, autentikasi, dan keamanan.

Sebuah *hotspot* adalah aplikasi dari satu atau beberapa AP, di mana peranti dapat terhubung ke Internet dengan mudah. Konsep ini sudah menjadi hal yang umum di beberapa kota besar, di mana kombinasi dari warung kopi, perpustakaan, dan AP milik pribadi memungkinkan klien untuk terkoneksi dengan Internet. Koleksi dari *hotspot* yang terkoneksi dapat disebut sebagai sebuah jaringan *lili pad*.

2.2.6 TP-LINK MR3020

2.2.7 Web Server

Web server dapat mengacu pada perangkat keras atau perangkat lunak yang membantu dalam penyampaian konten web yang dapat diakses melalui internet.

Penggunaan web server yang paling umum adalah sebagai host untuk halaman web, walaupun ada beberapa penggunaan lain seperti game, media penyimpanan data, atau penjalanan aplikasi perusahaan.

2.2.8 AJAX

AJAX adalah kelompok dari teknik-teknik pengembangan web yang digunakan pada klien untuk membuat aplikasi asinkron. Dengan AJAX, aplikasi web dapat mengirim dan menerima data dari sebuah server secara asinkron tanpa mengganggu tampilan dari halaman yang ada. Data dapat diambil menggunakan obyek XMLHttpRequest. Penggunaan XML tidak diperlukan, malahan JSON lebih sering digunakan, dan rekues tidak harus asinkron.

AJAX bukanlah sebuah teknologi, tapi kelompok dari teknologi-teknologi. HTML dan CSS dapat digunakan dalam kombinasi untuk mark up dan informasi tampilan. DOM diakses oleh JavaScript untuk menampilkan dan mengijinkan pengguna untuk berinteraksi dengan informasi tertampil. JavaScript dan obyek XMLHttpRequest menyediakan sebuah metode untuk pertukaran data secara asinkron antara browser dan server untuk menghindari muat ulang halaman secara keseluruhan.

2.2.9 OpenWRT

OpenWRT adalah sebuah sistem operasi untuk *embedded device* yang berbasis pada Linux kernel. OpenWRT pada umumnya digunakan dalam routing *network traffic*. Komponen-komponen utamanya adalah Linux kernel, util-linux, uClibc dan BusyBox. Semua komponen sudah dioptimalkan dan dimampatkan untuk bisa muat dalam *router* rumahan yang memiliki keterbatasan media penyimpan dan memori. OpenWRT dapat dikonfigurasi melalui antarmuka *command-line (ash shell)*, seperti dapat dilihat pada Gambar 2.5, atau dengan antarmuka Web (LuCI). Terdapat kurang lebih 3.500 paket-paket perangkat lunak tambahan yang tersedia untuk diinstal melalui sistem manajemen paket *opkg*.

OpenWRT dapat berjalan pada router CPE (*Customer Premised Equipment*),

[illegible]

Gambar 2.5: Tampilan antarmuka *command-line* OpenWRT versi *BackFire*.

gateway residensial, komputer saku (seperti Ben NanoNote), dan komputer jinjing. OpenWRT juga dapat berjalan pada komputer konvensional atau komputer dengan arsitektur x86. Banyak *patch* dari kode sumber berbasis OpenWRT yang diubah kedalam Linux kernel utama.

2.2.10 SSHFS

SSHFS (SSH Filesystem) adalah sebuah klien *filesystem* untuk *mount* dan berinteraksi dengan direktori dan arsip yang berlokasi pada server atau *workstation*. Klien berinteraksi dengan server dengan SSH *File Transfer Protocol* (SFTP), sebuah protokol jaringan yang menyediakan akses ke arsip, transfer arsip, dan fungsionalitas manajemen arsip melalui aliran data yang didesain sebagai ekstensi dari protokol SSH versi 2.0.

2.2.11 Bootstrap

Bootstrap adalah koleksi gratis dari alat-alat untuk membuat situs web dan aplikasi berbasis web. Bootstrap terdiri dari HTML dan contoh desain berbasis CSS untuk tipografi, borang, tombol, navigasi, komponen antarmuka lain, dan juga ekstensi JavaScript yang bersifat opsional.

Bootstrap merupakan proyek paling populer pada GitHub, dan sudah digunakan oleh, diantaranya, NASA dan MSNBC.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Perangkat Keras

- a. Kit pancar-rima IQRF TR-53B (3 unit),
- b. Kit pengunduh program CK-USB-04 (1 unit),
- c. Kit pengembangan DK-EVAL-03 (2 unit),
- d. Kit pengembangan CK-EVAL-04 (1 unit),
- e. *XBee 802.15.4 Radios (Series 1)* (3 unit),
- f. *XBee Explorer USB Board* (1 unit),
- g. *2 channel Relay Shield For Arduino (With XBee/BTBee interface)* (2 unit),
- h. Arduino Uno (2 unit),
- i. TP-LINK MR3020 (1 unit),
- j. Kabel USB ke Serial Prolific (1 unit).

3.1.2 Perangkat Lunak

- a. Arduino for Mac OSX,
- b. CoolTerm,
- c. Driver FTDI for Mac OSX,
- d. PHP, MySQL, dan uHTTPd,
- e. Python dan pustaka PySerial,
- f. IQRF IDE v 2.08 for TR-53B,
- g. SSHFS,
- h. Sublime Text 3.

3.2 Alur Penelitian

3.2.1 Pra Penelitian

Sebelum penelitian dimulai, dilakukan studi literatur terkait dengan sistem yang akan dibangun. Selain itu, analisis kebutuhan juga dirancang pada tahap ini. Setelah semua selesai, dilanjutkan dengan penulisan proposal penelitian.

3.2.2 Pengembangan Aplikasi

Ada tiga aplikasi yang akan dibangun, yaitu aplikasi berbasis bahasa C untuk masing sensor-sensor IQRF dan Arduino Uno, aplikasi berbasis web yang nantinya akan berinteraksi langsung dengan pengguna, dan aplikasi berbasis bahasa Python untuk mengomunikasikan sensor-sensor dengan aplikasi berbasis web.

Aplikasi untuk sensor-sensor IQRF terdiri dari dua bagian, yaitu aplikasi untuk sensor koordinator dan sensor simpul. Namun demikian, aplikasi sama-sama ditulis dan dikembangkan menggunakan Sublime Text 3. Setelah kode sumber untuk aplikasi selesai dibuat, kode sumber dikompilasi menggunakan IDE IQRF untuk kemudian diunggah ke sensor menggunakan bantuan aplikasi yang sama. Aplikasi yang dikembangkan adalah hasil fork dari iHome, aplikasi rumah hijau yang dikembangkan oleh Wibowo, et. al.

Sedangkan aplikasi untuk Arduino Uno, yang bertugas menyala-matikan relay dengan komunikasi berbasis ZigBee, dikembangkan dengan aplikasi Arduino for Mac OSX dengan bahasa pemrograman C. Proses kompilasi dan pengunggahan dilakukan dengan bantuan aplikasi yang sama.

Aplikasi web dikembangkan dengan bahasa PHP pada server (terletak pada AP) dan JavaScript pada klien. Halaman yang tertampil pada web browser disusun menggunakan HTML5 dan CSS3 dengan bantuan pustaka Bootstrap agar halaman dapat bersifat responsif, yaitu dapat menyesuaikan tampilan sesuai ukuran layar web browser. AJAX diterapkan dalam pengembangan agar halaman web yang ditampilkan bersifat dinamis.

Aplikasi berbasis bahasa Python dikembangkan dengan bantuan pustaka PySerial. Pustaka ini diperlukan agar Python dapat berkomunikasi dengan *port* serial, yaitu antar muka untuk berkomunikasi dengan sensor. Kode sumber ditulis menggunakan Sublime Text 3.

3.2.3 Evaluasi dan Perbaikan

Evaluasi dilakukan dengan melakukan simulasi dalam skala laboratorium. Simulasi yang diujikan mencakup semua fitur yang dimiliki oleh aplikasi untuk memastikan bahwa aplikasi dapat berjalan dengan semestinya. Kemudian Perbaikan dilakukan dengan bantuan SSHFS agar AP dapat mengakses direktori yang tersimpan pada komputer karena *coding* tidak dilakukan pada AP itu sendiri, melainkan komputer.

3.2.4 Pasca Penelitian

Setelah penelitian selesai dilakukan dan aplikasi siap untuk diimplementasikan, naskah skripsi dan makalah skripsi ditulis sebagai manifesto penelitian.

3.2.5 Diagram Alir Penelitian



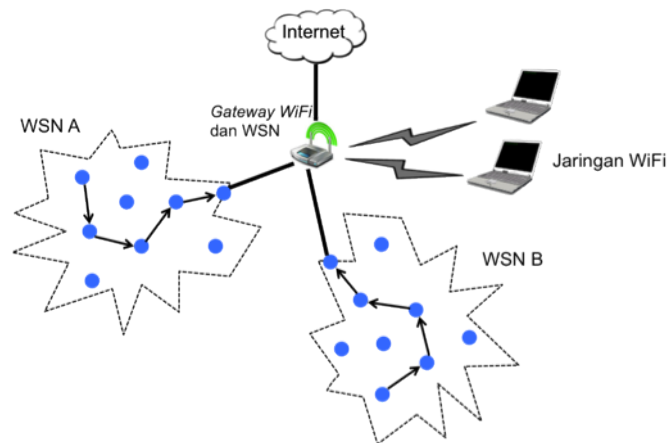
Gambar 3.1: Diagram alir penelitian.

3.3 Tahapan Pelaksanaan

Rancangan arsitektur yang akan digunakan pada penelitian ini diilustrasikan seperti pada Gambar 3.2. Pada gambar tersebut diilustrasikan sebuah sistem yang terdiri atas dua buah WSN dengan protokol yang berbeda dan satu buah jaringan nirkabel lokal (WiFi). Protokol WSN yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah dari IQRF dan ZigBee. Pelaksanaan penelitian ini akan dibagi menjadi tiga paket pekerjaan (Work Package, WP).

WP 1: Perancangan Perangkat Lunak

Pada tahap ini akan dilakukan studi literatur yang dititikberatkan pada sistem operasi (Operating System, OS) untuk piranti tertanam (embedded device). Langkah selanjutnya adalah rerancangan perangkat lunak yang akan ditanamkan pada Access Point (AP). Perangkat lunak yang akan ditanamkan harus bekerja secara efisien karena kemampuan komputasi yang terbatas pada AP.



Gambar 3.2: Arsitektur WSN dan WiFi dengan sebuah AP.

WP 2: Implementasi Perangkat Lunak

Implementasi perangkat lunak dilakukan pada tahap ini. Langkah pertama yang dilakukan adalah memastikan bahwa WSN dapat terhubung dengan internet sesuai dengan yang direncanakan. Langkah selanjutnya adalah memastikan bahwa jaringan WiFi tidak mengalami gangguan setelah perangkat lunak yang baru tertanam pada AP. Penambahan layanan-layanan yang diperlukan dapat pula dilakukan pada tahap ini.

WP 3: Integrasi dan Pengujian Seluruh Sistem

Jika jaringan WiFi dan dua protokol WSN masing-masing dapat berhubungan dengan internet, maka pada tahap ini akan dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan. Pengujian dinaikkan dari skala lab menjadi skala *test-bed*. Pengujian dalam *test-bed* dilakukan untuk menjamin bahwa sistem yang dikembangkan bekerja sesuai dengan yang direncanakan.

3.4 Jadwal Kegiatan

Penelitian direncanakan akan dilaksanakan selama enam bulan. Rincian rencana jadwal penelitian dicantumkan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Jadwal Penelitian.

No	Keterangan	Bulan					
		1	2	3	4	5	6
1	Studi literatur						
2	Desain						
3	Pembelian bahan						
4	Pembuatan prototipe						
5	Uji coba dan perbaikan						
6	Penulisan skripsi						

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Kebutuhan Sistem

Bagian ini menjelaskan hal-hal yang terkait tentang pengembangan aplikasi sebelum penulisan code sumber.

4.1.1 Fitur-Fitur Aplikasi

Kemampuan menangani sensor-sensor:

- Mampu membaca dan menampilkan suhu yang terbaca pada sensor IQRF,
- mampu menyalakan-matikan relay pada peranti yang diinginkan,
- mampu menambah dan mengurangi peranti baru baik IQRF atau XBee,
- mampu menjalankan profile tertentu dari kombinasi suhu dan relay atau waktu tertentu.

Kemampuan menangani pengguna:

- Mengharuskan pengguna untuk memasukkan nama dan kata sandi sebelum masuk ke aplikasi,
- dapat menambah atau mengurangi pengguna yang dapat memasuki sistem.

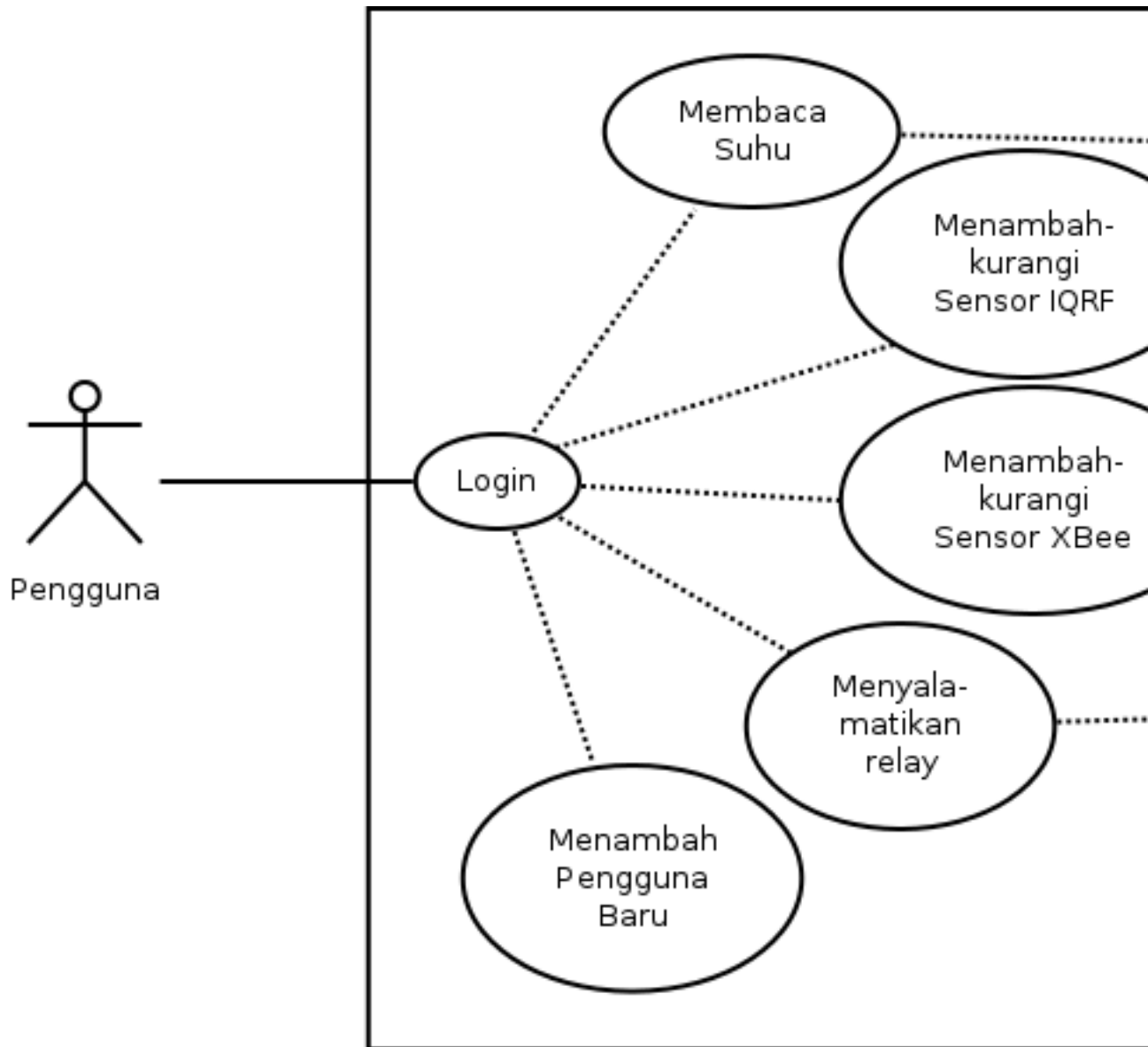
4.1.2 Use Case Diagram

4.1.3 Diagram Arsitektur Sistem

4.1.4 SDLC

4.2 Perancangan Aplikasi

Bagian ini menjelaskan hal-hal terkait pengembangan aplikasi.



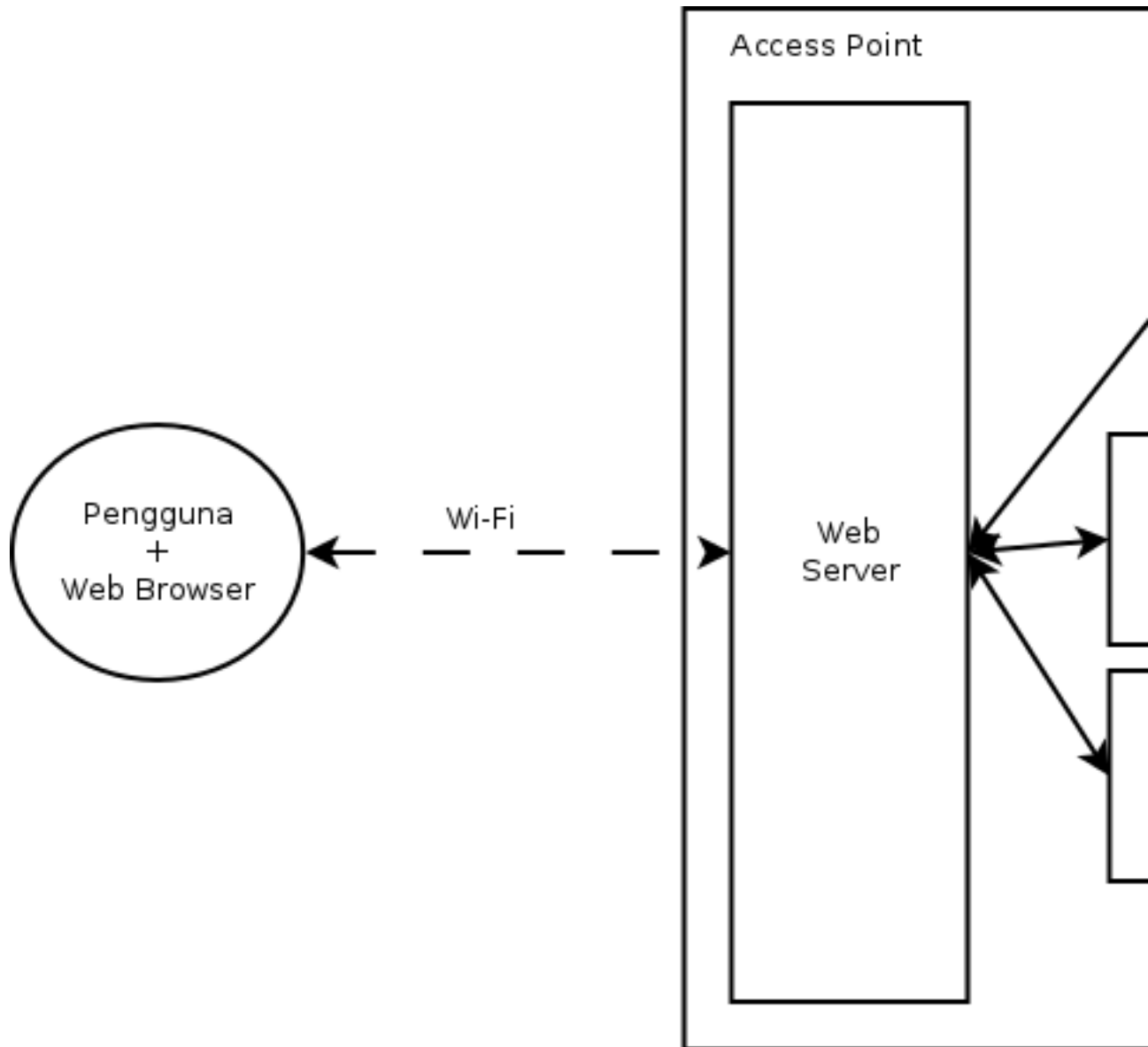
Gambar 4.1: Diagram *use case* dari penelitian.

4.2.1 Peta Situs

4.2.2 Diagram Alir Proses

Diagram alir menambah peranti IQR:

Diagram alir menambah peranti XBee:

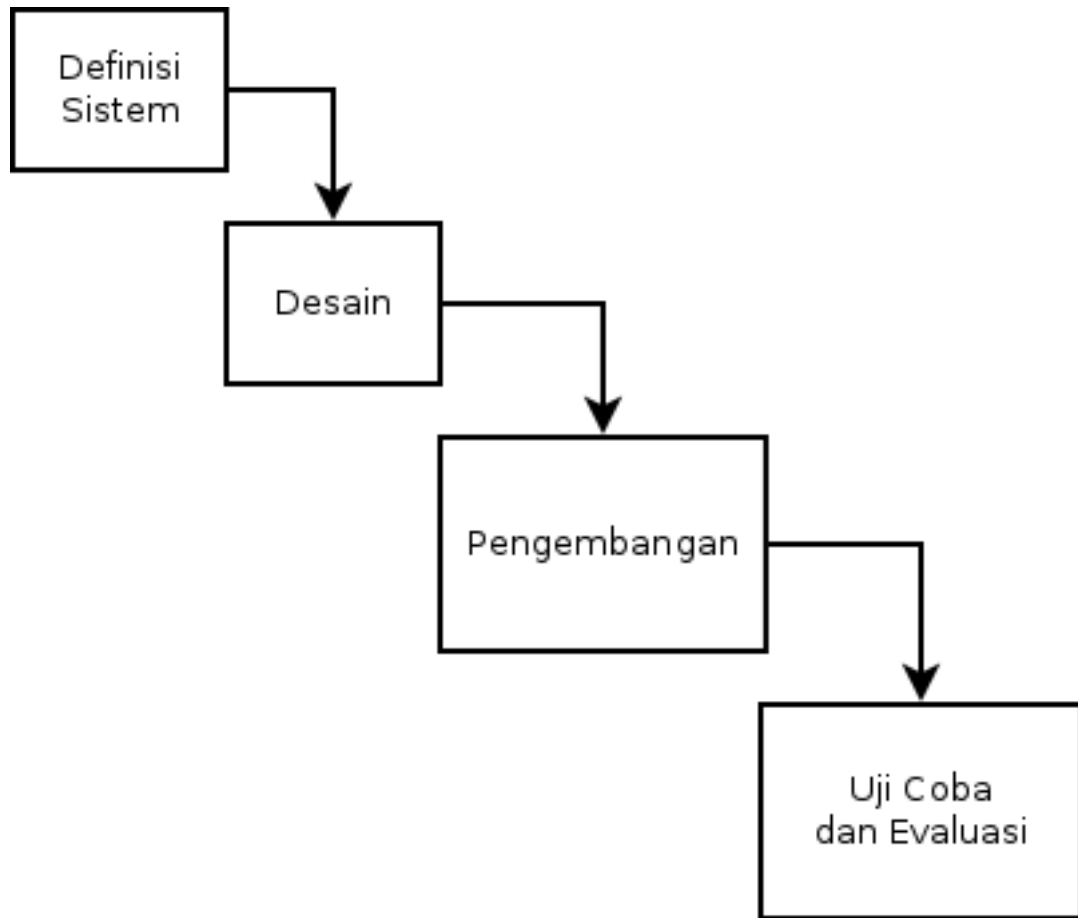


Gambar 4.2: Diagram Arsitektur Sistem.

4.2.3 Persiapan Pra Pengembangan Aplikasi

1. Konfigurasi Router/AP

Penelitian ini menggunakan AP keluaran TP-LINK seri MR3020. AP jenis ini dipilih karena bentuknya yang kecil sehingga mudah dibawa atau dipindahkan dan kemudahannya untuk dimodifikasi. TP-LINK MR3020 juga terbilang populer di ranah komunitas sistem benam (*embedded device*) sehingga memiliki dukungan yang baik dari pabrikan dan komunitas.



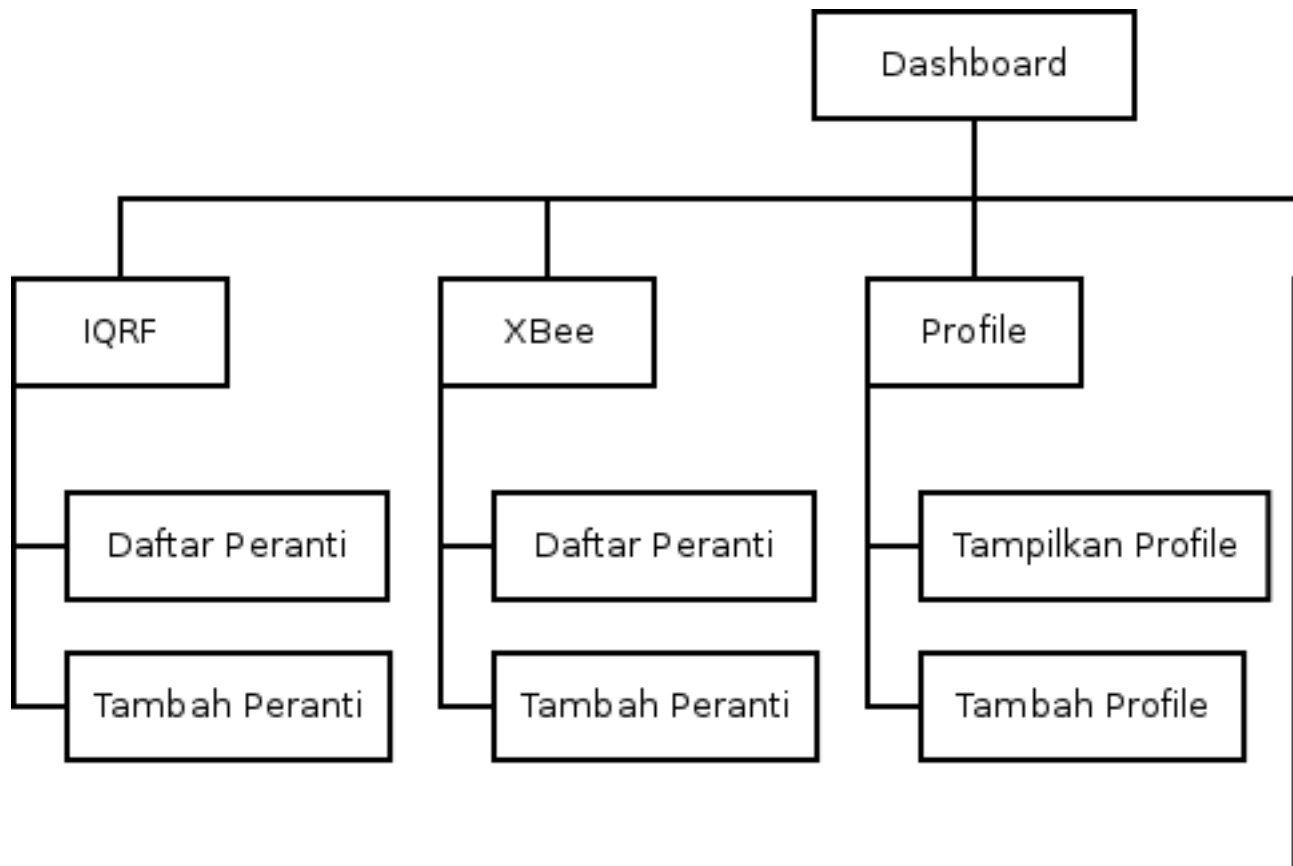
Gambar 4.3: Diagram SDLC.

Sebelum digunakan, *firmware* bawaan TP-LINK MR3020 harus diganti dengan sistem operasi OpenWRT. Proses penggantian cukup mudah karena hanya memanfaatkan menu *firmware upgrade* dari web admin yang sudah tersedia. Sistem Operasi OpenWRT yang digunakan adalah Attitude Adjustment versi 12.09 dengan Linux kernel 3.3.8. *Image file* sistem operasi tersebut bisa diunduh secara gratis pada situs www.openwrt.org.

Setelah OpenWRT berhasil terinstall, langkah selanjutnya adalah mengimplementasikan *extroot*. *Extroot* dapat memperbesar memori penyimpanan dengan bantuan USB *flash drive*. Langkah yang harus dilakukan pertamakali adalah menginstall perangkat lunak dengan perintah sebagai berikut:

```
# opkg update  
# opkg install block-extroot block-hotplug block-mount
```

Kemudian dilanjutkan dengan menyalin isi dari memori internal TP-LINK MR3020



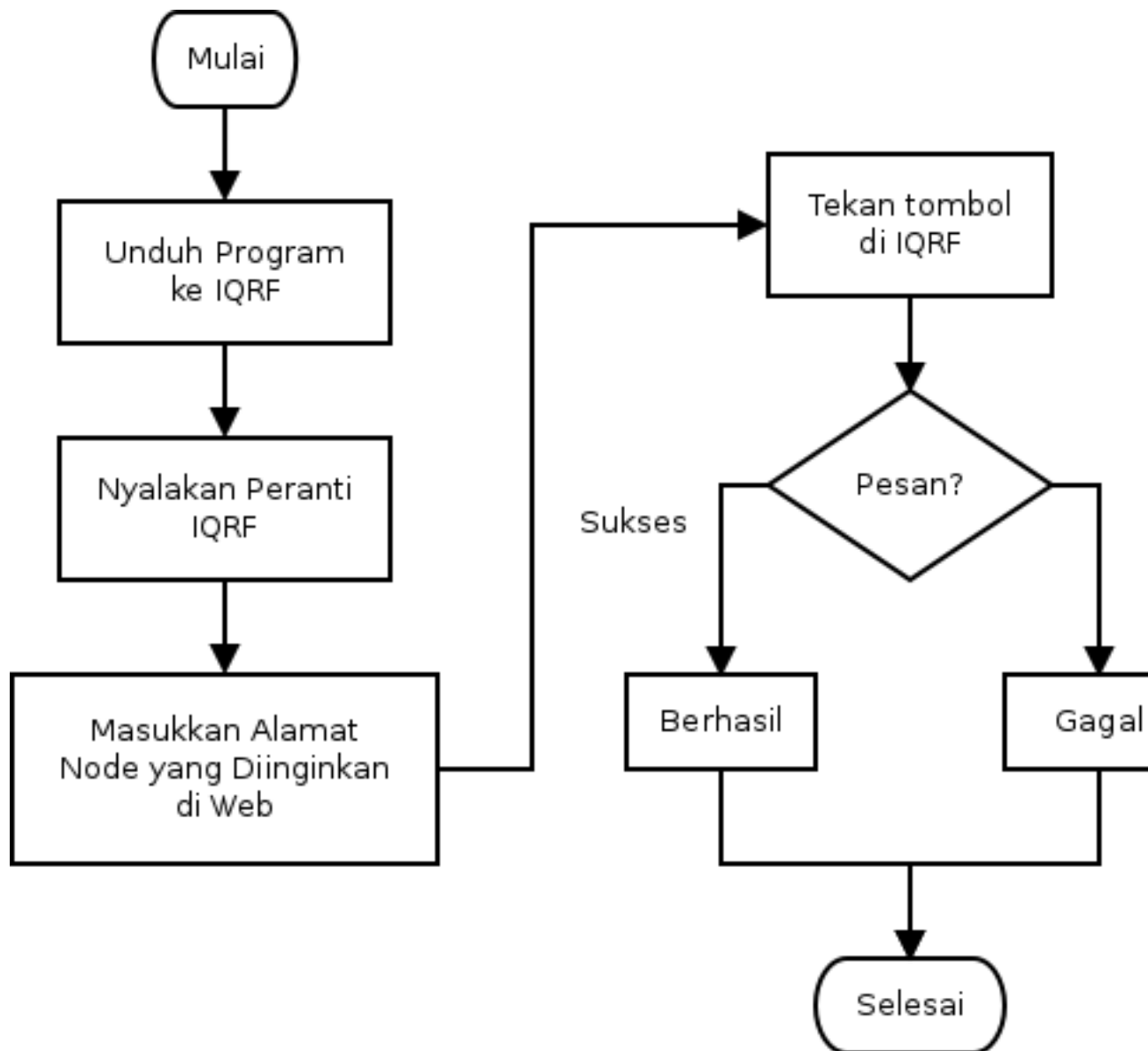
Gambar 4.4: Peta situs aplikasi web.

ke USB *flash drive* yang di-mount pada direktori /mnt/sda1 dengan perintah:

```
# tar -C /overlay -cvf - . | tar -C /mnt/sda1 -xf -
```

Langkah terakhir adalah mengkonfigurasi file /etc/config/fstab dan menyalakan ulang AP. Konfigurasi diganti dengan detail sebagai berikut:

```
config mount
    option target      /mnt
    option device      /dev/sda1
    option fstype      ext3
    option options      rw, sync
    option enabled      1
    option enabled_fsck 0
    option is_rootfs    1
```

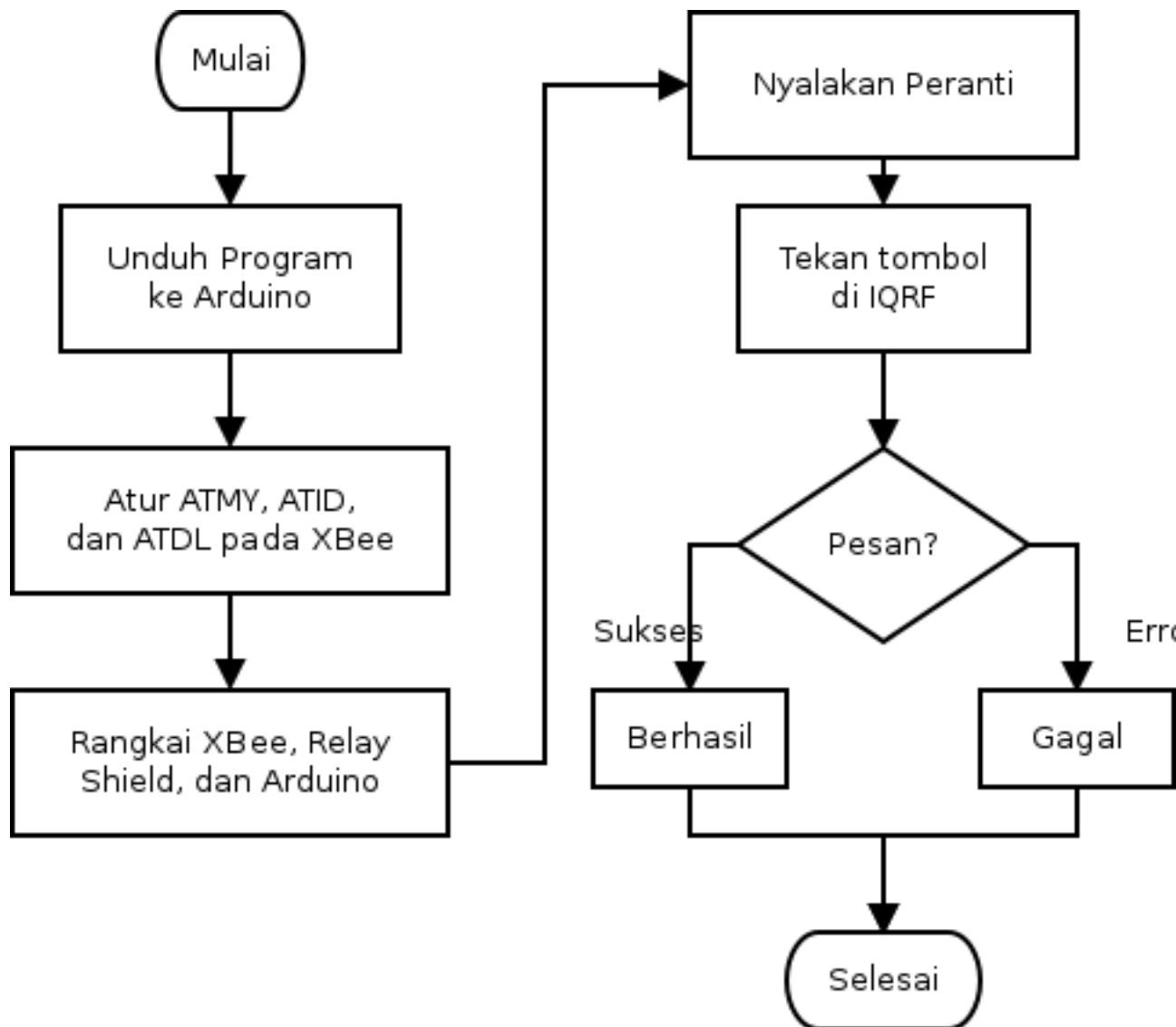


Gambar 4.5: Diagram Alir Penambahan Peranti IQRF ke Aplikasi.

Setelah proses implementasi extroot selesai, berarti AP sudah memiliki memori penyimpanan yang cukup (atau mungkin lebih) untuk menginstal aplikasi-aplikasi pendukung lainnya. Penelitian ini menggunakan memori USB 4 Giga-byte.

Agar TP-LINK MR3020 dapat membaca dan mengirimkan data dari dan ke WSN melalui kanal serial, dibutuhkan Python dan pustaka PySerial yang diinstal dengan perintah:

```
# opkg update
```



Gambar 4.6: Diagram Alir Penambahan Peranti XBee ke Aplikasi.

```
# opkg install python pyserial
```

Sedangkan paket aplikasi ‘at’ digunakan agar AP dapat menjalankan perintah untuk menyala-matikan relay pada waktu tertentu. Namun, sebelum at dapat berjalan, pada router sudah harus tersedia file /var/spool/cron/atjobs/.SEQ dan pemilik dari file tersebut harus diganti menjadi daemon.daemon. Aplikasi ‘at’ diinstall dengan perintah:

```
# opkg update && opkg install at
```

Langkah selanjutnya adalah instalasi aplikasi pendukung aplikasi berbasis web yang nantinya akan dikembangkan yaitu Web Server, PHP, dan MySQL. Web server yang digunakan adalah yang sudah terinstal pada OpenWRT versi Attitude Adjustment yaitu uHTTPd. Sedangkan PHP dan MySQL harus diinstal dengan perintah:

```
# opkg update
# opkg install php5 php5-cgi mysql
```

Setelah PHP berhasil terinstal, buka file `/etc/config/uhttpd` dan pastikan baris yang memuat

```
list interpreter ".php=/usr/bin/php-cgi"
```

tidak dalam keadaan terkomentar.

Aplikasi yang terakhir yang harus diinstal adalah SSHFS yang berguna dalam uji coba dan perbaikan aplikasi. SSHFS dapat diinstal dengan perintah:

```
# opkg update
# opkg install sshfs
```

Zona waktu standar pada OpenWRT adalah UTC yang berlokasi pada kota Greenwich di Inggris Raya. Agar zona waktu dapat dikonfigurasi sesuai dengan zona waktu kota Yogyakarta, maka isi dari file `/etc/config/system` harus disesuaikan. Pada file tersebut, zona waktu UTC diganti menjadi WIT-7 atau *Western Indonesian Time-7*.

2. Konfigurasi Komputer untuk Pengembangan Komputer yang digunakan dalam penelitian ini adalah MacBook Pro dengan sistem operasi Mac OSX Mountain Lion. Sedangkan aplikasi yang harus tersedia adalah Sublime Text 3, Arduino for Mac OSX, CoolTerm, Driver FTDI for Mac OSX, IQRD IDE v 2.08 for TR-53B.

Sublime Text 3 berperan banyak dalam mengedit kode-kode sumber PHP, C, dan Python.

Sedangkan proses pengembangan dan pengunduhan aplikasi untuk Arduino sepenuhnya dilakukan dengan Arduino for Mac OSX karena aplikasi tersebut sudah mencakup editor teks dan alat kompilasi.

Agar komputer dapat membaca kanal serial sehingga dapat melakukan tugas-tugas seperti konfigurasi XBee Radio dan pengujian aplikasi Python, komputer membutuhkan aplikasi CoolTerm. Sebelum aplikasinya ini terinstal, pastikan driver FTDI untuk Mac OSX sudah terinstal, agar komputer dapat mendeteksi XBee yang terhubung melalui USB.

Walaupun kode sumber untuk IQRF ditulis dengan bantuan Sublime Text 3, proses kompilasinya dilakukan dengan aplikasi IQRF IDE v 2.08 for TR-53B. Proses pengunduhan file ke IQRF juga dilakukan dengan aplikasi yang sama.

Semua proses instalasi aplikasi yang dibutuhkan dilakukan dengan prosedur standar dari Mac OSX. Yaitu memperoleh file binary-nya dan kemudian menyalin file tersebut ke direktori Application atau mengikuti prosedur standar dari masing-masing aplikasi.

Langkah terakhir yang dilakukan adalah memastikan AP dapat mengakses komputer melalui SSH. Pastikan *remote sharing* dalam keadaan tercentang di *System Preference, Sharing*. Atau untuk lebih jelasnya dapat melihat pada Gambar 4.7.

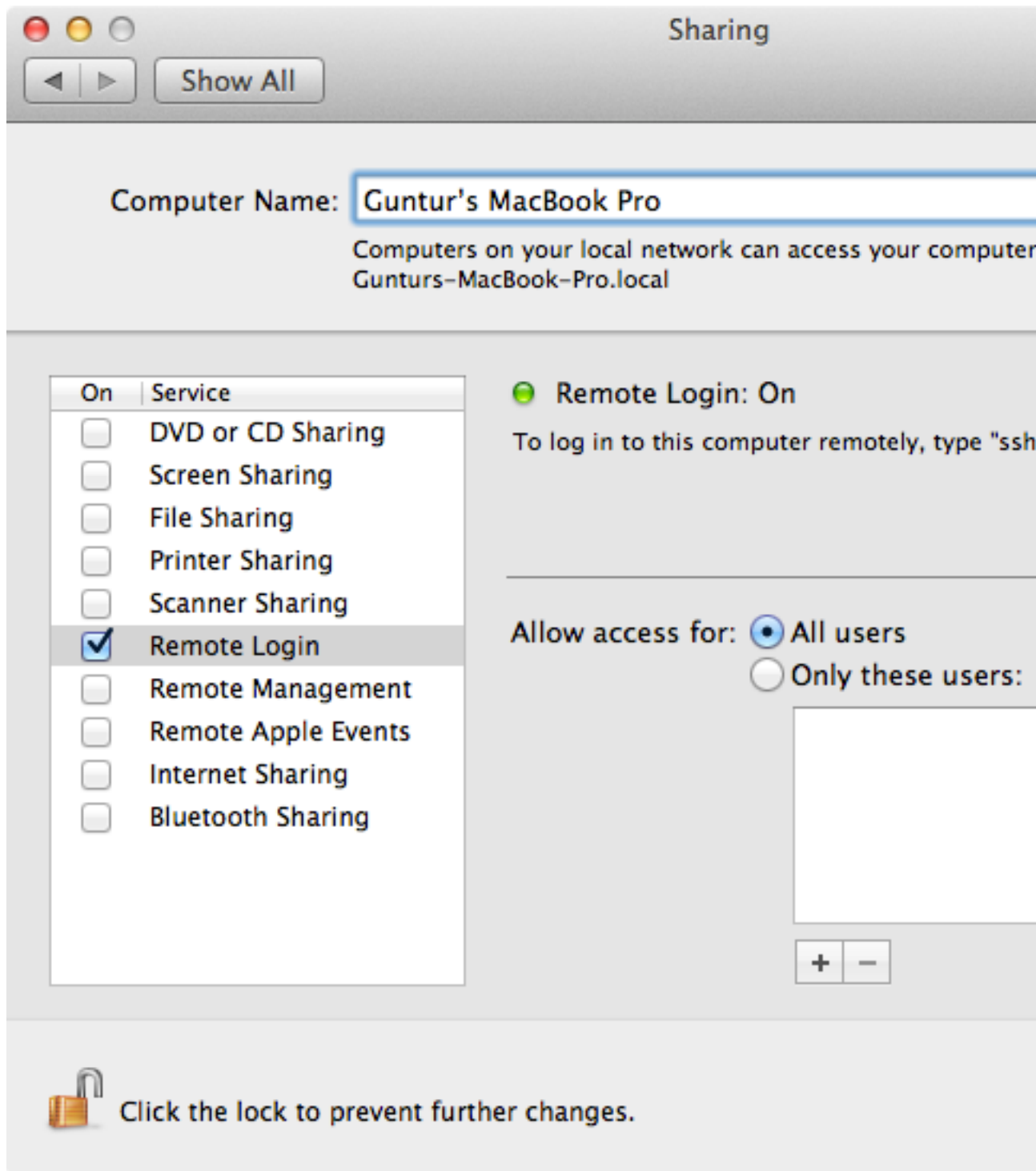
3. Peranti XBee Setiap peranti XBee yang akan digunakan harus terkonfigurasi terlebih dahulu. Parameter-parameter yang harus terkonfigurasi adalah ATID (alamat dari jaringan/*network ID*), ATMY (alamat peranti itu sendiri), ATDH (*destination address high*), dan ATDL (*destination address low*).

Proses konfigurasi dilakukan dengan menyambungkan XBee Radio dengan *XBee Explorer USB Board* ke komputer dan menjalankan aplikasi untuk membaca kanal serial, misalnya CoolTerm pada Mac OSX. Setelah CoolTerm dibuka, buka koneksi kanal serial ke XBee dan jalankan perintah dengan format:

```
+++ #masuk ke AT Mode
ATID <id jaringan>
ATMY <alamat dari zigbee>
ATDH <destination high>
ATDL <destination low>
ATWR #tulis ke non volatile memory
```

Contoh perintahnya adalah:

```
+++ #masuk ke AT Mode
```



Gambar 4.7: Konfigurasi SSH pada Mac OSX.

ATID 1234
ATMY 5

```
ATDH 0
ATDL 1
ATWR #tulis ke non volatile memory
```

4.2.4 Pengembangan Aplikasi WSN

1. IQRF
2. XBee

4.2.5 Pengembangan Aplikasi Python

4.2.6 Pengembangan Aplikasi Berbasis Web

ERD

4.2.7 Evaluasi dan Perbaikan

Peranan SSHFS.

4.2.8 *Screenshot* Aplikasi

Tampilkan responsif untuk beberapa halaman.

4.2.9 Kode Sesumber

Kode sesumber dapat diperoleh pada situs GitHub dengan alamat URL <https://github.com/gtrdp/wsn-ip-interopability>.

4.3 Analisis Unjuk Kerja Aplikasi

Bagian ini menjelaskan hal-hal terkait instalasi aplikasi ke kondisi sesungguhnya, hasil uji coba, masalah, dan penyelesaian.

4.3.1 Hasil Akhir Perangkat Keras

4.3.2 Instalasi Aplikasi dan Perangkat Keras

4.3.3 Hasil Uji Coba Aplikasi

4.3.4 Masalah dan Penyelesaian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Kondisi jaringan wireless UGM-Hotspot pada kondisi awal memiliki coverage yang baik (diatas -70dbm) rata-rata setiap lantai sebesar 45,30% dari keseluruhan luas gedung.
2. Penambahan access point dapat menambah coverage sinyal baik (diatas - 70dbm) dari jaringan wireless UGM-Hotspot di gedung JTETI dengan rata-rata setiap lantai sebesar 26,33% sehingga area coverage sinyal baik rata-rata setelah penambahan access point baru menjadi 71,63%.
3. Semakin dekat titik dengan access point throughput yang didapatkan akan semakin besar, namun throughput tetap dapat berubah bergantung jumlah user yang ada.
4. Maksimal throughput yang didapat pada sinyal lemah hanya mencapai 64,81% dari maksimal bandwidth perangkat wireless sediakan.
5. Throughput pada daerah yang dilakukan penelitian seluruhnya mengalami penambahan nilai throughput hingga mendekati maksimal bandwidth yaitu 92,59% setelah dilakukan penambahan access point.

5.2 Saran

1. Kondisi jaringan wireless UGM-Hotspot pada kondisi awal memiliki coverage yang baik (diatas -70dbm) rata-rata setiap lantai sebesar 45,30% dari keseluruhan luas gedung.
2. Penambahan access point dapat menambah coverage sinyal baik (diatas - 70dbm) dari jaringan wireless UGM-Hotspot di gedung JTETI dengan rata-rata setiap lantai sebesar 26,33% sehingga area coverage sinyal baik rata-rata setelah penambahan access point baru menjadi 71,63%.

3. Semakin dekat titik dengan access point throughput yang didapatkan akan semakin besar, namun throughput tetap dapat berubah bergantung jumlah user yang ada.
4. Maksimal throughput yang didapat pada sinyal lemah hanya mencapai 64,81% dari maksimal bandwidth perangkat wireless sediakan.
5. Throughput pada daerah yang dilakukan penelitian seluruhnya mengalami penambahan nilai throughput hingga mendekati maksimal bandwidth yaitu 92,59% setelah dilakukan penambahan access point.

DAFTAR PUSTAKA

Spinar, R., dkk, “Demo Abstract: Efficient Building Management with IP- based Wireless Sensor Network”, , 6th European Conference on Wireless Sensor Networks. Cork, Ireland 11-13 February 2009.

Adam Dunkels, Thiemo Voigt, Niclas Bergman, dan Mats Jonsson “The Design and Implementation of an IP-based Sensor Network for Intrusion Monitoring”, Swedish National Computer Networking Workshop, Sweden, 2004.

Sigit B. Wibowo, dan Widyawan, “Wireless Sensor Network and Internet Protocol Integration with COTS”, 2013 AUN/SEED-Net Regional Conference in Electrical and Electronics Engineering, Bangkok, Thailand, 2013.

Dokumen online, <http://www.iqrf.org/>, IQRF, diakses pada Maret 2013

Widyawan, Sigit B. Wibowo, dkk, “iHome: Low-Cost Domotic for Residential Houses”, 5th AUN/SEED-Net Regional Conference on Information and Communications Technology (RCICT), Manila, Filipina, 2012.

Dokumen online, <https://openwrt.org/>, diakses pada Maret 2013

Dokumen online, <http://www.digi.com/technology/rf-articles/wireless-zigbe>, diakses pada Maret 2013.