

TESIS

**SISTEM PEMANTAUAN *VITAL SIGN* SECARA *REAL-TIME* BERBASIS
*INTERNET OF MEDICAL THINGS (IoMT)***

Disusun dan diajukan oleh

**IDA LAILA
H032 202 007**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**SISTEM PEMANTAUAN VITAL SIGN SECARA REAL-TIME BERBASIS
INTERNET OF MEDICAL THINGS (IoMT)**

TESIS

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Sains
Pada Program Studi Magister Fisika Departemen Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*

UNIVERSITAS HASANUDDIN

**IDA LAILA
H032202007**

**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
DEPARTEMEN FISIKA**

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2022

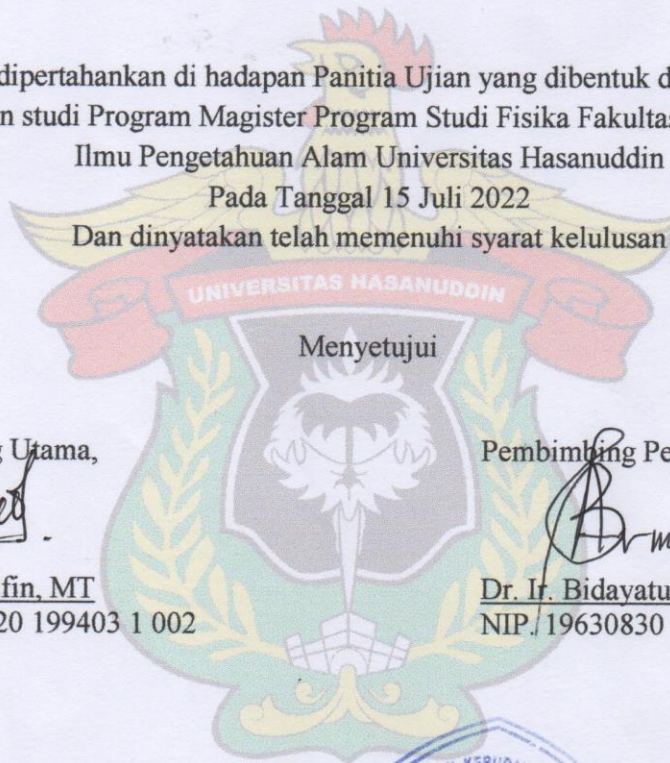
LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**SISTEM PEMANTAUAN *VITAL SIGN* SECARA *REAL-TIME* BERBASIS
*INTERNET OF MEDICAL THINGS (IoMT)***

Disusun dan diajukan oleh

**IDA LAILA
H032202007**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Magister Program Studi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin
Pada Tanggal 15 Juli 2022
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan



Menyetujui

Pembimbing Utama,

Prof. Dr. Arifin, MT
NIP.19670520 199403 1 002

Pembimbing Pendamping,

Dr. Ir. Bidayatul Armynah, MT
NIP.19630830 198903 2 001

Ketua Program Studi,

Dr. Ir. Bidayatul Armynah, MT
NIP. 19630830 198903 2 001

Dekan Fakultas,

Dr. Eng. Amiruddin, M.Si
NIP. 19720515 199702 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ida Laila
NIM : H032202007
Program Studi : Fisika
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

SISTEM PEMANTAUAN *VITAL SIGN* SECARA *REAL-TIME* BERBASIS *INTERNET OF MEDICAL THINGS (IoMT)*

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 15 Juli 2022

Yang menyatakan


Ida Laila

Abstrak

Telah dilakukan penelitian terkait sistem pemantauan *vital sign* (tanda-tanda vital) secara *real-time* berbasis *Internet of Medical Things* (IoMT). Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem yang dapat melakukan pemantauan tanda-tanda vital seperti detak jantung, pernapasan, suhu tubuh dan tekanan darah melalui jarak jauh. Tahap penelitian ini meliputi perancangan sistem perangkat keras dan perangkat lunak, pengujian dan analisis karakteristik sensor, pembuatan web server, pengujian sistem dan pengambilan data secara langsung. Sistem ini dibangun oleh beberapa komponen seperti, *pulse heart sensor*, serat optik plastik, sensor suhu DS18B20, sensor tekanan MPX5050GP, arduino uno, XBee *end device*, XBee *coordinator*, raspberry pi, penguat selisih, catu daya, fototransistor IF-D92, *Light Emitting Diode* (LED) IF-E91A, motor DC dan driver, motor stepper dan driver serta potensiometer. Kemudian perangkat lunak yang digunakan pada sistem terdiri dari arduino *Integrated Development Environment* (IDE), XCTU, python, Django, *database* MySQL, atom, PuTTY dan Thony IDE pada operasi raspbian. Beberapa sensor digunakan untuk mengukur tanda-tanda vital pada tubuh manusia dengan pengolahan sinyal keluaran dikendalikan oleh arduino uno sebagai *Analog to Digital Converter* (ADC). Sinyal keluaran sensor berupa data pengukuran yang telah diolah oleh arduino dikirim ke raspberry pi sebagai komputer server melalui XBee. Data tersebut disimpan ke dalam *database* dan dapat ditampilkan pada *web server*. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem dapat bekerja dengan baik dengan hasil pengukuran ditampilkan pada *web server* secara *real-time* serta riwayat pengukuran ditampilkan dalam bentuk grafik maupun tabel.

Kata Kunci: IoMT, Raspberry pi, Sensor, Vital Sign

Abstract

Research has been carried out regarding a real-time vital sign monitoring system based on the Internet of Medical Things (IoMT). This study aims to create a system that can monitor vital signs such as heart rate, respiration, body temperature and blood pressure remotely. This research phase includes the design of hardware and software systems, testing and analysis of sensor characteristics, web server creation, system testing and direct data retrieval. This system is built by several components such as pulse heart sensor, plastic optical fiber, DS18B20 temperature sensor, MPX5050GP pressure sensor, arduino uno, XBee end device, XBee coordinator, raspberry pi, difference amplifier, power supply, IF-D92 phototransistor, Light Emitting Diode (LED) IF-E91A, DC motor and driver, stepper motor and driver and potentiometer. Then the software used on the system consists of arduino Integrated Development Environment (IDE), XCTU, python, Django, MySQL database, atom, PuTTY and Thony IDE on raspbian operation. Several sensors are used to measure vital signs in the human body with output signal processing controlled by arduino uno as Analog to Digital Converter (ADC). The sensor output signal in the form of measurement data that has been processed by arduino is sent to the raspberry pi as a server computer via XBee. The data is stored in a database and can be displayed on a web server. The measurement results show that the system can work well with the measurement results displayed on the web server in real-time and the measurement history is displayed in the form of graphs or tables.

Keyword: IoMT, Raspberry pi, Sensor, Vital Sign

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis dengan judul **“Sistem Pemantauan *Vital Sign* Secara *Real-time* Berbasis *Internet of Medical Things* (IoMT)”**. Berbagai upaya telah dilakukan penulis untuk menyelesaikan penulisan tesis ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelas magister sains. Dalam penyelesaian tesis penulis telah mengalami berbagai hambatan dan menyadari bahwa penulisan tesis ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini terjadi karena kelemahan dan keterbatasan pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Namun atas kehendaknya hambatan tersebut berhasil dilalui oleh penulis sehingga penyusunan tesis ini dapat diselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua tercinta ayahanda (**Waddu**) dan ibunda tersayang (**Maho**) yang tidak pernah memutuskan doanya untuk penulis, yang mengingatkan penulis ketika lalai dari agama, yang selalu mendukung dari kejauhan serta dukungan moril maupun materil. Semoga Allah selalu memberikan nikmat kesehatan kepadanya, Aamiin.
2. Kepada kakak-kakakku (**Nurhaidar, Nuriati, Nurlina, Asmar, Musripa dan Herlina**) dan kakak-kakak iparku (**Samsu, Sabri, Jono, Umni Sakina, Surun dan Iqbal**) yang selalu memberi dukungan dan menasehati penulis ketika banyak mengeluh serta dukungan moril maupun materil yang tak henti-hentinya.
3. Kepada keponakanku (**Kiki Rahmadhani, Alfriansyah, Farel, Fera, Fara, Radit, Reski Aulia, Isti Bihubbina, Raka Ainul Ramadhan, Danil, Dilan Prayata, Azkhan Fahmi Fawwas, Azkhaira Inara Fauziah dan Rainaya Afizah Zahwa**) yang selalu menyapa dan memberi keceriaan melalui video call.
4. Kepada keluarga besar (**Keluarga Besar Nek Sumbang**) yang selalu memberikan dukungan dan saran untuk memperbaiki dan menjaga diri serta dukungan moril dan materil kepada sang penulis.

5. Bapak **Prof. Dr. Arifin, M.T**, selaku pembimbing utama, yang telah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing penulis, memberi arahan, motivasi, dukungan moril maupun materil serta kepercayaan selama penulis melakukan penelitian, penyelesaian publikasi dan penyusunan tesis ini.
6. Ibu **Dr. Ir. Bidayatul Armynah, M.T**, selaku pembimbing pertama yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan serta saran selama penulis melakukan penelitian dan penyelesaian tesis ini.
7. Bapak **Prof. Dr. Bualkar Abdullah, M.Eng. Sc**, Ibu **Prof. Dr. Sri Suryani, DEA**, dan bapak **Prof. Dr. Tasrief Surungan, M.Sc**, sebagai tim penguji tesis fisika yang telah banyak memberikan masukan dan saran yang membangun untuk kesempurnaan tesis ini.
8. Seluruh **Bapak dan Ibu Dosen Fisika** Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin yang telah mendidik dan membagi ilmunya kepada penulis.
9. Seluruh Staf Jurusan Fisika terkhusus kepada (**Ibu Rana dan Ibu Evi**) yang telah banyak membantu penulis dalam mengurus administrasi selama ini. Ucapan terimakasih juga teruntuk Laboran Elektronika dan Instrumentasi Bapak **Syukur Polanunu, S.T** dan pak **Ahmad** selaku laboran Fisika Dasar yang telah banyak membantu penulis dalam peminjaman alat-alat dan komponen yang menunjang penelitian tesis ini.
10. Seluruh **Pegawai dan Jajaran Staf Akademik** Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin yang selalu membantu penulis dalam menyelesaikan urusan-urusan akademik.
11. Terkhusus kepada **The Duck (Kiki Ariska, S.Pd, Mahira Sudirman, S.Pd, Evayana Umar C.S.Psi dan Muh. Nur Mukminin S.H)** yang telah banyak memberi warna dikehidupan penulis. Semoga persaudaraan dan persahabatan ini selalu terjaga hingga tua kelak, Aamiin.
12. Teruntuk sahabat penulis (**Arfinna, S.Si dan Nurlina S.Si**) yang selalu siap membantu penulis dalam hal apapun. Terimakasih selalu mendengarkan keluh

kesah penulis, yang selalu memberikan solusi, selalu mau direpotkan dan paling mengerti keadaan. Semoga segala hal yang selalu diimpi-impikan terwujud dikemudian hari, Aamiin.

13. Teruntuk **My Homemates (Nur Inayah Agam C.ST, apt. Amaliah Ayustina Yusuf S.Farm, dan Khusnul Khatimah C.SP)** yang telah banyak berbagi kebersamaan di rumah, berbagi makanan, berbagi tempat tidur, berbagi kendaraan, berbagi hotspot dan masih banyak lagi yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu. Semoga kesuksesan menghampiri kita semua, Aamiin.
14. Teruntuk teman-teman seperjuangan penulis angkatan 2020 Genap (**Ainun Novianti Zahrah S.Si, M.Si, Ainun Jariah S.Si, M.Si, Ansar S.Si, Fatmawati Sudarman S.Si, M.Si, Nurul Mutmainnah Amal S.Si, M.Si, Era Jumiati M. Saleh S.Si, M.Si, Nurul Magfirawati S.Si, M.Si, Titin Fatmawati S.pd, M.Si dan Andi Anugrah Caezar tenribali S.Si, M.Si**) yang telah banyak memberi motivasi, berbagi ilmu, memberi keceriaan dan banyak membantu penulis dalam penyelesaian studi.
15. Teruntuk **Cute Girl (Evi Afrianti S.Si, Evy rahmatya S.Pi dan Jumatian S.S)** yang selalu memberi motivasi dan selalu membuat acara dadakan ketika penulis lagi sibuk-sibuk menyelesaikan tesis.
16. Terkhusus kepada adikku **Fadillah, S.Si dan Trisna Elma Danti, S.Si** yang telah banyak membantu dan saling memberi memotivasi dalam penyelesaian studi. Terimakasih juga telah membangun keceriaan ditengah-tengah kepenatan, yang selalu siap siaga ketika saya bertanya mengenai program dan yang paling penting selalu siap siaga untuk diajak ke Kudapan. Teruntuk **Muqoil Darussalam, S.Si** yang telah banyak mengajari dan membantu penulis dalam menyelesaikan program. Insya Allah bisa jadi orang sukses dan jadi kebanggaan keluarga, aamiin.
17. Teruntuk adik-adik seperjuangan **IoT** di Lab. Elektronika (**Muqoil Darussalam S.Si, Fadlan Bahar S.Si, Fadillah S.Si, Trisna Elma Danti S.Si, Evita Ardhya Ramadhani, S.Si, Rachel S.Si, Gita Iriandina CS.Si dan Wimanja**

Kombongan S.Si) yang telah banyak membantu penyelesaian program dan saling bertukar ilmu satu-sama lain. Sukses untuk kita semua.

18. Dan untuk diri saya yang masih bertahan sampai sejauh ini serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah banyak berkontribusi sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi penulis dan para pembacanya terutama yang berkaitan dengan instrumentasi sensor berbasis IoT. Akhir kata, penulis mengucapkan terimakasih banyak kepada semua pihak yang telah membantu dan semoga Allah SWT melimpahkan karunia-Nya dalam setiap amal kebaikan, aamiin.

Makassar, 15 Juli 2022

Ida Laila

DAFTAR ISI

SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Ruang Lingkup	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Vital Sign</i> (Tanda-Tanda Vital)	5
2.1.1 Detak Jantung	5
2.1.2 Pernapasan	6
2.1.3 Suhu Tubuh	7
2.1.4 Tekanan Darah	7
2.1 Sensor	8
2.2.1 <i>Pulse Heart Sensor</i>	8
2.2.2 Sensor Serat Optik	9
2.2.3 Sensor Suhu DS18B20	9
2.2.4 Sensor Tekanan MPX5050GP	10

2.3	Raspberry Pi	11
2.4	Arduino Uno	13
2.5	Teknologi ZigBee	13
2.6	<i>Web Server</i>	16
2.6.1	Python.....	16
2.6.2	<i>Django-framework</i>	17
2.6.3	MySQL	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		18
3.1	Waktu dan Tempat Penelitian.....	18
3.2	Alat dan Bahan	18
3.3	Prosedur Penelitian	19
3.3.1	Perancangan Sistem.....	19
3.3.2	Perangkaian dan Pembuatan Sensor	22
3.3.3	Pengujian dan Kalibrasi Sensor	23
3.3.4	Pembuatan <i>Web Server</i>	23
3.3.5	Pengujian dan Pengukuran Sistem	25
3.4	Diagram Alir Penelitian.....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1	Perancangan Sistem Pemantauan Tanda-Tanda Vital	27
4.2	Hasil Pengujian dan Analisis Sensor	30
4.2.1	Hasil Pengujian Modul <i>Pulse Heart Sensor</i>	30
4.2.2	Hasil Pengujian Modul Sensor Suhu DS18B20	31
4.2.3	Hasil Analisis Karakteristik Sensor Pernapasan.....	32
4.2.4	Hasil Pengujian Sensor Tekanan Darah MPX5050GP.....	39
4.3	Hasil Pembuatan <i>Web Server</i>	43
4.4	Hasil Pengujian dan Pengukuran Sistem	46
4.4.1	Hasil Pengukuran Detak jantung	47
4.4.2	Hasil Pengukuran Suhu tubuh	48
4.4.3	Hasil Pengukuran Jumlah Pernapasan	50

4.4.4 Hasil Pengukuran Tekanan Darah	51
4.5 Tampilan Hasil Pengukuran pada <i>Web Server</i>	52
4.5.1 Tampilan Hasil Pengukuran Detak Jantung	53
4.5.2 Tampilan Hasil Pengukuran Suhu Tubuh.....	54
4.5.3 Tampilan Hasil Pengukuran Pernapasan	55
4.5.4 Tampilan Hasil Pengukuran Tekanan Darah.....	55
BAB V PENUTUP	57
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Pulse heart sensor</i>	8
Gambar 2.2 Struktur serat optik	9
Gambar 2.3 Sensor suhu DS18B20	10
Gambar 2.4 Sensor tekanan MPX5050GP	10
Gambar 2.5 Modul raspberry pi	12
Gambar 2.6 Arduino uno	13
Gambar 2.7 XBee pro S2C	15
Gambar 2.8 XBee pro shield	15
Gambar 2.9 XBee adaptor	16
Gambar 3.1 Blok diagram perancangan sistem	20
Gambar 3.2 Skema sensor pernapasan menggunakan serat optik	21
Gambar 3.3 Bentuk serat optik variasi jumlah lilitan (a) 2 lilitan; (b) 2 lilitan; (c) 4 lilitan	22
Gambar 3.4 Bentuk serat optik variasi jarak (a) 0,4 cm; (b) 0,7 cm; (c) 1 cm	23
Gambar 3.5 Bentuk serat optik variasi cacatan (a) 1 cacatan; (b) 2 cacatan; (c) 3 cacatan.....	23
Gambar 3.6 Alur kerja <i>web server</i>	24
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian	26
Gambar 4.1 Rangkaian sistem pengukuran	28
Gambar 4.2 Grafik perbandingan hasil pengukuran detak jantung	31
Gambar 4.3 Grafik perbandingan hasil pengukuran suhu	32
Gambar 4.4 Pengukuran perapasan pada serat optik plastik variasi jumlah lilitan	33
Gambar 4.5 Pengukuran pernapasan menggunakan sensor serat optik plastik	35
Gambar 4.6 Pengukuran pernapasan pada serat optik plastik variasi cacatan (a) pernapasan normal; (b) pernapasan cepat; (c) pernapasan lambat.....	37
Gambar 4.7 Grafik hubungan linieritas nilai analog sensor terhadap tekanan	40

Gambar 4.8 Grafik tampilan hasil pengukuran tekanan darah pada satu responden	42
Gambar 4.9 Tampilan halaman home.....	44
Gambar 4.10 Tampilan halaman data pasien.....	44
Gambar 4.11 Tampilan halaman riwayat pasien	45
Gambar 4.12 Tampilan halaman rekam medis.....	45
Gambar 4.13 Grafik hasil pengukuran detak jantung pada satu responden	47
Gambar 4.14 Grafik hasil pengukuran detak jantung pada tiga responden.....	48
Gambar 4.15 Grafik hasil pengukuran suhu tubuh pada satu responden	49
Gambar 4.16 Grafik hasil pengukuran suhu tubuh pada tiga responden.....	50
Gambar 4.17 Grafik tegangan keluaran sensor serat optik plastik	51
Gambar 4.18 Grafik hasil pengukuran tekanan darah	52
Gambar 4.19 Tampilan grafik data pengukuran detak jantung pada <i>web server</i> ..	53
Gambar 4.20 Tampilan tabel data pengukuran detak jantung pada <i>web server</i>	53
Gambar 4.21 Tampilan grafik data pengukuran suhu tubuh pada <i>web server</i>	54
Gambar 4.22 Tampilan tabel data pengukuran suhu tubuh pada <i>web server</i>	54
Gambar 4.23 Tampilan grafik data pengukuran jumlah pernapasan pada <i>web server</i>	55
Gambar 4.24 Tampilan tabel data pengukuran jumlah pernapasan pada <i>web server</i>	55
Gambar 4.25 Tampilan grafik pengukuran tekanan darah pada <i>web server</i>	56

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi raspberry tipe A dan tipe B	12
Tabel 2.2 Perbandingan karakteristik Wifi, <i>Bluetooth</i> dan ZigBee.....	14
Tabel 4.1 Hasil analisis karakteristik sensor serat optik plastik variasi jumlah lilitan	34
Tabel 4.2 Hasil analisis karakteristik sensor serat optik plastik variasi jarak lilitan	36
Tabel 4.3 Hasil analisis karakteristik sensor serat optik plastik variasi cacatan	38
Tabel 4.4 Perbandingan hasil pengukuran tekanan darah sistolik dan diastolik menggunakan sensor dengan alat pembanding tensimeter digital	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data hasil pengukuran	67
Lampiran 1.1 Data kalibrasi <i>pulse heart sensor</i>	67
Lampiran 1.2 Data kalibrasi sensor suhu tubuh ds18b20.....	70
Lampiran 1.3 Data pengukuran sensor pernapasan normal pada variasi jumlah lilitan	73
Lampiran 1.4 Pengolahan data hasil analisis karakteristik sensor serat optik plastik variasi jumlah.....	76
Lampiran 1.5 Data pengukuran sensor pernapasan normal pada variasi jarak lekukan 0,4 cm, 0,7 cm dan 1 cm.....	77
Lampiran 1.6 Pengolahan data hasil analisis karakteristik sensor serat optik plastik variasi jarak	80
Lampiran 1.7 Data pengukuran sensor pernapasan normal pada variasi cacatan serat optik.....	81
Lampiran 1.8 Data pengukuran sensor pernapasan cepat pada variasi cacatan serat optik.....	85
Lampiran 1.9 Data pengukuran sensor pernapasan lambat pada variasi cacatan serat optik.....	88
Lampiran 1.10 Pengolahan data hasil analisis karakteristik sensor serat optik plastik variasi cacatan	91
Lampiran 1.11 Data kalibrasi sensor tekanan MPX5050GP.....	94
Lampiran 1.12 Data contoh pengukuran tekanan darah pada satu responden	95
Lampiran 1.13 Data pengukuran detak jantung pada satu responden waktu pagi hari, siang hari dan sore hari	97
Lampiran 1.14 Data pengukuran detak jantung pada tiga responden waktu pagi hari.....	98
Lampiran 1.15 Data pengukuran suhu tubuh pada satu responden waktu pagi hari, siang hari dan sore hari	99

Lampiran 1.16 Data pengukuran suhu tubuh pada tiga responden waktu pagi hari.....	100
Lampiran 1.17 Data pengukuran pernapasan pada satu responden.....	101
Lampiran 1.18 Data pengukuran tekanan darah pada <i>web server</i>	102
Lampiran 2 Dokumentasi rangkaian	104
Lampiran 3 Dokumentasi pengambilan data.....	104

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kesehatan merupakan kebutuhan utama bagi setiap manusia untuk dapat melakukan aktivitas sehari-hari. Kondisi kesehatan pada manusia dapat ditentukan melalui pemeriksaan *vital sign* (tanda-tanda vital)^[1]. Populasi penduduk di Indonesia terus berkembang, namun perawatan dan pemantauan kesehatan masih menjadi masalah yang serius. Berdasarkan data dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia pada tahun 2019, jumlah tenaga kesehatan sebanyak 1.182.024 orang tidak sebanding dengan populasi penduduk 268.074.565 jiwa^[2]. Hal ini membuat sistem pelayanan kesehatan menjadi tidak efektif dan efisien. Selain itu, kondisi pandemi saat ini juga menjadi salah satu permasalahan yang cukup serius. Pemberlakuan *physical distancing* (pembatasan jarak) membuat masyarakat sulit melakukan pemeriksaan kesehatan di rumah sakit^[3]. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem pemantauan kesehatan yang berkaitan dengan pemeriksaan tanda-tanda vital melalui jarak jauh secara *real-time*.

Perkembangan sensor terkait perawatan kesehatan dan teknologi jaringan komunikasi telah berhasil mendorong munculnya pengukuran dan pemantauan kesehatan berbasis *Internet of Things* (IoT)^[4,5]. Teknologi ini memiliki kemampuan untuk mengirim data melalui jaringan tanpa memerlukan adanya interaksi dari manusia ke manusia atau dari manusia ke komputer^[6]. Dalam penerapannya, IoT dapat mengidentifikasi, menemukan, melacak, serta dapat memantau objek dari jarak jauh secara otomatis dan *real-time*^[7]. Teknologi IoT telah banyak diterapkan diberbagai sektor industri layanan kesehatan atau yang lazim dikenal dengan *Internet of Medical Things* (IoMT)^[8]. IoMT merupakan sebuah platform cerdas yang terdiri dari sensor dan perangkat elektronik yang digunakan untuk memperoleh sinyal biomedis dari pasien. Perangkat ini terdiri dari prosesor untuk memproses sinyal biomedis, perangkat jaringan untuk mengirimkan data biomedis melalui jaringan, unit

penyimpanan sementara atau permanen, serta platform visualisasi dengan skema kecerdasan buatan untuk pengambilan keputusan atau diagnosis oleh dokter^[9]. Sistem pemantauan kesehatan melalui jarak jauh berbasis IoMT merupakan suatu alternatif yang saat ini telah banyak dikembangkan oleh beberapa peneliti untuk meningkatkan sistem pelayanan kesehatan di rumah sakit.

Penelitian terkait pemantauan kesehatan melalui jarak jauh telah dilakukan oleh beberapa peneliti, seperti yang telah dilakukan oleh Li, dkk. (2017) mengenai sistem pemantauan penyakit jantung berbasis IoT untuk layanan kesehatan. Sistem ini dapat memantau tanda-tanda fisik pasien seperti tekanan darah, EKG, SpO2, dan posisi pasien secara terus menerus. Hasil pemantauan dapat ditampilkan pada aplikasi android dengan transmisi data melalui protokol komunikasi *Bluetooth*^[10]. Kalamkar, dkk. (2018) mengenai sistem pemantauan kesehatan manusia menggunakan IoT dan raspberry pi 3. Sistem ini dapat mengukur beberapa parameter kesehatan seperti suhu tubuh, detak jantung, dan posisi pasien dengan hasil pemantauan ditampilkan pada *web server*^[11]. Penelitian Zouka dan Hosni (2019) tentang sistem pemantauan layanan kesehatan dengan komunikasi IoT. Penelitian ini memanfaatkan jaringan sensor nirkabel biomedis dengan mengintegrasikan kecerdasan buatan seperti jaringan saraf dan sistem fuzzy sebagai model perawatan kesehatan pintar. Sistem ini menggunakan mikrokontroler untuk berkomunikasi dengan berbagai sensor seperti sensor suhu, denyut nadi dan tekanan darah dengan transmisi data melalui modul *Global System for Mobile Communication (GSM)*^[12]. Penelitian Sheela dan Varghese (2020) terkait sistem pemantauan kesehatan berbasis *machine learning* dengan pengontrolan arduino uno yang kemudian dihubungkan dengan beberapa sensor untuk mendeteksi lima parameter pengukuran pada tubuh yaitu *electrocardiogram (ECG)*, denyut nadi, tekanan darah, suhu tubuh dan posisi pasien. Hasil pemantauan dapat ditampilkan pada *webpage* dengan memanfaatkan raspberry pi 3 sebagai komputer server^[13]. Shewale dan Sankpal (2020) melakukan penelitian terkait sistem perawatan kesehatan berbasis IoT. Sistem ini dapat mengukur beberapa parameter kesehatan seperti detak jantung, suhu tubuh dan tekanan darah dengan hasil

pemantauan dapat ditampilkan pada *website thing speak*^[14]. Beberapa penelitian di atas memiliki kelemahan seperti pemilihan sensor kurang tepat karena sensor yang digunakan memiliki sensitivitas yang rendah, transmisi data dari mikrokontroler ke raspberry pi masih menggunakan komunikasi *Bluetooth* dan beberapa peneliti melakukan pengujian sistem pemantauan kesehatan pasien didasarkan pada simulasi untuk menentukan kinerja sistem IoT. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dibuat sistem pemantauan tanda-tanda vital seperti detak jantung, jumlah pernapasan, suhu tubuh dan tekanan darah berbasis IoMT dengan menggunakan raspberry pi sebagai komputer server serta transmisi data dari mikrokontroler ke raspberry pi menggunakan komunikasi XBee. Pengujian sistem menggunakan beberapa perangkat yang telah terintegrasi dengan sensor yang dapat mendeteksi parameter vital pada tubuh manusia serta pengukuran pernapasan menggunakan sensor serat optik. Data hasil pengukuran kemudian disimpan kedalam database dan dapat ditampilkan pada *web server* secara *real-time*.

Pada penelitian ini akan dibuat sistem pemantauan tanda-tanda vital seperti detak jantung, jumlah pernapasan, suhu tubuh, dan tekanan darah. Pengukuran tanda-tanda vital diperoleh dengan mengintegrasikan beberapa sensor kesehatan seperti *pulse heart sensor*, sensor serat optik untuk mengukur pernapasan, sensor suhu tubuh DS18B20 dan sensor tekanan MPX5050GP. Data hasil pengujian sensor kemudian diolah sehingga dapat ditampilkan pada *web server*. Adapun kebaruan dari penelitian ini yaitu sistem ini menggunakan XBee sebagai protokol komunikasi antara mikrokontroler dengan raspberry pi dan penggunaan serat optik konfigurasi spiral sebagai sensor untuk mengukur pernapasan. Keunggulan dari sistem ini adalah pemantauan tanda-tanda vital dapat dilakukan melalui jarak jauh dengan pengukuran yang *real-time*, riwayat hasil pemeriksaan dapat dilihat kapanpun dan dimanapun, sistem pemeriksaan menjadi lebih efektif dan dapat mengurangi biaya operasional.

I.2 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi pada pengukuran tanda-tanda vital tubuh seperti detak jantung, jumlah pernapasan, suhu tubuh dan tekanan darah menggunakan beberapa sensor dengan raspberry pi 4 model B sebagai komputer server. Pemantauan tanda-tanda vital dapat dilakukan melalui jarak jauh secara *real-time* dengan hasil pengukuran dapat ditampilkan pada *web server* serta analisis data hasil pengukuran.

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini diantaranya:

1. Merancang dan membuat sistem pemantauan tanda-tanda vital secara *real-time* berbasis IoMT.
2. Membuat *web server* sistem pemantauan tanda-tanda vital secara *real-time* berbasis IoMT.
3. Menguji dan mengukur sistem pemantauan tanda-tanda vital secara *real-time* berbasis IoMT.
4. Menganalisis data hasil pengukuran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Vital Sign (Tanda-Tanda Vital)

Tanda-tanda vital dalam dunia medis merupakan parameter utama yang digunakan untuk menentukan status kesehatan seseorang^[15]. Pemeriksaan tanda-tanda vital meliputi pemeriksaan detak jantung, pernapasan, suhu tubuh dan tekanan darah^[16]. Pemeriksaan tanda-tanda vital penting dilakukan tenaga medis terutama dalam mendiagnosis suatu penyakit yang diderita oleh pasien dan untuk menentukan perawatan medis yang sesuai^[17].

2.1.1 Detak Jantung

Detak jantung merupakan pemeriksaan pembuluh nadi berdasarkan jumlah detak jantung per satuan waktu yang biasanya dinyatakan dalam satuan *beats perminute* (bpm)^[17,18]. Pengukuran detak jantung dapat digunakan sebagai parameter penentu status kesehatan seseorang. Detak jantung dapat diukur secara konvensional dengan menggunakan stetoskop atau menempatkan jari di atas pembuluh arteri untuk merasakan denyut yang ditimbulkan selama kurang lebih 1 menit. Namun hasil pengukuran secara konvensional kurang akurat karena ketepatan pengukuran tergantung fokus dan kepekaan indra pemeriksa. Kemudian *electrocardiograf* (ECG) juga merupakan alat ukur detak jantung yang banyak digunakan di rumah sakit, namun alat ini hanya dapat digunakan di lingkungan rumah sakit^[19].

Detak jantung dapat diukur pada beberapa bagian tubuh seperti pergelangan tangan, siku bagian dalam, dan sisi leher bagian bawah. Detak jantung normal untuk orang dewasa berkisar antara 60 - 100 bpm dalam kondisi istirahat^[20]. Jika jumlah detak jantung di bawah atau di atas rata-rata, maka ada kemungkinan organ jantung mengalami masalah^[21]. Namun ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi frekuensi detak jantung pada seseorang seperti umur, jenis kelamin, suhu lingkungan sekitar, aktivitas fisik, tingkat emosi, berat badan, dan tingkat kebugaran^[22].

2.1.2 Pernapasan

Pernapasan merupakan salah satu indikator awal yang digunakan untuk menilai ketidakstabilan fisiologis tubuh. Proses pernapasan pada manusia terbagi menjadi dua yaitu inspirasi (menarik napas) dan ekspirasi (menghembuskan napas). Proses inspirasi terjadi ketika otot diafragma berkontraksi. Saat otot diafragma berkontraksi, rongga dada akan mengembang sehingga tekanan dalam rongga dada akan berkurang dan mengakibatkan udara masuk ke paru-paru. Pada saat mengeluarkan napas otot diafragma akan melemas yang mengakibatkan tekanan di dalam rongga dada menjadi naik dan udara akan tertekan keluar^[23].

Laju pernapasan didefinisikan sebagai jumlah napas yang dilakukan dalam satuan *rate perminute* (rpm)^[17]. Jumlah napas orang dewasa berkisar antara 12 hingga 20 kali permenit pada kondisi istirahat^[20]. Pernapasan terbagi menjadi dua yaitu pernapasan hidung dan pernapasan perut. Laju pernapasan bervariasi tergantung pada kebutuhan oksigen, misalnya jika tubuh mulai beristirahat maka laju pernapasan akan menurun dan apabila sedang berolahraga maka laju pernapasan akan meningkat. Laju pernapasan berkorelasi dengan komposisi gas dalam darah, seperti pernapasan cepat dapat terjadi karena adanya tingkat oksigen yang rendah dan tingkat karbon dioksida tinggi. Ini berarti bahwa jika terjadi infeksi pada saluran pernapasan maka laju pernapasan akan meningkat yang disebabkan oleh karbon dioksida yang meningkat. Laju pernapasan abnormal juga dapat disebabkan oleh kondisi medis tertentu yang memerlukan perhatian medis seperti gangguan paru-paru kronis, *pneumonia*, pembusuan pasien, dan *sleep apnea*^[24].

Pengukuran laju pernapasan dapat dilakukan secara konvensional dengan melihat kembang-kempis perut pasien atau dengan menggunakan alat spirometer yang diukur dalam waktu 1 menit. Namun pengukuran dengan metode seperti ini belum cukup akurat serta penggunaan alat spirometer dapat meningkatkan tekanan di dalam kepala, dada, perut dan mata ketika bernapas sehingga dapat memberi efek samping terutama bagi pasien yang memiliki riwayat tekanan darah^[15].

2.1.3 Suhu Tubuh

Suhu tubuh merupakan salah satu parameter pemeriksaan kesehatan pada manusia. Suhu tubuh menunjukkan perbandingan antara produksi dan pengeluaran panas dari tubuh yang dinyatakan dalam satuan derajat^[25]. Secara umum suhu normal pada tubuh manusia berbeda-beda yaitu berkisar antara 36°C - 38°C^[26].

Suhu tubuh dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti aktivitas, suhu lingkungan dan usia. Suhu abnormal tubuh dapat disebabkan oleh adanya peningkatan suhu melebihi batas suhu normal yang disebut dengan hipertermia atau penurunan suhu dibawah batas suhu normal disebut hipotermia^[20]. Suhu tubuh dapat diukur menggunakan termometer dengan melakukan pemeriksaan di beberapa bagian tubuh seperti rongga mulut, telinga (timpani), *axillary* (ketiak), dan permukaan kulit misalnya dahi^[16].

2.1.4 Tekanan Darah

Tekanan darah merupakan ukuran yang menentukan seberapa kuat jantung untuk memompa darah keseluruh tubuh dalam satuan *millimeter mercury* (mmHg). Tekanan darah seseorang meliputi tekanan darah sistolik (jantung berkontraksi) dan tekanan darah diastolik (jantung relaksasi). Tekanan darah rata-rata untuk orang dewasa adalah 120/80 mmHg^[20]. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tekanan darah manusia seperti usia, jenis kelamin, berat badan, aktivitas, stress, penggunaan obat-obatan dan lainnya^[27].

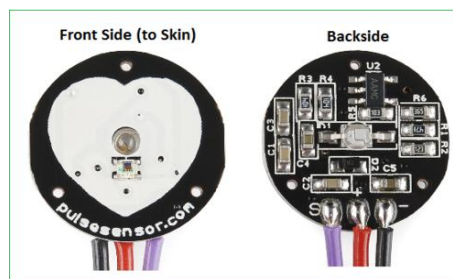
Pengukuran tekanan darah dapat dilakukan secara konvensional dengan menggunakan stetoskop dan manometer air raksa^[28]. Tekanan darah sistolik dan diastolik dapat diukur dengan cara mendengarkan bunyi yang timbul pada pembuluh arteri atau bunyi korotkof. Bunyi korotkof terjadi akibat timbulnya aliran turbulen dalam pembuluh arteri yang disebabkan oleh penekanan manset. Namun pengukuran tekanan darah dengan cara ini memiliki keterbatasan seperti hasil pengukuran bergantung pada kepekaan indra pendengaran pemeriksa^[29].

2.2 Sensor

Sensor merupakan perangkat yang digunakan untuk mengubah suatu besaran fisika atau kimia menjadi besaran listrik sehingga dapat dianalisa dengan rangkaian listrik tertentu^[30]. Penggunaan sensor telah banyak diaplikasikan diberbagai bidang salah satunya pada bidang kesehatan sebagai alat pemantauan^[31]. Sensor kesehatan yang saat ini banyak dimanfaatkan sebagai alat pemantauan kesehatan diantaranya sensor denyut jantung, sensor pernapasan, sensor suhu tubuh dan sensor tekanan darah.

2.2.1 *Pulse Heart Sensor*

Pulse heart sensor pada dasarnya merupakan alat medis yang berfungsi untuk memantau kondisi detak jantung pada manusia^[32]. Sensor ini bekerja dengan cara memanfaatkan cahaya. Saat sensor diletakkan dipermukaan kulit, sebagian besar cahaya diserap atau dipantulkan oleh organ dan jaringan, namun sebagian cahaya akan melewati jaringan tubuh. Ketika jantung memompa darah maka setiap denyut yang dihasilkan membangkitkan gelombang *pulse* yang bergerak disepanjang arteri dan menjalar ke pembuluh kapiler dimana sensor dipasang^[33]. Rangkaian dasar dari sensor detak jantung dibangun oleh fotodiode dan *Light Emitting Diode* (LED) dengan bentuk fisik permukaan sensor berbentuk hati, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.

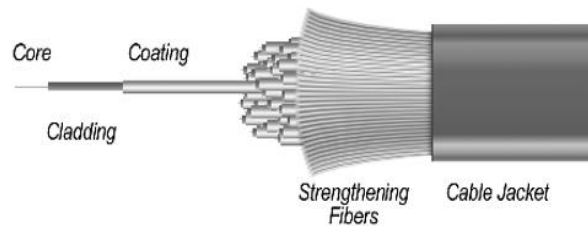


Gambar 2.1 *Pulse heart sensor*^[33]

Sensor detak jantung memiliki 3 pin yang terdiri dari pin *ground*, data masukan atau keluaran dan VCC. Sensor ini dapat bekerja dengan baik pada tegangan 3,3 V sampai 5 V pada mikrokontroler^[33,34].

2.2.2 Sensor Serat Optik

Serat optik merupakan media transmisi yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal cahaya sebagai pembawa informasi yang terbuat dari kaca murni atau plastik yang panjang dan diameternya sebesar rambut manusia^[35]. Serat optik memiliki beberapa keunggulan antara lain tahan terhadap radiasi dan interferensi elektromagnetik, tahan terhadap suhu tinggi, pengiriman data yang cepat, dan bebas dari korosi. Selain itu, serat optik juga memiliki ukuran yang sangat kecil dan ringan sehingga dapat dimanfaatkan dalam bidang medis sebagai sensor untuk memantau kesehatan secara *real-time*^[36,37]. Struktur serat optik terdiri dari 3 bagian yaitu *core* (inti), *cladding* (selubung) dan *coating* (mantel atau pelindung) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2^[38].



Gambar 2.2 Struktur serat optik^[38]

Inti serat terbuat dari bahan *silika* atau *polymer*, dimana cahaya ditransmisikan melalui inti. Selubung merupakan bagian terluar dari inti yang terbuat dari bahan *silika* dan memiliki fungsi yaitu dapat mengurangi hamburan cahaya yang keluar dari permukaan inti dan merambat ke udara sekitar. Jacket merupakan bagian terluar dari serat optik yang berhubungan langsung dengan lingkungan luar, yang berfungsi sebagai pelindung dari kerusakan^[35].

2.2.3 Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu DS18B20 merupakan suatu komponen elektronika yang dapat menangkap perubahan suhu lingkungan, kemudian mengubah perubahan suhu menjadi besaran listrik^[39]. Sensor suhu DS18B20 pertama kali dikeluarkan oleh

Dallas Semiconductor yang berfungsi untuk mengukur suhu tubuh manusia^[40]. Modul sensor suhu DS18B20 ditunjukkan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Sensor suhu DS18B20^[41].

Sensor DS18B20 dapat bekerja pada tegangan 3 V sampai 5 V dan memiliki kemampuan untuk mengukur suhu pada kisaran -55°C hingga 125°C dan bekerja secara akurat dengan tingkat kesalahan $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada kisaran suhu -10°C sampai 85°C ^[42]. Keluaran dari sensor ini berupa data digital dan memiliki 3 pin yang ditandai dengan kode warna pada kabel dimana warna hitam (*ground*), merah (VCC) dan kabel kuning (data)^[40].

2.2.4 Sensor Tekanan MPX5050GP

Sensor tekanan tersedia dalam tiga konfigurasi yang memungkinkan pengukuran tekanan absolut, diferensial, dan *gauge*. Tekanan absolut, seperti tekanan barometer yang diukur dengan ruang vakum referensi. Ruang tersebut terletak diluar atau didalam sensor. Tekanan diferensial seperti penurunan tekanan dalam *flowmeter* diukur dengan mengaplikasikan tekanan pada sisi berlawanan dari diafragma secara bersamaan. Kemudian tekanan *gauge* diukur dengan tekanan referensi seperti pengukuran tekanan darah yang dilakukan pada tekanan atmosfer^[43].



Gambar 2.4 Sensor tekanan MPX5050GP^[44]

Sensor MPX5050GP adalah suatu rangkaian transduser piezoelektrik yang terbuat dari silikon monolitik. Sensor MPX5050GP dirancang untuk mengukur tekanan pada proyek yang menggunakan mikrokontroler. Sensor MPX5050GP menggunakan empat piezoresistor (resistor yang berbahan material piezoresistan) pada membran sensor. Keempat piezoresistor tersebut dirangkai menggunakan prinsip jembatan *Wheastone* dengan membran berbentuk persegi (2 piezoresistor transversal dan 2 piezoresistor longitudinal)^[43]. Adapun modul sensor MPX5050GP ditunjukkan pada Gambar 2.4.

Sensor MPX5050GP telah terintegrasi dengan pengkondisi sinyal dan op-amp internal sehingga keluarannya dapat langsung dihubungkan dengan konverter analog ke digital. Adapun spesifikasi dari sensor MPX5050GP adalah sebagai berikut^[45]:

- a. Tegangan suplai sebesar 5 V *Direct Current* (DC);
- b. *Range* tekanan dari 0 sampai 50 kPa atau 375 mmHg;
- c. Sensitivitas sensor sebesar 90 mV/kPa atau 12 mV/mmHg.

2.3 Raspberry Pi

Raspberry pi merupakan sebuah modul komputer tunggal berukuran kecil yang memiliki masukan dan keluaran digital seperti papan mikrokontroler. Raspberry pi biasanya digunakan sebagai komputer server. Jika dibandingkan antara papan raspberry pi dengan mikrokontroler lainnya, papan raspberry pi memiliki koneksi untuk tampilan berupa televisi atau monitor laptop serta koneksi *Universal Serial Bus* (USB) untuk *keyboard* dengan *mouse* yang tidak dimiliki oleh papan mikrokontroler lainnya^[46,47]. Raspberry pi dikembangkan oleh yayasan Nirlaba Raspberry Pi Foundation di Inggris^[48]. Modul raspberry pi ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Modul raspberry pi 4 model B^[49].

Raspberry pi menggunakan *system on a chip* (SoC) dengan *Central Processing Unit* (CPU), *Graphics Processing Unit* (GPU), dan memori yang tergabung dalam satu kesatuan *Integrated Circuit* (IC). Saat ini raspberry pi telah tersedia dalam dua versi yaitu model A dan model B. Perbedaannya terdapat pada *port* USB dan *port ethernet*. Pada model A tidak tersedianya *port ethernet* dan hanya tersedia 1 *port* USB, sedangkan pada model B tersedia *port ethernet* dan lebih dari satu *port* USB. Spesifikasi raspberry tipe A dan tipe B ditunjukkan pada Tabel 2.1^[50]. Sistem ini berjalan di bawah lingkungan Linux yang memungkinkan prosesor *Quad-Core ARM Cortex* sehingga dapat menjalankan GNU/Linux secara lengkap, termasuk sistem operasi *snappy ubuntu core* dan *raspbian*^[51].

Tabel 2.1 Spesifikasi raspberry tipe A dan tipe B

Technical Features	Model A	Model B
5Oc (System on Chip)	Broadcom BCM2835	
CPU	700 MHz Low power ARM1176JZ-F	
GPU	Dual Core VIDEoCore IV multimedia Co-processor	
Memory	256MB SDRAM	512MB SDRAM
USB2.0	1	2
VIDEo Out	Composite RCA (PAL and NTSC), HDMI	
Audio Out	3,5 mm jack, HDMI	
Storage	SD/MMC/SDIO card slot	
Network	No Port	RJ45 Ethernet
Perpheral Connectors	8xGPIO, UART, 12C bus, SPI bus	
Power Source	8xGPIO, UART, 12C bus, SPI bus	

2.4 Arduino Uno

Arduino uno merupakan papan mikrokontroler yang menggunakan mikrokontroler ATmega328, arduino uno memiliki konfigurasi 14 pin I/O (*Input Output*) digital, yang sebagian 6 pin juga berfungsi sebagai *Pulse Widht Modulator* (PWM) untuk keluaran analog, 6 pin sebagai masukan analog, 1 pin RX-TX dan 1 pin *Analogue Reference* (AREF)^[52]. Arduino menggunakan firmware ATmega16U2 yang diprogram sebagai *USB to serial converter* untuk komunikasi serial ke komputer melalui *port* USB. Perangkat arduino terdiri dari 2 yaitu perangkat lunak dan perangkat keras. Arduino uno menggunakan perangkat lunak disebut arduino IDE yang terdiri dari beberapa perintah untuk menjalankan program arduino dengan bahasa pemrograman C. Perangkat ini bersifat *open source* dan terbagi menjadi tiga bagian yaitu *command area*, *text area* serta *message window area*^[53]. Perangkat keras arduino uno ditunjukkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Arduino uno^[54].

Prinsip kerja arduino uno adalah menerima isyarat masukan kemudian mengubah dan memberikan isyarat keluaran berupa sinyal keluaran. Pada arduino uno terdapat *Analog to Digital Converter* (ADC) yang berfungsi untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital. Isyarat keluaran arduino yang diperoleh dalam bentuk tegangan kemudian dikirim ke komputer melalui USB^[53].

2.5 Teknologi ZigBee

Nama ZigBee sebenarnya merupakan kependekan dari dua kata yaitu *zigzag* dan *bee*, yang berarti lebah terbang dengan perubahan arah. Namun secara umum, ZigBee merupakan sebuah spesifikasi untuk protokol komunikasi tingkat tinggi yang

mengacu pada standar IEEE 802.15.4. Keunggulan dari ZigBee adalah rendahnya daya yang dibutuhkan karena biasa digunakan dalam jaringan berskala kecil (personal), sehingga dapat digunakan sebagai perangkat pengatur secara nirkabel, dengan penggunaan sumber dayanya yang rendah. Walaupun area yang dicakup (coverage area) tidak begitu luas, teknologi ini sesuai untuk diimplementasikan pada peralatan nirkabel yang berada di dalam rumah, perkantoran, taman kota, dan lain-lain^[55].

ZigBee memiliki transfer rate sekitar 250 Kbps, yang lebih rendah dibandingkan dengan *Wireless Personal Area Networks* (WPANs) lain seperti *Bluetooth* yang mempunyai transfer rate 1 Mbps. Sedangkan jarak atau range kerja dari ZigBee sendiri sekitar 76 m, dimana jaraknya lebih jauh dibandingkan dengan *Bluetooth*. Adapun perbandingan karakteristik wifi, *Bluetooth* dan ZigBee ditunjukkan pada Tabel 2.2^[56].

Tabel 2.2. Perbandingan karakteristik Wifi, *Bluetooth* dan ZigBee

Features	WiFi IEEE 802.11	Bluetooth IEEE 802.15.1	ZigBee IEEE 802.15.4
Application	Wireless LAN	Cable Replacement	Control and Monitor
Frequency Bands	2,4GHz	2,4GHz	2,4GHz, 868MHz, 915MHz
Battery Life (Days)	0,1-5	1-7	100-7.000
Nodes per Network	30	7	65.000
Bandwidth	2-100Mbps	1Mbps	20-250Kbps
Range (Meter)	1-100	1-10	1-75 and more
Topology	Tree	Tree	Star, Cluster Tree, and Mesh
Standby Current	20 * 10 ⁻³ amps	200 * 10 ⁻⁶ amps	3 * 10 ⁻⁶ amps
Memory	100KB	100KB	32-60KB

XBee merupakan sebuah modul komunikasi radio yang diproduksi oleh *Digi International*. Modul XBee dapat melakukan komunikasi antara satu dengan lainnya tanpa melalui kabel. Modul XBee cocok digunakan pada aplikasi-aplikasi yang memerlukan komunikasi antar modul yang tersebar, namun memiliki kesulitan apabila dihubungkan melalui kabel^[57].

XBee diproduksi dalam varian XBee reguler dan XBee Pro pada frekuensi 2,4 GHz. Perbedaan dari keduanya terletak pada jarak jangkauan antara 2 modul XBee. Modul XBee pro menggunakan daya pancar yang lebih besar, sehingga jarak jangkauan XBee pro lebih jauh dibandingkan dengan XBee reguler. XBee pro juga memiliki harga yang lebih mahal daripada XBee reguler. Selain frekuensi 2,4 GHz, XBee juga mengeluarkan varian dengan frekuensi 900 MHz dan frekuensi 868 MHz^[57]. Penelitian ini akan menggunakan modul XBee pro S2C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 XBee pro S2C^[58].

Modul yang digunakan untuk menghubungkan XBee pro S2C ke arduino disebut XBee pro shield. Modul ini telah dilengkapi pin-pin XBee yang dapat terhubung pada arduino tanpa bantuan kabel jumper. Tegangan XBee shield disuplai dari arduino sebesar 5 V dan kemudian dikeluarkan sebesar 3,3 V oleh XBee shield ke modul XBee^[59]. Modul XBee pro shield ditunjukkan pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 XBee pro shield^[60].

Pada penelitian ini juga digunakan XBee adaptor untuk menghubungkan modul XBee dengan USB serial. Pada dasarnya adalah adaptor USB ke serial yang

dirancang khusus untuk bekerja dengan modul dari seri XBee dan perangkat lunak XCTU. Adaptor ini menggunakan *chip* konverter USB-UART FTDI232 untuk memastikan transmisi data yang stabil^[61]. Modul XBee adaptor ditunjukkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 XBee adaptor^[62].

2.6 Web Server

Web server adalah sebuah *software* yang memberikan layanan berbasis data dan berfungsi menerima permintaan dari *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) atau *Hypertext Transfer Protocol Secure* (HTTPS) pada pengguna yang dikenal dengan *web browser*. Dalam bentuk sederhana *web server* dapat mengirim data *Hypertext Markup Language* (HTML) melalui permintaan *web browser* sehingga tampilan dapat terlihat seperti pada umumnya yaitu sebuah tampilan *website*^[63].

2.6.1 Python

Python adalah salah satu bahasa pemrograman yang dapat melakukan eksekusi sejumlah instruksi multiguna secara langsung dengan metode orientasi objek serta menggunakan semantik dinamis untuk memberikan tingkat keterbacaan sintaks. Python juga dapat disebut sebagai suatu bahasa pemrograman yang mampu menggabungkan kapabilitas dan sintaks kode yang sangat jelas dan dilengkapi dengan fungsi pustaka standar yang besar serta komprehensif. Walaupun python tergolong bahasa pemrograman dengan level tinggi, namun python dirancang sedemikian rupa agar mudah dipelajari dan dipahami. Python banyak diaplikasikan pada berbagai macam aplikasi termasuk Microsoft Windows^[64].

2.6.2 Django-framework

Django-framework adalah sebuah kerangka yang didesain untuk membuat aplikasi web dinamis dengan bahasa pemrograman python. Django memiliki kerangka kerja dengan konsep *Model View Controller* (MVC). Keunggulan dari framework ini adalah memiliki panel admin atau halaman pengelolaan admin secara otomatis, memiliki *library* untuk melakukan otomatisasi proses pembuatan fungsi baru tanpa harus secara manual menulis kode baru, serta digunakan dengan *Object Relation Mapper* (ORM) yang membantu pengembangan dalam berinteraksi dengan *database* dan dapat secara otomatis mengirim data ke *database*^[65].

2.6.3 MySQL

MySQL merupakan perangkat lunak *database open source* yang paling populer di dunia. MySQL menjadi pilihan utama bagi banyak pengembang *software* dan aplikasi karena sintaksnya yang mudah dipahami, didukung program-program umum seperti C, C++, Java, PHP, dan Python. Pengguna MySQL tidak hanya sebatas pengguna perorangan maupun perusahaan kecil, namun perusahaan seperti Yahoo, Google, Nokia, Youtube, Wordpress juga menggunakan DBMS MySQL^[66].

MySQL adalah *Relational Database Management System* (RDBMS) yang didistribusikan secara gratis di bawah lisensi *General Public License* (GPL). Dimana setiap orang bebas untuk menggunakan MySQL, namun tidak boleh dijadikan produk turunan yang bersifat komersil. MySQL sebenarnya merupakan turunan salah satu konsep utama *database* sejak lama, yaitu *Structured Query Language* (SQL). SQL adalah sebuah konsep pengoperasian *database* terutama untuk pemilihan atau seleksi dan pemasukan data yang memungkinkan pengoperasian data dikerjakan dengan mudah secara otomatis. Keadaan suatu sistem *database* dapat diketahui dari *optimizer* kerjanya dalam melakukan proses perintah-perintah SQL yang dibuat oleh pengguna maupun program-program aplikasinya. Sebagai *database server*, MySQL dapat dikatakan lebih unggul dibandingkan *database server* lainnya dalam *Query data*^[66].