

**TUGAS AKHIR – KI141502**

**IMPLEMENTASI KOMPRESI ADAPTIVE MENGGUNAKAN METODE HEATSHRINK UNTUK PENGIRIMAN DATA PADA WIRELESS SENSOR NETWORK BERBASIS ZIGBEE**

**MUHAMAD HENDRI FEBRIANSYAH**

**NRP 05111440000036**

Dosen Pembimbing I

Waskitho Wibisono, S.Kom.,M.Eng.,Ph.D.

Dosen Pembimbing II

Ir. Muchammad Husni, M.Kom.

DEPARTEMEN INFORMATIKA

FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN KOMUNIKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



**TUGAS AKHIR – KI141502**

**IMPLEMENTASI KOMPRESI ADAPTIVE MENGGUNAKAN METODE HEATSHRINK UNTUK PENGIRIMAN DATA PADA WIRELESS SENSOR NETWORK BERBASIS ZIGBEE**

**MUHAMAD HENDRI FEBRIANSYAH**

**NRP 05111440000036**

**Dosen Pembimbing I**

**Waskitho Wibisono, S.Kom.,M.Eng.,Ph.D.**

**Dosen Pembimbing II**

**Ir. Muchammad Husni, M.Kom.**

**DEPARTEMEN INFORMATIKA**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN KOMUNIKASI**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

****

**UNDERGRADUATE THESES – KI141502**

**IMPLEMENTATION OF ADAPTIVE COMPRESSION USING HEATSHRINK METHOD FOR DATA SHIPPING ON ZIGBEE WIRELESS SENSOR NETWORK BASED**

**MUHAMAD HENDRI FEBRIANSYAH**

**NRP 05111440000036**

**First Advisor**

**Waskitho Wibisono, S.Kom.,M.Eng.,Ph.D.**

**Second Advisor**

**Ir. Muchammad Husni, M.Kom.**

**INFORMATICS DEPARTEMENT**

**FACULTY OF INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGY**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

# LEMBAR PENGESAHAN

**IMPLEMENTASI KOMPRESI ADAPTIVE MENGGUNAKAN METODE HEATSHRINK UNTUK PENGIRIMAN DATA PADA WIRELESS SENSOR NETWORK BERBASIS ZIGBEE**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Komputer

pada

Bidang Studi Komputasi Berbasis Jaringan

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Informatika

Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**MUHAMAD HENDRI FEBRIANSYAH**

**NRP: 051114410000036**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Waskitho Wibisono, S.Kom., M.Eng., Ph.D. .....................

(NIP. 197410222000031001) (Pembimbing 1)

1. Ir. Muchammad Husni M.Kom. ......................

(NIP. 196002211984031001) (Pembimbing 2)

**SURABAYA**

**JULI, 2018 *(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

**IMPLEMENTASI KOMPRESI ADAPTIVE MENGGUNAKAN METODE HEATSHRINK UNTUK PENGIRIMAN DATA PADA WIRELESS SENSOR NETWORK BERBASIS ZIGBEE**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Nama Mahasiswa** | **:** | **MUHAMAD HENDRI FEBRIANSYAH** |
| **NRP** | **:** | **051114410000036** |
| **Departemen** | **:** | **Informatika FTIK-ITS** |
| **Dosen Pembimbing 1** | **:** | **Waskitho Wibisono, S.Kom., M.Eng., Ph.D.** |
| **Dosen Pembimbing 2** | **:** | **Ir. Muchammad Husni M.Kom.** |

# Abstrak

*Kompresi data adalah suatu teknik untuk memampatkan data sehingga memerlukan ruang penyimpanan yang lebih kecil atau dapat mempersingkat waktu pertukaran data tersebut. Pada wireless sensor network kompresi data merupakan salah satu metode efektif untuk memperpanjang life time dan dapat digunakan pada sumber daya yang terbatas. Oleh karena itu, diperlukan adanya penerapan metode kompresi adaptive dalam pengiriman data pada wireless sensor network.*

*Pada tugas akhir ini, ZigBee berfungsi sebagai media pengiriman data dari node End Device ke node Router kemudian ke node Coordinator. Pada node End Device dilakukan kompresi menggunakan algoritma Heatshrink, node Router meneruskan data yang dikirimkan dari node End Device ke node Coordinator dan node Coordinator akan melakukan dekompresi berdasarkan konfigurasi yang telah ditentukan.*

*Pada sistem dilakukan uji coba fungsionalitas dan uji coba performa dengan menggunakan beberapa skenario yang telah ditentukan. Untuk uji coba fungsionalitas, sebagian besar sistem berjalan dengan sebagaimana mestinya. Pada uji coba performa, efektifitas kompresi paling tinggi adalah 60.5% untuk data dengan panjang 980 karakter menggunakan konfigurasi HS (9,8). Waktu yang dibutuhkan untuk proses kompresi data paling cepat adalah 0.02948 detik untuk data dengan panjang 584 karakter menggunakan konfigurasi HS (8,7). Sedangkan yang dibutuhkan untuk proses dekompresi data paling cepat adalah 0.011856 detik untuk data dengan panjang 584 karakter menggunakan konfigurasi HS (9,8). Akurasi pengiriman data ZigBee pada jaringan single hop berturut – turut adalah 100% (±10 meter), 86,8% (±20 meter), dan 69,5% (±30 meter). Sedangkan akurasi pengiriman data ZigBee pada jaringan multi hop berturut – turut adalah 100% (±10 meter), 90,6% (±20 meter), dan 82,6% (±30 meter).*

***Kata kunci: Kompresi data, ZigBee, Heatshrink, Wireless Sensor Network.***

**IMPLEMENTATION OF ADAPTIVE COMPRESSION USING HEATSHRINK METHOD FOR DATA SHIPPING ON ZIGBEE WIRELESS SENSOR NETWORK BASED**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Student’s Name** | **:** | **MUHAMAD HENDRI FEBRIANSYAH** |
| **Student’s ID** | **:** | **051114410000036** |
| **Department** | **:** | **Informatics FTIK-ITS** |
| **First Advisor** | **:** | **Waskitho Wibisono, S.Kom., M.Eng., Ph.D.** |
| **Second Advisor** | **:** | **Ir. Muchammad Husni M.Kom.** |

# *Abstract*

*Data compression is a technique for compressing data so that it requires less storage space or can shorten the time of data exchange. In wireless sensor network data compression is one effective method to extend life time and can be used on limited resources. Therefore, it is necessary to apply adaptive compression method in data transmission on wireless sensor network.*

*n this final project, ZigBee serves as a data delivery medium from the End Device node to the Router node and then to the Coordinator node. In the End Device node compressed using the Heatshrink algorithm, the Router node forwards the data sent from the End Device node to the Coordinator node and the Coordinator node will decompress according to the specified configuration.*

*In the system tested the functionality and performance test using some predetermined scenarios. For a test of functionality, most systems work properly. In a performance test, the highest compression effectiveness was 60.5% for data with a length of 980 characters using the HS configuration (9,8). The time required for the fastest data compression process is 0.02948 seconds for data with a length of 584 characters using the HS configuration (8,7). While required for the fastest data decompression process is 0.011856 seconds for data with a length of 584 characters using HS configuration (9,8). The accuracy of ZigBee data transmission on a single hop network is 100% (± 10 meters), 86.8% (± 20 meters), and 69.5% (± 30 meters), respectively. While accuracy of ZigBee data transmission on multi-hop network are 100% (± 10 meter), 90,6% (± 20 meter), and 82,6% (± 30 meter) respectively.*

***Keywords : Data compression, ZigBee, Heatshrink, Wireless Sensor Network.***

**KATA PENGANTAR**



Alhamdulillahirabbil’alamin, segala puji bagi Allah Swt yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

“**IMPLEMENTASI KOMPRESI ADAPTIVE MENGGUNAKAN METODE HEATSHRINK UNTUK PENGIRIMAN DATA PADA WIRELESS SENSOR NETWORK BERBASIS ZIGBEE**”

yang merupakan salah satu syarat dalam menempuh ujian sidang guna memperoleh gelar Sarjana Komputer. Selesainya Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan beberapa pihak, sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Allah –‘Azz Wa Jalla– dan Nabi Muhammad –Shallallahu ‘alaihi wa sallam–.
2. Bapak Jamaludin dan Ibu Suryati selaku orang tua penulis serta keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan doa, moral, dan material yang tak terhingga kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Waskitho Wibisono, S.Kom., M.Eng., Ph.D. selaku pembimbing I yang telah membimbing dan memberikan motivasi, nasehat dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini sekaligus dosen wali penulis yang telah memberikan arahan, masukan dan motivasi kepada penulis.
4. Bapak Ir. Muchammad Husni, M.Kom. selaku II yang telah membimbing dan memberikan motivasi, nasehat dan bimbingan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Darlis Herumurti, S.Kom., M.Kom. selaku kepala jurusan Teknik Informatika ITS.
6. Bapak Dr. Eng. Radityo Anggoro, S.Kom., M.Sc. selaku koordinator Tugas Akhir.
7. Bapak Ir. F.X. Arunanto, M.Sc. sebagai dosen penguji Tugas Akhir penulis.
8. Bapak Bagus Jati Santoso, S.Kom., Ph.D.. sebagai dosen penguji Tugas Akhir penulis.
9. Seluruh dosen dan karyawan Teknik Informatika ITS yang telah memberikan ilmu dan pengalaman kepada penulis selama menjalani masa studi di ITS.
10. Ibu Eva Mursidah dan Ibu Sri Budiati yang selalu mempermudah penulis dalam peminjaman buku di RBTC.
11. Para alumni Teknik Informatika ITS, terkhususnya mas Ade Ilham Fajri S.Kom yang terus memberikan bimbingan jarak jauh, mas Hanif Sudira S.Kom, mas Ghulam S.Kom, Mas Regin Iqbal S.Kom dan mas Randy Bastian S.Kom.
12. Teman-teman Keluarga Muslim Informatika, yang sudah banyak meluruskan penulis.
13. Teman-teman seperjuangan RMK NCC/KBJ, yang telah menemani dan menyemangati penulis.
14. Teman-teman administrator NCC/KBJ, yang telah menemani dan menyemangati penulis selama penulis menjadi administrator, menjadi rumah kedua penulis selama penulis berkuliah.
15. Teman-teman angkatan 2014, yang sudah mendukung saya selama perkuliahan.
16. Sahabat penulis yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang selalu membantu, menghibur, menjadi tempat bertukar ilmu dan berjuang bersama-sama penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan sehingga dengan kerendahan hati penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca untuk perbaikan ke depan.

Surabaya, Juli 2018

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN v

Abstrak vii

*Abstract* ix

DAFTAR ISI xiii

DAFTAR GAMBAR xvii

DAFTAR TABEL xix

DAFTAR KODE SUMBER xxi

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Batasan Permasalahan 3

1.4 Tujuan 3

1.5 Manfaat 4

1.6 Metodologi 4

1.6.1 Penyusunan Proposal 4

1.6.2 Studi Literatur 5

1.6.3 Analisis dan Desain Perangkat Lunak 5

1.6.4 Implementasi Perangkat Lunak 5

1.6.5 Pengujian dan Evaluasi 5

1.6.6 Penyusunan Buku 6

1.7 Sistematika Penulisan Laporan 6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9

2.1 Wireless Sensor Network 9

2.2 Arduino UNO 10

2.3 Arduino Mega 2560 12

2.4 Arduino Integrated Development Environment 13

2.5 XBee Shield 14

2.6 XBee Modul S2 17

2.7 Protokol ZigBee 17

2.8 Algoritma Heatshrink 19

2.9 Bahasa Pemrograman C 22

2.10 MicroSD Card Adapter 22

2.11 DIGI XCTU 23

BAB III PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK 25

3.1 Deskripsi Umum Sistem 25

3.2 Arsitektur Umum Sistem 26

3.3 Perancangan Komunikasi Sistem 28

3.4 Perancangan Kompresi dan Dekompresi Data 32

3.4.1 Cara Kerja Algoritma Heatshrink 33

3.4.2 Konfigurasi Algoritma Heatshrink 34

3.5 Perancangan Pengiriman Data 36

3.6 Perancangan Dekompresi Data 37

3.7 Perancangan Perangkat Keras 38

3.8 Perancangan Perangkat ZigBee Coordinator 39

3.9 Perancangan Perangkat ZigBee Router 39

3.10 Perancangan Perangkat ZigBee End Device 40

BAB IV IMPLEMENTASI 43

4.1 Lingkungan Implementasi 43

4.1.1 Lingkungan Implementasi Perangkat Keras 43

4.1.2 Lingkungan Implementasi Perangkat Lunak 45

4.2 Implementasi Perangkat Keras 45

4.2.1 Perangkat Node ZigBee Coordinator 46

4.2.2 Perangkat Node ZigBee Router 47

4.2.3 Perangkat Node ZigBee End Device 48

4.3 Implementasi Inisialisasi Data Pada SD Card 50

4.4 Implementasi Membaca Data dari SD Card 53

4.5 Implementasi Setting Konfigurasi Encoder / Decoder 53

4.6 Implementasi Kompresi Data 54

4.7 Implementasi Mekanisme Pengiriman Data 55

4.8 Implementasi Dekompresi Data 56

BAB V HASIL UJI COBA DAN EVALUASI 59

5.1 Lingkungan Uji Coba 59

5.2 Data Pengujian 62

5.3 Skenario Uji Coba Fungsionalitas 63

5.3.1 Skenario Uji Coba Membaca Data dari SD Card 63

5.3.2 Skenario Uji Coba Kompresi Data 64

5.3.3 Skenario Uji Coba Komunikasi Pada Topologi Cluster Tree 65

5.3.4 Skenario Uji Coba Dekompresi Data 67

5.3.5 Skenario Uji Coba Kompresi Adaptive 68

5.4 Hasil Uji Coba Fungsionalitas 69

5.4.1 Hasil Uji Coba (UJ-F01) – Membaca Data dari SD Card 69

5.4.2 Hasil Uji Coba (UJ-F02) – Kompresi Data 71

5.4.3 Hasil Uji Coba (UJ-F03) – Komunikasi Pada Topologi Cluster Tree 72

5.4.4 Hasil Uji Coba (UJ-F04) – Dekompresi Data 73

5.4.5 Hasil Uji Coba (UJ-F05) – Kompresi Adaptive 74

5.5 Skenario Uji Coba Performa 75

5.5.1 Skenario Uji Coba Efektifitas Kompresi 75

5.5.2 Skenario Uji Coba Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Single Hop 77

5.5.3 Skenario Uji Coba Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Multi Hop 78

5.5.4 Skenario Uji Waktu Kompresi 83

5.5.5 Skenario Uji Waktu Dekompresi 84

5.6 Hasil Uji Coba Performa 86

5.6.1 Hasil Uji Coba (UJ-P01) – Efektifitas Kompresi 86

5.6.2 Hasil Uji Coba (UJ-P02) – Akurasi Pengiriman Data ZigBeep pada Jaringan Single Hop 88

5.6.3 Hasil Uji Coba (UJ-P03) – Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Multi Hop 90

5.6.4 Hasil Uji Coba (UJ-P04) – Waktu Kompresi Data 93

5.6.5 Hasil Uji Coba (UJ-P05) – Waktu Dekompresi Data 95

5.7 Evaluasi Hasil Uji Coba 96

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 99

6.1 Kesimpulan 99

6.2 Saran 100

DAFTAR PUSTAKA 101

LAMPIRAN 105

BIODATA PENULIS 121

# DAFTAR GAMBAR

[Gambar 2.1 Ilustrasi Wireless Sensor Network [8] 10](#_Toc519447219)

[Gambar 2.2 Arduino UNO 11](#_Toc519447220)

[Gambar 2.3 Arduino Mega 2560 12](#_Toc519447221)

[Gambar 2.4 Antarmuka Arduino IDE 14](#_Toc519447222)

[Gambar 2.5 XBee Shield Pabrikan Funduino 15](#_Toc519447223)

[Gambar 2.6 XBee Shield Pabrikan ITead Studio 16](#_Toc519447224)

[Gambar 2.7 Konfigurasi Jumper Mode USB 16](#_Toc519447225)

[Gambar 2.8 Konfigurasi Jumper Mode XBee 16](#_Toc519447226)

[Gambar 2.9 XBee Modul S2 17](#_Toc519447227)

[Gambar 2.10 Contoh Text Asli [18] 21](#_Toc519447228)

[Gambar 2.11 Hasil Teks yang Sudah Dikompresi [18] 21](#_Toc519447229)

[Gambar 2.12 MicroSD Card Adapter 23](#_Toc519447230)

[Gambar 2.13 Antarmuka XCTU 24](#_Toc519447231)

[Gambar 3.1 Deskripsi Umum Sistem 25](#_Toc519447232)

[Gambar 3.2 Arsitektur Detail Sistem 27](#_Toc519447233)

[Gambar 3.3 Konfigurasi pada Node ZigBee Coordinator 29](#_Toc519447234)

[Gambar 3.4 Konfigurasi pada Node ZigBee Router 30](#_Toc519447235)

[Gambar 3.5 Konfigurasi pada Node ZigBee End Device 31](#_Toc519447236)

[Gambar 3.6 Diagram Alir Cara Kerja Algoritma Heatshrink 33](#_Toc519447237)

[Gambar 3.7 Diagram Alir Pengiriman Data 37](#_Toc519447238)

[Gambar 3.8 Diagram Alir Dekompresi Data 38](#_Toc519447239)

[Gambar 3.9 Node ZigBee Coordinator 39](#_Toc519447240)

[Gambar 3.10 Node ZigBee Router 40](#_Toc519447241)

[Gambar 3.11 Node ZigBee End Device disertai MicroSD 41](#_Toc519447242)

[Gambar 4.1 Perancangan Node ZigBee Coordinator 47](#_Toc519447243)

[Gambar 4.2 Implementasi Node ZigBee Coordinator 47](#_Toc519447244)

[Gambar 4.3 Perancangan Node ZigBee Router 48](#_Toc519447245)

[Gambar 4.4 Implementasi Node ZigBee Router 48](#_Toc519447246)

[Gambar 4.5 Perancangan Node ZigBee End Device 49](#_Toc519447247)

[Gambar 4.6 Implementasi Node ZigBee End Device 49](#_Toc519447248)

[Gambar 4.7 Data dengan Panjang 584 Karakter per Baris 51](#_Toc519447249)

[Gambar 4.8 Data dengan Panjang 980 Karakter per Baris 51](#_Toc519447250)

[Gambar 4.9 Data dengan Panjang 1280 Karakter per Baris 52](#_Toc519447251)

[Gambar 4.10 Data dengan Panjang 1345 Karakter per Baris 52](#_Toc519447252)

[Gambar 4.11 Data dengan Panjang 1870 Karakter per Baris 53](#_Toc519447253)

[Gambar 5.1 Lokasi Pertama 61](#_Toc519447254)

[Gambar 5.2 Lokasi Kedua 61](#_Toc519447255)

[Gambar 5.3 Lokasi Ketiga 62](#_Toc519447256)

[Gambar 5.4 Hasil Uji Coba UJ-F01 pada Panjang Karakter 584 70](#_Toc519447257)

[Gambar 5.5 Hasil Uji Coba UJ-F01 pada Panjang Karakter 980 70](#_Toc519447258)

[Gambar 5.6 Hasil Uji Coba UJ-F01 pada Panjang Karakter 1280 70](#_Toc519447259)

[Gambar 5.7 Hasil Uji Coba UJ-F01 pada Panjang Karakter 1345 71](#_Toc519447260)

[Gambar 5.8 Hasil Uji Coba UJ-F01 pada Panjang Karakter 1870 71](#_Toc519447261)

[Gambar 5.9 Hasil Uji Coba UJ-F05 Kompresi Adaptive 74](#_Toc519447262)

[Gambar 5.10 Hasil Uji Coba UJ-F05 Kompresi Adaptive 75](#_Toc519447263)

[Gambar 5.11 Peta Lokasi Skenario Uji Coba dengan Jarak ±10 meter 80](#_Toc519447264)

[Gambar 5.12 Peta Lokasi Skenario Uji Coba dengan Jarak ±20 meter 81](#_Toc519447265)

[Gambar 5.13 Peta Lokasi Skenario Uji Coba dengan Jarak ±30 meter 82](#_Toc519447266)

[Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Single Hop 90](#_Toc519447267)

[Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Single Hop dengan Jaringan Multi Hop 92](#_Toc519447268)

# DAFTAR TABEL

[Tabel 2.1 Arduino UNO Data Sheet 11](#_Toc519447269)

[Tabel 2.2 Arduino Mega 2560 Data Sheet 13](#_Toc519447270)

[Tabel 4.1 Lingkungan Implementasi Perangkat Keras 43](#_Toc519447271)

[Tabel 4.2 Lingkungan Implementasi Perangkat Lunak 45](#_Toc519447272)

[Tabel 5.1 Spesifikasi Lingkungan Uji Coba 59](#_Toc519447273)

[Tabel 5.2 Skenario Uji Coba Membaca Data dari SD Card 63](#_Toc519447274)

[Tabel 5.3 Skenario Uji Coba Kompresi Data 64](#_Toc519447275)

[Tabel 5.4 Skenario Uji Coba Komunikasi Pada Topologi Cluster Tree 66](#_Toc519447276)

[Tabel 5.5 Skenario Uji Coba Dekompresi Data 67](#_Toc519447277)

[Tabel 5.6 Skenario Uji Coba Kompresi Adaptive 68](#_Toc519447278)

[Tabel 5.7 Hasi Uji Coba UJ – F02 Kompresi Data 72](#_Toc519447279)

[Tabel 5.8 Hasi Uji Coba UJ – F03 Komunikasi Pada Topologi Cluster Tree 73](#_Toc519447280)

[Tabel 5.9 Hasi Uji Coba UJ – F04 Dekompresi Data 73](#_Toc519447281)

[Tabel 5.10 Uji Coba Efektifitas Kompresi 75](#_Toc519447282)

[Tabel 5.11 Uji Coba Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Single Hop 77](#_Toc519447283)

[Tabel 5.12 Uji Coba Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Multi Hop 79](#_Toc519447284)

[Tabel 5.13 Uji Coba Waktu Kompresi 83](#_Toc519447285)

[Tabel 5.14 Uji Coba Waktu Dekompresi 85](#_Toc519447286)

[Tabel 5.15 Hasil Uji Coba UJ – P01 Efektifitas Kompresi 87](#_Toc519447287)

[Tabel 5.16 Hasil Uji Coba UJ – P02 Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Single Hop 89](#_Toc519447288)

[Tabel 5.17 Hasil Uji Coba UJ – P03 Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Multi Hop 91](#_Toc519447289)

[Tabel 5.18 Hasil Uji Coba UJ – P04 Waktu Kompresi Data 93](#_Toc519447290)

[Tabel 5.19 Hasil Uji Coba UJ – P05 Waktu Dekompresi Data 95](#_Toc519447291)

[Tabel 5.20 Evaluasi Hasil Uji Coba Fungsionalitas 97](#_Toc519447292)

[Tabel 5.21 Evaluasi Hasil Uji Coba Performa 98](#_Toc519447293)

[Tabel 8.1 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P01 pada Panjang Data 584 karakter 105](#_Toc519447294)

[Tabel 8.2 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P01 pada Panjang Data 980 karakter 106](#_Toc519447295)

[Tabel 8.3 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P01 pada Panjang Data 1280 karakter 106](#_Toc519447296)

[Tabel 8.4 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P01 pada Panjang Data 1345 karakter 107](#_Toc519447297)

[Tabel 8.5 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P01 pada Panjang Data 1870 karakter 108](#_Toc519447298)

[Tabel 8.6 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P02 pada Jarak ±10 Meter 109](#_Toc519447299)

[Tabel 8.7 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P02 pada Jarak ±20 Meter 109](#_Toc519447300)

[Tabel 8.8 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P02 pada Jarak ±30 Meter 109](#_Toc519447301)

[Tabel 8.9 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Jarak ±10 Meter 110](#_Toc519447302)

[Tabel 8.10 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Jarak ±20 Meter 110](#_Toc519447303)

[Tabel 8.11 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Jarak ±30 Meter 110](#_Toc519447304)

[Tabel 8.12 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Panjang Data 584 Karakter 111](#_Toc519447305)

[Tabel 8.13 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Panjang Data 980 Karakter 112](#_Toc519447306)

[Tabel 8.14 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Panjang Data 980 Karakter 113](#_Toc519447307)

[Tabel 8.15 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Panjang Data 1345 Karakter 114](#_Toc519447308)

[Tabel 8.16 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Panjang Data 1870 Karakter 115](#_Toc519447309)

[Tabel 8.17 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P04 pada Panjang Data 584 Karakter 116](#_Toc519447310)

[Tabel 8.18 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P04 pada Panjang Data 980 Karakter 117](#_Toc519447311)

[Tabel 8.19 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P04 pada Panjang Data 1280 Karakter 118](#_Toc519447312)

[Tabel 8.20 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P04 pada Panjang Data 1345 Karakter 119](#_Toc519447313)

[Tabel 8.21 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P04 pada Panjang Data 1870 Karakter 120](#_Toc519447314)

# DAFTAR KODE SUMBER

[Kode Sumber 4.1 *Pseuducode* Membaca Data dari sdcard 53](#_Toc519447315)

[Kode Sumber 4.2 *Pseuducode* Setting Konfigurasi Encoder / Decoder 54](#_Toc519447316)

[Kode Sumber 4.3 *Pseuducode* Kompresi Data 55](#_Toc519447317)

[Kode Sumber 4.4 *Pseuducode* Mekanisme Pengiriman Data 56](#_Toc519447318)

[Kode Sumber 4.5 *Pseuducode* Pembentukan Ulang Data 56](#_Toc519447319)

[Kode Sumber 4.6 *Pseuducode* Dekompresi Data 57](#_Toc519447320)

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

# BAB I PENDAHULUAN

## Latar Belakang

Wireless Sensor Network merupakan salah satu teknologi yang paling menjanjikan untuk kebutuhan di masa depan. Hal ini dikarenakan harganya yang murah, mudah dibangun, terdapat sensor cerdas, ukurannya kecil dan multi fungsionalitas sesuai kebutuhan. Berdasarkan research dari IDTechEx, diprediksi bahwa pasar WSN akan mengalami pertumbuhan menjadi $ 1,8 miliar pada tahun 2024. Data ini mengacu pada WSN yang didefinisikan sebagai jaringan mesh nirkabel, yaitu self-healing dan self-organising [1].

Terdapat banyak permasalahan dan tantangan yang harus dihadapi dalam WSN untuk meningkatkan efisiensi, kelayakan dan manfaat. Tantang tersebut dapat dikategorikan kedalam empat kategori, yaitu efisiensi daya, pengumpulan data, jaringan dan strategi penyebaran [2]. WSN pada dasarnya adalah sistem yang berbasis event, node sensor akan mendeteksi keadaan di lingkungan sekitarnya untuk dikirim ke sink. Namun, karena node sensor sering mendeteksi fenomena umum, maka kemungkinan ada beberapa redundansi dalam data yang sumbernya beragam berkomunikasi dengan sink tertentu. Untuk itu pemfilteran dan pemrosesan dalam jaringan diperlukan agar dapat menghemat penggunaan energi yang terbatas.

Agregasi data merupakan proses pengumpulan data dari berbagai node untuk menghilangkan redundansi, meminimalkan jumlah transmisi dan memberikan informasi yang ringkas ke simpul utama [3]. Tujuan agregasi data adalah untuk memperpanjang umur jaringan dengan mengurangi transmisi waktu atau ukuran data yang dipancarkan node menggunakan algoritma cerdas. Secara umum, agregasi data dapat dikategorikan menjadi dua subsistem yang berbeda, yaitu protocol jaringan dan penggabungan data. Gagasan protokol agregasi data pada jaringan adalah bekerjasama antar node spasial dan temporal berkorelasi [4] dalam menyebarkan data yang dikumpulkan. Pendekatan ini telah banyak diajukan dalam penelitian seperti LEECH, TEEN, HEED dan PEGASIS. Disisi lain penggabungan data bertujuan untuk mengurangi ukuran data yang ditransmisikan oleh sink atau node itu sendiri. Ukuran data dapat dikurangi menggunakan teknik operasi matematika [5] (median, average, moving average), kompresi, estimasi data dan pemodelan.

Kompresi data merupakan salah satu metode efektif untuk mengurangi penggunaan daya yang terbatas pada WSN. Diasumsikan bahwa beberapa kehilangan presisi atau kedetailan data pada saat kompresi dapat ditolerir jika hal tersebut dapat mengurangi komunikasi. Namun, perlu diperhatikan juga bahwa kualitas kedetailan data harus dipenuhi pada saat kondisi tertentu agar informasi yang didapatkan semakin banyak dan detail.

Disisi lain, menggunakan pendekatan agregasi data akan mempengaruhi perilaku komunikasi pada jaringan. Transmisi data yang harusnya kontinu diubah ke transmisi buffer berdasarkan kemampuan pemrosesan data lokal. Dengan menggabungkan agregasi data dengan komunikasi buffer maka ukuran paket data akan meningkat. Dengan demikian, slot waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan paket data juga ikut meningkat. Jika terjadi suatu kondisi dimana beberapa node ingin mentransmisikan datanya secara bersamaan, maka node forwarding masing-masing lingkungan multihop akan menjadi hambatan, terutama pada jaringan yang berdaya rendah dan bandwidth yang terbatas. Maka buffer overflows dan rasio paket loss yang meningkat akan menjadi masalah besar [6]

Pada kodisi nyata, jaringan komunikasi pada wireless sensor network memiliki buffer yang sangat kecil. Di nrf24l01+ payload data yang disediakan hanya 32 byte dan di IEEE 802.15.4 payload data sebesar 133 bytes. Belum lagi jika kita menggunakan modul tambahan. Pada Xbee beban buffer yang dialokasikan untuk 802.15.4 dan ZigBee masing-masing adalah 100 dan 72 byte [7].

Oleh karena itu, dibutuhkan suatu managemen pengunaan paket yang baik untuk menghindari terjadinya buffer overflows. Dalam tugas akhir ini metode yang diusulkan adalah implementasi kompresi adaptive menggunakan metode Heatshrink untuk pengiriman data pada wireless sensor network berbasis Zigbee. Algoritma kompresi data yang digunakan adalah Heatshrink. Algoritma ini berbasis pada algoritma Lempel-Ziv-Storer-Szymanski (LZSS) yang merupakan lossless kompresi data yang cocok untuk kompresi data pada embedded system.

## Rumusan Masalah

Tugas akhir ini mengangkat beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara menentukan level kompresi data?

2. Bagaimana metode yang digunakan dalam pengiriman data pada protokol ZigBee?

3. Bagaimana tingkat efisiensi dari sistem yang dibangun dapat diukur?

## Batasan Permasalahan

Permasalahan yang dibahas pada tugas akhir ini memiliki batasan sebagai berikut:

1. Mengunakan mikrokontroler Arduino Mega.
2. Komunikasi nirkabel menggunakan protocol ZigBee
3. Menggunakan algoritma Heatshrink untuk melakukan kompresi dan dekompresi data*.*
4. Algoritma Heatshrink dibuat dalam bahasa pemrograman C/C++.

## Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Membangun sebuah sistem kompresi data pada platform *wireless sensor network*.
2. Melakukan implementasi algoritma Heatshrinkuntuk kompresi adaptive pada pada platform *wireless sensor network*.

## Manfaat

Dengan dibuatnya tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam penggunaan algoritma Heatshrink untuk kompresi adaptive pada pengiriman data di *platform* *wireless sensor network*.

Sedangkan bagi penulis, tugas akhir ini bermanfaat sebagai sarana untuk mengimplementasikan ilmu yang telah dipelajari selama kuliah agar berguna bagi masyarakat.

## Metodologi

Pembuatan tugas akhir ini dilakukan dengan menggunakan metodologi sebagai berikut:

### Penyusunan Proposal

Proposal tugas akhir ini berisi tentang deskripsi pendahuluan dari tugas akhir yang akan dibuat. Pendahuluan terdiri atas hal yang menjadi latar belakang diajukannya usulan tugas akhir, rumusan masalah yang diangkat, batasan masalah untuk tugas akhir, tujuan dari pembuatan tugas akhir, dan manfaat dari hasil pembuatan tugas akhir. Selain itu, dijabarkan pula tinjauan pustaka yang digunakan sebagai referensi pendukung pembuatan tugas akhir. Sub bab metodologi berisi penjelasan tahapan mengenai tahapan penyusunan tugas akhir mulai dari penyusunan proposal hingga penyususunan buku Tugas Akhir. Terdapat pula sub bab jadwal kegiatan yang menjelaskan jadwal pengerjaan Tugas Akhir.

### Studi Literatur

Tahap studi literatur merupakan tahap pembelajaran dan pengumpulan informasi yang digunakan untuk mengimplementasikan Tugas Akhir. Tahap ini diawali dengan pengumpulan literatur, diskusi, eksplorasi teknologi, dan pustaka, serta pemahaman dasar teori yang digunakan pada topik tugas akhir. Literatur-literatur yang dimaksud disebutkan yaitu mengenai Arduino, bahasa pemrograman C, algoritma Heatshrink, dan protokol ZigBee.

### Analisis dan Desain Perangkat Lunak

Pada tahap ini akan dilakukan analisa, perancangan, dan pendefinisian kebutuhan system untuk mengetahui permasalahan yang akan dihadapi pada tahap implementasi. Kemudian akan dijabarkan kebutuhan-kebutuhan tersebut ke dalam perancangan fitur sistem. Berikut langkah yang akan dilakukan perancangan proses perangkat lunak:

1. Perancangan rangkaian node yang akan dibuat
2. Uji coba komunikasi menggunakan protocol ZigBee pada rangkaian node
3. Implementasi kompresi dan dekompresi pada node
4. Implementasi kompresi adaptive pada node

### Implementasi Perangkat Lunak

Implementasi merupakan tahap untuk membangun metode-metode yang sudah diajukan pada proposal Tugas Akhir. Sistem dibangun menggunakan Arduino IDE (Integrated Development Environment), dengan bahasa pemrograman C dan algoritma Heatshrink.

### Pengujian dan Evaluasi

Tahap pengujian dan evaluasi berisi pengujian aplikasi dan evaluasi berdasarkan hasil pengujian. Pada tahap ini dilakukan pengujian dari fungsionalitas dan performa system WSN yang mana nanatinya akan dijalankan scenario yang sudah ditentukan. Hasil evaluasi menjabarkan tentang rangkuman hasil pengujian yang telah dilakukan. Pengujian fungsionalitas meliputi uji coba setiap bagian perangkat keras yang dirangkai pada Arduino dan juga uji coba keseluruhan sistem. Pengujian performa meliputi tingkat akurasi hasil kompresi data dan efisiensi data yang dapat di hemat.

### Penyusunan Buku

Pada tahap ini disusun buku sebagai dokumentasi dari pelaksanaan tugas akhir yang mencangkup seluruh konsep, teori, implementasi, serta hasil yang telah dikerjakan.

## Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir adalah sebagai berikut:

* + 1. Bab I. Pendahuluan

Bab ini berisikan penjelasan mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, metodologi, dan sistematika penulisan dari pembuatan tugas akhir.

* + 1. Bab II. Tinjauan Pustaka

Bab ini memaparkan hasil studi literatur yang digunakan sebagai dasar untuk menyelesaikan tugas akhir ini, terdiri atas deskripsi mengenai wireless sensor network, mikrokontroler, protokol ZigBee, bahasa pemrograman C, dan algoritma Heatshrink*.*

* + 1. Bab III. Perancangan Perangkat Lunak

Bab ini berisi pembahasan mengenai perancangan komunikasi pada sistem, perancangan kompresi data, pengiriman data, perancangan perangkat keras dan lunak..

* + 1. Bab IV. Implementasi

Bab ini membahas implementasi dari rancangan sistem yang dilakukan pada tahap perancangan. Implementasi yang akan diterapkan berupa *Pseudocode*.

* + 1. Bab V. Hasil Uji Coba dan Evaluasi

Bab ini menjelaskan pengujian pada sistem yang dibuat. Pengujian akan dilakukan berupa uji coba fungsionalitas dan uji coba performa.

* + 1. Bab VI. Kesimpulan dan Saran

Bab ini merupakan bab yang menyampaikan kesimpulan dari hasil uji coba yang dilakukan, masalah-masalah yang dialami pada proses pengerjaan Tugas Akhir, dan saran untuk pengembangan solusi ke depannya.

* + 1. Daftar Pustaka

Bab ini berisi daftar pustaka yang dijadikan literatur dalam tugas akhir.

* + 1. Lampiran

Lampiran yang ada berisikan kelengkapan – kelengkapan yang diperlukan dalam menyusun buku Tugas Akhir.

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

# BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori dasar yang berkaitan dengan pokok bahasan tugas akhir. Bab ini juga menjelaskan modul dan alat yann nantinya akan digunakan pada tahap implementasi program. Penjelasan ini bertujuan untuk memberikan gambaran secara umum terhadap alat yang digunakan dan berguna sebagai penunjang dalam pengembangan perangkat lunak.

## Wireless Sensor Network

Wireless Network Sensor (WSN) adalah jaringan yang dibentuk oleh sekumpulan banyak node sensor dimana masing-masing node dilengkapi dengan sensor untuk mendeteksi fenomena fisik seperti cahaya, panas, tekanan, getaran dan lain-lain. WSN dianggap sebagai metode pengumpulan informasi revolusioner untuk membangun sistem informasi dan komunikasi dalam meningkatkan kehandalan dan efisiensi sistem infrastruktur. Jika dibandingkan dengan solusi kabel, WSN lebih mudah dipasang dan memiliki fleksibilitas perangkat yang lebih baik [8].

WSN pada umumnya dapat digambarkan sebagai jaringan simpul yang secara kooperatif merasakan dan mengendalikan lingkungan, memungkinkan interaksi antar orang atau computer dan lingkungan sekitar [9]. WSN saat ini biasanya mencakup node sensor, node akuator, gateway dan klien. Sejumlah besar node sensor diletakkan secara acak didalam atau di dekat area pemantauan (sensor field), kemudian membentuk jaringan melalui self-organization. Node sensor memonitor data yang terkumpul untuk dikirim bersama ke node sensor lainnya dengan melompat. Selama proses transmisi, data yang dipantau dapat ditanggani oleh beberapa node untuk sampai ke node gateway setelah multihop routing dan akhirnya mencapai node management melalui internet atau satelit. Gambar 2.1 merupakan contoh ilustrasi atau gambaran mengenai WSN.



Gambar 2.1 Ilustrasi Wireless Sensor Network [8]

## Arduino UNO

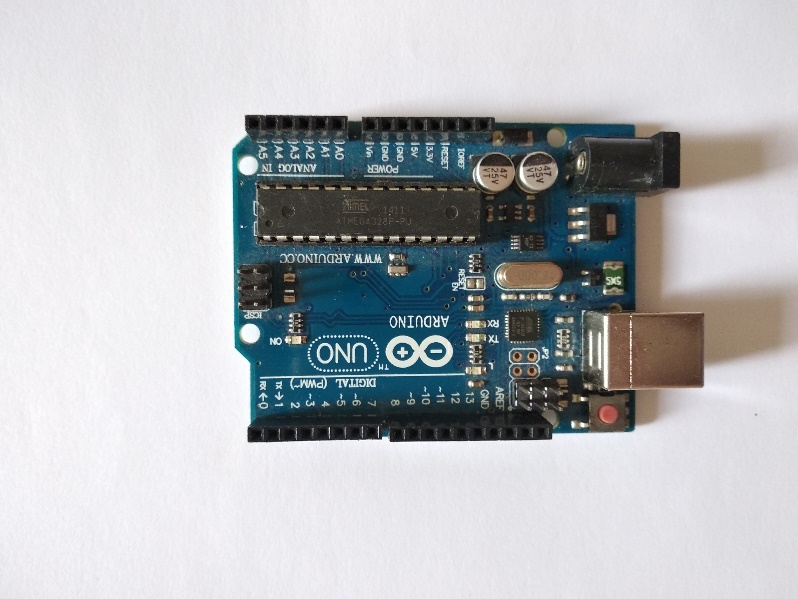
Arduino adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, diturunkan dari Wiring platform, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardwarenya memiliki prosesor Atmel AVR dan softwarenya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Arduino juga merupakan platform hardware terbuka yang ditujukan kepada siapa saja yang ingin membuat purwarupa peralatan elektronik interaktif berdasarkan hardware dan software yang fleksibel dan mudah digunakan. Mikrokontroler diprogram menggunakan bahasa pemrograman arduino yang memiliki kemiripan syntax dengan bahasa pemrograman C. Karena sifatnya yang terbuka maka siapa saja dapat mengunduh skema hardware arduino dan membangunnya. [10]

Terdapat tiga jenis memori yang ada pada mikrokontroler papan Arduino berbasis AVR, yaitu :

1. Flash memory, berfungsi sebagai tempat untuk menyimpan sketsa Arduino.
2. SRAM (Static Random Access Memory) adalah tempat sketsa menciptakan dan memanipulasi variable yang sedang dijalankan atau digunakan.
3. EEPROM adalah memori yang dapat digunakan untuk programmer menyimpan informasi jangka panjang.

Pada Flash memory dan EEPROM informasi yang disimpan tetap ada walaupun power telah dimatikan. Sedangkan untuk SRAM, informasi yang disimpan akan hilang ketika power dimatikan.

Arduino UNO merupakan salah satu jenis mikrokonttoler Arduino yang ada di pasaran. Arduino UNO menggunakan chipset ATmega 328, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Arduino UNO

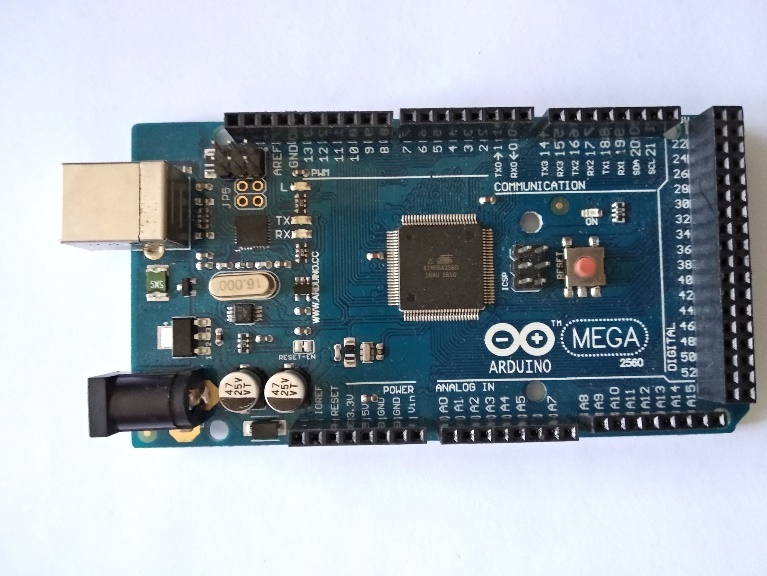
Berikut ini adalah data sheet yang ada pada Arduino UNO Chip ATmega 238 (ditunjukkan pada Table 2.1).

Tabel 2.1 Arduino UNO Data Sheet

|  |  |
| --- | --- |
| Mikrokontroller | ATmega238 |
| Operating Voltage | 5V |
| Input Voltage (recommended) | 7 - 12V |
| Input Voltage (limits) | 6 – 20 V |
| Digital I/O Pins | 14 (6 pin merupakan pulse width modulation output) |
| Analog Input Pins | 6 |
| DC Current per I/O Pin | 40 mA |
| DC Current for 3.3V Pin | 50 mA |
| Flash memory | 32 KB (0.5KB digunakan untuk bootloader) |
| SRAM | 2 KB |
| EPPROM | 1 KB |
| Clock Speed | 16 MHz |

## Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan salah satu jenis mikrokontroler Arduino yang menggunakan chip ATmega2560. Mikrokontroler ini memiliki pin I/O yang cukup banyak yaitu sejumlah 54 buah pin digital. Berikut ini adalah gambar Arduino Mega 2560 sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2.3 beserta data sheet yang ada pada Arduino Mega2560 Chip ATmega 2560 (ditunjukkan pada Table 2.2).



Gambar 2.3 Arduino Mega 2560

Tabel 2.2 Arduino Mega 2560 Data Sheet

|  |  |
| --- | --- |
| Mikrokontroller | ATmega2560 |
| Operating Voltage | 5V |
| Input Voltage (recommended) | 7 - 12V |
| Input Voltage (limits) | 6 – 20 V |
| Digital I/O Pins | 54 (14 pin merupakan pulse width modulation output) |
| Analog Input Pins | 16 |
| DC Current per I/O Pin | 40 mA |
| DC Current for 3.3V Pin | 50 mA |
| Flash memory | 256 KB (8KB digunakan untuk bootloader) |
| SRAM | 8 KB |
| EPPROM | 4 KB |
| Clock Speed | 16 MHz |

## Arduino Integrated Development Environment

Arduino Integrated Development Environment (IDE) merupakan editor teks untuk menulis kode, area pesan, konsol teks dan memiliki toolbar dengan tombol untuk fungsi umum dan serangkaian menu. Arduino IDE terhubung ke perangkat keras Arduino dan Genuino untuk mengunggah program dan dapat berkomunikasi dengan meraka. Program yang ditulis menggunakan Arduino Software (IDE) disebut sketsa. Sketsa ini ditulis dalam editor teks dan disimpan dengan ekstensi file .ino. Editor memiliki fitur untuk memotong / menempel dan mencari / mengganti teks. Area pesan memberi umpan balik saat menyimpan dan mengekspor dan menampilkan kesalahan. Konsol menampilkan output teks oleh Arduino Software (IDE), termasuk pesan kesalahan dan informasi lainnya yang lengkap [11].



Gambar 2.4 Antarmuka Arduino IDE

## XBee Shield

Shield adalah papan PCB atau lebih dikenal board yang dapat dihubungkan dengan papan Arduino untuk menambah fungsi dari arduino. XBee Shield ini dirancang dengan agar arduino dapat berkomunikasi secara nirkabel dengan modul XBee dari Maxstream. Dengan adanya modul ini, sebuah arduino akan mampu berkomunikasi secara nirkabel melebihi 30 meter di dalam ruangan dan 90 meter jika di luar ruangan. Dapat digunakan sebagai serial ataupun USB [12]



Gambar 2.5 XBee Shield Pabrikan Funduino

Pada penelitian ini, penulis menggunakan dua tipe XBee Shield. Pertama XBee Shield V03 keluaran dari perusahaan Funduino, dimana jumper yang digunakan bertipe switch, sehingga user lebih mudah untuk memilih mode jumper. Terdapat dua jenis jumper, yaitu mode XBee (berfungsi untuk pengiriman data) dan mode USB (berfungsi untuk programming). Perlu di perhatikan ketika memilih mode jumper, ketika ingin melakukan upload code ke arduino jumper harus berada dalam mode USB jika tidak maka code tidak akan bisa terupload. Begitu pula sebaliknya, ketika ingin mengirimkan data via wireless jumper harus berada dalam mode XBee.



Gambar 2.6 XBee Shield Pabrikan ITead Studio

Adapun XBee Shield jenis kedua merupakan XBee Shield V1.1 keluaran perusahaan ITead Studio. Terdapat dua jenis jumper yaitu mode USB dan mode XBee. Berikut posisi jumper shield tersebut



Gambar 2.7 Konfigurasi Jumper Mode USB



Gambar 2.8 Konfigurasi Jumper Mode XBee

## XBee Modul S2

XBee modul seri 2 merupakan modul yang berfungsi untuk komunikasi antar jaringan nirkabel. Xbee modul seri 2 menggunakan protokol ZigBee untuk saling berkomunikasi. Modul ini menyediakan transfer data yang sangat handal dengan kecepatan transfer mencapai 250 kbps. Setiap perangkat output serial dapat mengunakan modul untuk transfer data, transmisi point to point dan transmisi jaringan multi-point. Modul ini dirancang untuk aplikasi high-throughput (35kbps) yang membutuhkan latency rendah dan waktu komunikasi yang dapat diprediksi.



Gambar 2.9 XBee Modul S2

## Protokol ZigBee

ZigBee merupakan standar komunikasi untuk perangkat nirkabel jarak pendek berdaya rendah yang berbasis pada standar IEEE 802.15.4 untuk jaringan area pribadi (PAN). Perangkat Zigbee mampu berkomunikasi peer-to-peer, point-to-multipoint dan mesh. Teknologi ini cocok untuk transfer data rate yang rendah, konsumsi daya yang rendah, biaya rendah, protocol jaringan nirkabel yang ditujukan untuk aplikasi otomasi dan remote control. Perangkat nirkabel yang sesuai dengan ZigBee diperkirakan dapat melakukan transmisi 10 sampai 75 meter tergantung pada linkungan RF dan konsumsi daya yang dikeluarkan untuk aplikasi tertentu. ZigBee memiliki tiga jenis tipe, yaitu 2.4GHz global (data rate 250kbps), 915MHz Americas (data rate 40kbps) dan 868 MHz Europe (data rate 20kbps). Jaringan ZigBee terdiri dari tiga jenis perangkat, yaitu: koordinator, router, dan end devices. Setiap jaringan memiliki ID PAN 16bit. Semua perangkat dalam jaringan ZigBee diberi satu ID PAN.

Berikut ini adalah penjelasan lebih lanjut mengenai ketiga jenis perangkat ZigBee [13]:

1. ZigBee Coordinator (ZC) : ZC bertindak sebagai coordinator yang mengatur lalu lintas jaringan komunikasi. Harus ada satu ZC dalam setiap jaringan karena perangkat ini memulai jaringan dari awal. Koordinator memulai Personal Area Network (PAN) dengan memilih saluran RF dan PAN ID. ZC memungkinkan router dan end-devices untuk bergabung dengan PAN. Selain itu ZC, mampu menyimpan informasi tentang jaringan, termasuk bertindak sebagai Trust Center dan repository untuk kunci keamanan.
2. ZigBee Router (ZR) : ZR menjalanan fungsi aplikasi, selain itu router bertindak sebagai perantara, meneruskan data dari satu perangkat ke perangkat lain.
3. ZigBee End Device (ZED) : ZED dapat melakukan komunikasi dengan koordinator dan router, akan tetapi tidak dapat menyampaikan data dari perangkat lain. Hubungan ini memungkinkan simpul untuk tidur dalam waktu yang cukup lama, sehingga dapat menghemat penggunaan baterai. ZED harus bergabung dengan PAN seperti router sebelum mengirimkan data sensor.

Kelebihan menggunakan ZigBee terutama terletak pada mode AT default nya, dimana lapisan PHY dan MAC frame transparan bagi pengguna. Artinya, pengguna biasa tidak akan melihat frame acknowledgment (ACK) atau transmisi ulang modul frekuensi radio (RF) termasuk semua byte aktual yang dikirim. Pengguna hanya akan menyaksikan apakah data berhasil dikirim atau tidak, dengan semua teknis seperti Carrier Sense Multiple Access - Collision Avoidance (CSMA-CA) tersembunyi dari pandangan biasa dan karenanya menawarkan antarmuka yang lebih sederhana [7].

Beban maksimum yang dapat dialokasikan buffer XBee untuk 802.15.4 dan ZigBee masing-masing adalah 100 dan 72 byte. Manfaat buffer adalah pembacaan sensor ganda dapat dimasukkan ke dalam frame yang sama untuk satu sesi transmisi selama buffer overflow dihindari. [14] menunjukkan bahwa lonjakan arus untuk daya ZigBee menghabiskan 5 sampai 10 kali lebih besar daripada pada operasi normal. Oleh karena itu, buffer harus digunakan untuk mentransmisikan data sebanyak mungkin dalam interval yang dapat ditoleransi dengan aktivasi modul RF minimum.

## Algoritma Heatshrink

Heatshrink merupakan algoritma kompresi lossless yang berbasis pada Lempel-Ziv-Storer-Szymanski (LZSS). Algoritma kompresi lossless memungkinkan untuk membentuk data asli yang tepat sama dari data yang sudah dikompresi. Algoritma ini cocok digunakan pada sistem *embedded* karena dapat berjalan dalam jumlah memori yang sangat kecil (dibawah 50 byte untuk dekompresi praktis). Selain itu, heatshrink dapat bekerja sedikit demi sedikit sambil menangani kebutuan lain dari system yang berjalan secara *real time* [15].

Heatshrink menggunakan algoritma Lempel-Ziv-Storer-Szymanski untuk melakukan kompresi dengan beberapa detail implementasi penting yang harus diperhatikan, yaitu [15] :

1. Proses kompresi dan dekompresi telah dirancang untuk berjalan secara bertahap, pemrosesan dapat bekerja beberapa byte setiap saat. Selain itu dapat juga menangguhkan dan melanjutkan proses sebagai data tambahan atau pada buffer yang tersedia.
2. Teknik optional indexing yang digunakan dapat mempercepat proses kompresi.
3. Secara umum trade-off implementasi banyak disukai pada penggunaan memori yang rendah.

Lempel-Ziv-Storer-Szymanski (LZSS) adalah salah satu jenis algoritma kompresi yang berbasis dictionary yang bersifat lossless (data dapat di rekonstruksi ulang menjadi data asli). LZSS merupakan salah satu varian dari LZ77 (Lempel Ziv 1977) yang dikembangkan oleh Storer dan Szymansky pada tahun 1982. Perbedaan yang mendasar antara kedua algoritma ini adalah jumlah token (tanda) yang terbentuk yakni dua token pada LZSS dan tiga token pada LZ77. Dua token yang dihasilkan oleh LZSS menunjukkan indeks dan panjang karakter yang sama pada dictionary. Sedangkan pada algoritma LZ77, dua token awal mempunyai fungsi sama dengan LZSS namun ada tambahan satu token yang berisi satu karakter yang mengikuti frasa yang sama tersebut [16].

Untuk proses kompresi dan dekompresi akan dijelaskan secara detail sebagai berikut [17].

1. Proses Kompresi

Buffer dibagi menjadi dua, yakni buffer untuk pencarian dan buffer look-ahead. Setelah menginisialisasi buffer, karakter dibaca dari input data ke buffer data yang belum di kodekan. Untuk setiap karakter pada buffer yg belum di kodekan, dilakukan proses pencarian substring yang terpanjang di buffer pencarian sesuai dengan buffer look-ahead dimulai dengan karakter inputan pertama. Jika kecocokan substring sudah cukup, maka program akan mengkodekan indeks dan panjang substring ke dalam output. Jika tidak ada substring yang cocok dimulai dengan input pertama karakter masukan yang diberikan, maka karakter tersebut akan langsung ditulis ke output dengan *flag* yang menandakan tidak ada pengkodean yang dilakukan. Algoritma ini melakukan langkah-langkah ini sampai tidak ada karakter yang tertinggal. Pengkodean dua karakter yang sesuai membutuhkan jumlah byte yang sama jika kita langsung menampilkan dua karakter.

Berikut ini adalah contoh ilustrasi dari proses kompresi data [18]. Pada Gambar 5 menampilkan text asli yang masih belum di kompresi. Pada Gambar 6 akan menampilkan hasil kompresi yang telah dilakukan oleh algoritma LZSS.



Gambar 2.10 Contoh Text Asli [18]



Gambar 2.11 Hasil Teks yang Sudah Dikompresi [18]

Pada text asli yang belum mengalami pengompresan, jumlah byte yang dihasilkan adalah 177 byte dari 177 karakter (termasuk spasi dan enter). Setelah dilakukan kompresi, jumlah byte berkurang menjadi 94 byte. Ini tidak termasuk 12 byte pada flag yang menunjukkan apakah potongan teks berikutnya adalah pointer atau literal. Jika ditambahkan dengan jumlah flag maka total ukurannya menjadi 106 byte, tentunya ini masih lebih pendek jika dibandingkan dengan ukuran aslinya 177 byte.

1. Proses Dekompresi

Proses dekompresi dilakukan dengan menguraikan kode secara langsung dengan melibatkan membaca dan menulis ulang hasil tanpa melakukan pencarian apapun. Flag pengkodean dibaca untuk mengetahui karakter mana yang dikodekan. Jika flag menunjukkan bahwa karakter tersebut dikodekan, jumlah karakter dan posisi awal dikumpulkan dari bagian yang dikodekan. Kemudian jumlah karakter dengan indeks yang diberikan ditulis dari jendela geser ke file output atau memori. Jika tidak dikodekan, karakternya adalah output secara langsung. Dekompresi mengkonsumsi lebih sedikit sumber daya memori dan waktu komputasi jika dibandingkan dengan proses kompresi.

## Bahasa Pemrograman C

Bahasa C merupakan salah satu bahasa pemrograman level tingkat menengah yang menjadi induk dari bahasa pemrograman modern seperti C++, C#, PHP, Javascript dan masih banyak lagi. Bahasa pemrograman C dibuat pertama kali oleh Dennis M Ritchie dengan tujuan untuk mengembangkan sistem operasi UNIX yang sebelumnya menggunakan bahasa assembly. Adapun beberapa keunggulan bahasa C dibandingkan dengan bahasa pemrograman yang lain, yaitu: bahasa C termasuk bahasa pemrograman procedural, bahasa C sangat cepat dan efisien, dan Bahasa C merupakan portable language.

## MicroSD Card Adapter

MicroSD Card Adapter ini merupakan modul pembaca kartu MicroSD melalui system file dan SPI antarmuka driver, MCU untuk membaca dan menulis pada kartu microSD. Dengan menggunakan Arduino IDE dan libarary SD card, pengguna dapat menginisialisasi kartu SD card, membaca dan menulisnya.



Gambar 2.12 MicroSD Card Adapter

## DIGI XCTU

XCTU merupakan aplikasi multi-platform gratis yang dirancang untuk memungkinkan pengembangan modul Digi RF melalui antarmuka grafis yang mudah digunakan. Aplikasi ini dapat digunakan untuk melakukan konfigurasi dan pengujian pada modul XBee® RF. XCTU memiliki semua tools yang dibutuhkan pengembang untuk melakukan pengembangan dengan XBee. Terdapat fitur unik didalamnya, seperti tampilan jaringan grafis, yang secara grafis mewakili jaringan XBee yang ada bersama dengan kekuatan sinyal setiap sambungan. Selain itu kita dapat menggunakan XBee API yang secara intuitif membantu dalam membangun dan menafsirkan API frame untuk XBee yang menggunakan mode API. Dengan menggunakan aplikasi ini, kita lebih mudah dalam melakukan pengembangan pada platform wireless sensor network yang menggunakan XBee.



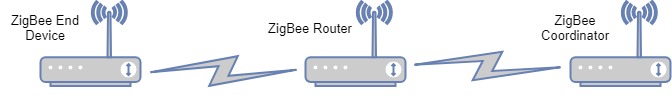
Gambar 2.13 Antarmuka XCTU

# BAB III PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

Bab ini membahas mengenai dasar dari perancanga sistem yang akan dibangun pada tugas akhir. Perancangan yang dibahas meliputi deskripsi umum sistem, proses perancangan, alur dan implementasinya.

## Deskripsi Umum Sistem

Pada tugas akhir ini akan dibangun suatu sistem kompresi dan dekompresi data pada platform wireless sensor network dengan menggunakan algorima heatshrink. Teknologi wireless sensor network menggunakan mikrokontroler Arduino dan protokol ZigBee sebagai jalur komunikasi.



Gambar 3.1 Deskripsi Umum Sistem

Terdapat tiga node yang akan digunakan, yaitu Coordinator, Router dan End Device. Setiap node memiliki komponen yang saling terhubung. Penjelasan komponen pendukung pada ketiga node tersebut sebagai berikut.

* Node Coordinator

Node ZigBee coordinator berfungsi untuk menerima data dari node Router. Data tersebut kemudian akan dikompresi sesuai konfigurasi yang ditentukan. Berikut ini adalah komponen pendukung sistem pada node Coordinator.

1. Mikrokontroler Arduino Mega sebagai computer yang mengendalikan sistem pada node Coordinator
2. XBee Shield
3. XBee Modul S2 sebagai perangkat radio komunikasi

* Node Router

Node ZigBee Router berfungsi untuk menerima data hasil kompresi dari node End Device kemudian meneruskannya ke node Coordinator. Berikut ini adalah komponen pendukung sistem pada node Router.

1. Mikrokontroler Arduino UNO sebagai computer yang mengendalikan sistem pada node Router
2. XBee Shield
3. XBee Modul S2 sebagai perangkat radio komunikasi

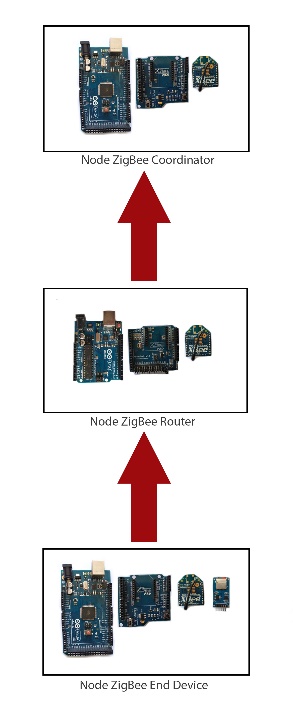
* Node End Device

Node ZigBee End Device bertugas melakukan kompresi data dan mengirimkan hasilnya beserta konfigurasi yang dikunakan ke node Router. Berikut ini adalah komponen pendukung sistem pada node End Device.

1. Mikrokontroler Arduino Mega sebagai computer yang mengendalikan sistem pada node End Device
2. XBee Shield
3. XBee Modul S2 sebagai perangkat radio komunikasi
4. MicroSd card adapter yang berfungsi untuk menampung data yang akan di kompresi

## Arsitektur Umum Sistem

Teknologi wireless sensor network yang dikembangkan pada tugas akhir ini, menggunakan perangkat XBee S2 yang akan berperan sebagai perangkat yang membantu komunikasi antar node dengan protokol ZigBee sebagai jalur komunikasinya. Arsitektur jaringan yang digunakan adalah *cluster tree*, dimana terdapat tiga jenis perangkat ZigBee yang dibutuhkan, yaitu node ZigBee Coordinator, node ZigBee Router dan node ZigBee End Device.



Gambar 3.2 Arsitektur Detail Sistem

Berdasarkan Gambar 3.2 sistem kompresi dan dekompresi data pada platform wireless sensor network memiliki alur proses yang akan dijabarkan sebagai berikut :

1. Pada ZigBee Coordinator, XBee Shield dipasang diatas Arduino Mega 2560, kemudian diatas XBee Shield tersebut dipasang modul XBee S2
2. Pada ZigBee Router, XBee Shield dipasang diatas Arduino Mega UNO, kemudian diatas XBee Shield tersebut dipasang modul XBee S2
3. Pada ZigBee End Device, XBee Shield dipasang diatas Arduino Mega 2560, kemudian diatas XBee Shield tersebut dipasang modul XBee S2. Selain itu dipasang juga modul MicroSD Card Adapter dihubungkan menggunakan kabel jumper ke pin Arduino Mega.

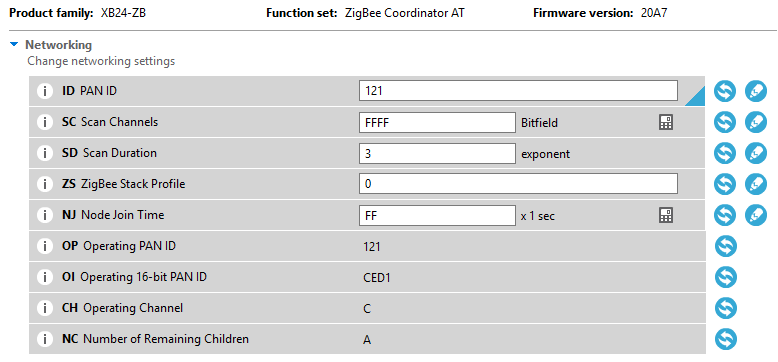
## Perancangan Komunikasi Sistem

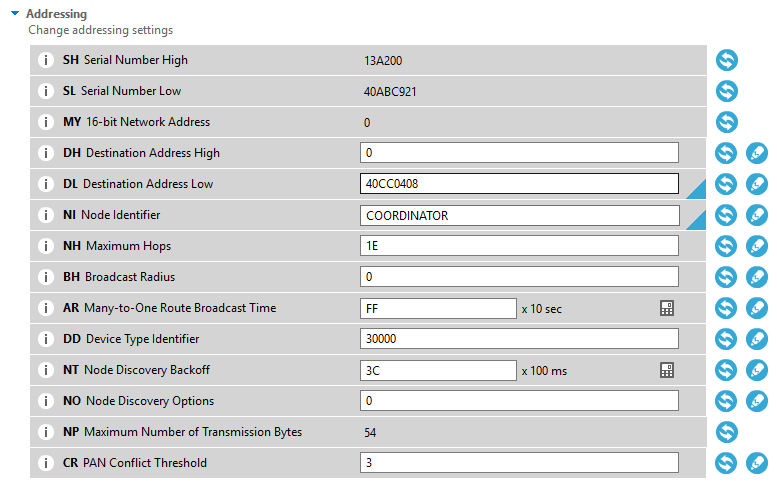
Perancangan komunikasi sistem merupakan salah satu proses penting yang harus dilakukan dalam membangun sistem agar node pada jaringan dapat saling berkomunikasi. Protokol jaringan komunikasi yang digunakan adalah protokol ZigBee, dimana pada jaringan tersebut minimal terdapat sebuah node yang bertindak sebagai Coordinator.

Pada penelitian tugas akhir ini, akan menggunakan satu buah node yang berfungsi sebagai ZigBee End Device, satu buah node yang berfungsi sebagai ZigBee Router dan satu node sebagai ZigBee Coordinator. Agar setiap node dapat berkomunikasi, harus dilakukan konfigurasi terlebih dahulu terhadap node coordinator dan router dengan memanfaatkan aplikasi XCTU yang disediakan oleh Digi International Inc. Beberapa hal yang harus di perhatikan pada saat melakukan konfigurasi antara lain :

* **Function Set**
* **ID** PAN ID
* **DH** Destination Address High
* **DL** Destination Address Low

Berikut ini adalah konfigurasi secara detail yang digunakan pada ZigBee Coordinator, ZigBee Router dan ZigBee End Device.

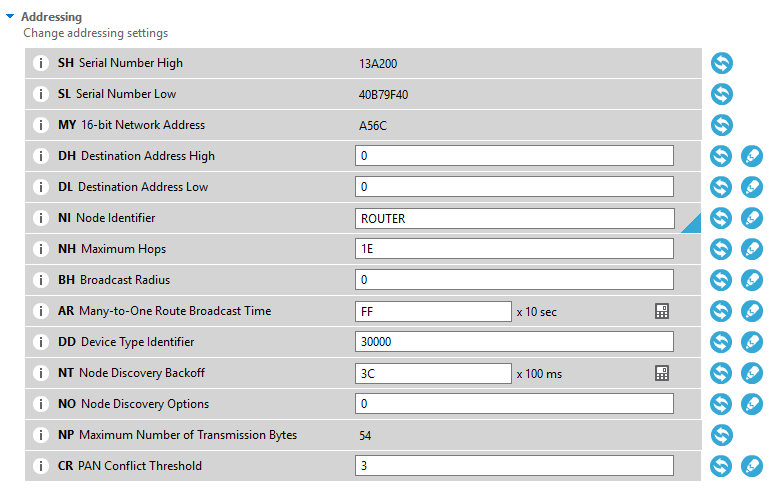




Gambar 3.3 Konfigurasi pada Node ZigBee Coordinator

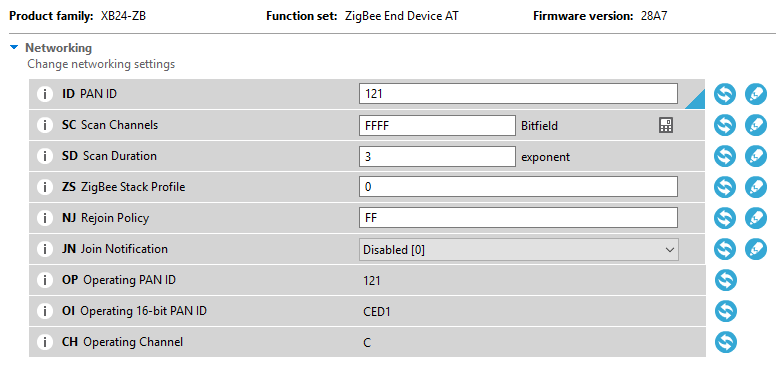
**Function Set** yang digunakan pada konfigurasi node ZigBee Coordinator adalah **ZigBee Coordinator AT**. Untuk **PAN ID (ID)** nya **121**. PAN ID ini memiliki fungsi yang hampir sama dengan subnet, dimana semua node yang ada pada jaringan ZigBee nilainya harus sama agar dapat saling berkomunikasi. **Destination Address High (DH)** yang digunakan yaitu **0** dan **Destination Address Low (DL)** yaitu **40CC0408**. Konfigurasi yang digunakan bertujuan agar node ZigBee Coordinator hanya dapat menerima pesan dari node ZigBee Router.





Gambar 3.4 Konfigurasi pada Node ZigBee Router

Setelah mensetting node Coordinator, langkah selanjutnya adalah mensetting node Router. **Function Set** yang digunakan pada konfigurasi node ZigBee Router adalah **ZigBee Router AT**. Untuk **PAN ID (ID)** nilainya **121**. **Destination Address High (DH)** yang digunakan yaitu **0** dan **Destination Address Low (DL)** yaitu **0.** Konfigurasi yang digunakan bertujuan agar node Router dapat menerima pesan dari node ZigBee End Device dan dapat meneruskannya ke node ZigBee Coordinator.

****

****

Gambar 3.5 Konfigurasi pada Node ZigBee End Device

**Function Set** yang digunakan pada konfigurasi node ZigBee Router adalah **ZigBee End Device AT**. Untuk **PAN ID (ID)** nilainya **121**. **Destination Address High (DH)** yang digunakan adalah **13A200**, dimana nilai ini didapat dari **Serial Number High (SH)** pada node ZigBee Router. Selainnya itu **Destination Address Low (DL)** nilainya **40B79F40** yang merupakan nilai **Serial Number Low (SL)** pada node ZigBee Router. Konfigurasi ini bertujuan agar node ZigBee End Device dapat megirimkan pesan pada node ZigBee Router.

## Perancangan Kompresi dan Dekompresi Data

Pada bagian ini akan dijelaskan bagaimana perancangan yang dilakukan sebelum data di kompresi. Untuk melakukan proses kompresi dan dekompresi, pada penelitian ini menggunakan algoritma Heatshrink, dimana algoritma ini berbasis pada algoritma Lempel-Ziv-Storer-Szymanski (LZSS).

Kebutuhan memori merupakan suatu hal yang mendasar dalam melakukan perancangan kompresi dan dekompresi data, sebab jumlah memori yang tersedia pada Arduino sangat terbatas. Pada algoritma heatshrink ukuran buffer telah ditetapkan untuk memungkinkan terjadinya *trade-off* antara efektivitas kompresi dengan memori kerja. Persyaratan yang dibutuhkan untuk penggunaan buffer IO adalah sebagai berkut [15]:

1. Encoding

16 + 2 ∗ byte untuk encoding, ditambah lagi untuk indeks pencarian optional yakni 2 ∗ byte untuk mempercepat pengkodean

1. Decoding

16 + byte untuk decoding, dimana N dapat di atur pada saat pengodean (encoding)

### Cara Kerja Algoritma Heatshrink

Lempel-Ziv-Storer-Szymanski (LZSS) membutuhkan sedikit ruang kerja dimana cache yang diperlukan adalah 2^N byte dari data terakhir (N dapat dikonfigurasi) dan proses dekompresi yang dilakukan cukup sederhana. System yang dijalankan juga cukup sederhana, dump data kedalam, terus putar engkol sampai tidak ada lagi data yang keluar, dump data lebih banyak, ulangi proses tersebut. Notifikasi encoder / decoder ketika akhir input telah tercapai, lakukan sampai selesai. Pada Gambar 3.6 menjelaskan diagram alir cara kerja algoritma Heatshrink.



Gambar 3.6 Diagram Alir Cara Kerja Algoritma Heatshrink

Berikut ini adalah cara kerja pada algoritma Heatshrink [19] :

1. Alokasikan **heatshrink\_encoder** atau **heatshrink\_decoder** pada state machine menggunakan fungsi **alloc** atau dapat mengunakan **static alloc** dan panggil fungsi reset untuk memulai inisialisasi
2. Gunakan **sink** untuk memasukkan input buffer kedalam state machine. Pointer pada input\_size digunakan untuk menunjukkan seberapa banyak byte dari buffer input yang digunakan (jika nilainya 0 maka buffernya penuh)
3. Gunakan **poll** untuk memindahkan output dari state machine ke buffer output. Pointer pada output\_size menunjukkan berapa banyak byte yang dihasilkan dan fungsi return menunjukkan apakah output selanjutnya tersedia (State mechine tidak boleh mengeluarkan data sampai ia menerima input yang cukup)
4. Ulangi langkah 2 dan 3 untuk melakukan stream data melalui state machine. Pada saat kompresi data, ukuran input dan output dapat bervariasi secara signifikan. Looping diperlukan untuk buffer input dan output dalam pemrosesan data.
5. Ketika input stream selesai, panggil fungsi **finish** untuk memberitahu bahwa state machine tidak lagi bisa menerima input. Nilai kembalian dari proses yang terlah selesai menunjukkan apakah ada output yang tersisa. Jika ada, panggil fungsi **poll** lagi.
6. Kemudian panggil fungsi **finish** dan flush sisa output hingga selesai, sampai sisa output habis.

### Konfigurasi Algoritma Heatshrink

Heatshrink memiliki beberapa opsi konfigurasi yang dapat mempengaruhi penggunaan sumberdaya dan seberapa efektif ia dapat memampatkan data. Konfigurasi ini dapat diatur secara dinamis pada saat akan melakukan kompresi dan dekompresi atau dapat pula di setting statis pada file heatshrink\_config.h. Adapun konfigurasi yang dimaksudkan adalah sebagi berikut :

* window\_sz2

Ukuran window menentukan seberapa panjang input yang dapat dicari untuk pola yang berulang. Semakin besar ukuran window maka akan menggunakan memori semakin banyak, tetapi dapat melakukan kompresi lebih efektif dalam mendeteksi pengulangan yang lebih banyak. Sebuah window\_sz2 = 8 akan menggunakan memori 256 byte (2^8), sedangkan window\_sz2 = 10 akan menggunakan memori 1024 byte (2^10). Pengaturan window\_sz yang tersedia adalah antara 4 sampai 15

* lookahead\_sz2

Ukuran lookahead menentukan panjang maksimal unttuk pola berulang yang ditemukan. Jika lookahead\_sz2 adalah 4, ‘a’ 50-bit dari karakter ‘a’ akan direpresentasikan sebagai pola 16-byte berulang (2^4). Jumlah bit yang digunakan unutk ukuran lookahead bersifat tetap, sehingga ukuran lookahead yang besar dapat mengurangi kompresi dengan menambahkan bit yang tidak digunakan ke pola-pola kecil. Pengaturan lookahead\_sz2 yang ada saat ini adalah antara 3 sampai window\_sz – 1.

* input\_buffer\_size

Besar atau kecilnya buffer input yang digunakan untuk decoder ditentukan oleh input\_buffer\_size. Ukuran buffer input berdampak pada seberapa banya pekerjaan yang dapat dilakukan decoder dalam satu langkah, dan semakin besar buffer maka memori yang dibutuhkan semakin banyak. Buffer yang sangat kecil (misalnya 1 byte) akan menambah overhead karena banyak banyak melakukan pemanggilan fungsi suspend / resume, akan tetapi input\_buffer\_size tidak mempengaruhi seberapa baik dalam melakukan kompresi data.

## Perancangan Pengiriman Data

Pengiriman data adalah suatu hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan system ini, sebab keterbatasan buffer yang ada pada protokol ZigBee yaitu sebesar 72 byte menjadi landasan dasar untuk melakukan perancangan pengiriman data yang tepat.

Pada penelitian ini protocol ZigBee menggunakan mode AT atau lebih dikenal mode “Transparan”. Dalam mode AT, data akan segera dikirim ke modul jarak jauh yang diidentifikasi melalui alamat tujuan yang ada pada memori modul XBee. Alamat tujuan dapat di konfigurasi oleh pengguna pada mode Command. Jika XBee menggirimkan data ke Coordinator maka akan di broadcast pada PanID. Informasi paket tidak diperlukan, tetapi prosesnya lebih sederhana, dimana Serial data dikirimkan ke Tx dari satu XBee dan akan diterima oleh Rx tujuan XBee. Mode AT cocok digunakan pada jaringan yang sangat sederhana, karena tidak perlu untuk mengubah alamat tujuan terlalu sering. Pada Gambar 3.7 menjelaskan bagaimana proses pengiriman data dari node ZigBee End Device menuju node ZigBee Router.

****

Gambar 3.7 Diagram Alir Pengiriman Data

## Perancangan Dekompresi Data

Data yang dikirimkan oleh node ZigBee Router akan di terima oleh node ZigBee Coordinator melalui jaringan ZigBee. Potongan – potongan data tersebut akan ditampung terlebih dahulu dan kemudian akan di satukan kembali untuk di proses kembali. Proses dekompresi akan dilakukan ketika data dekompresi yang diterima sudah utuh beserta konfigurasi encoder / decoder yang digunakan. Pada Gambar 3.8 menjelaskan bagaimana proses dekompresi data.



Gambar 3.8 Diagram Alir Dekompresi Data

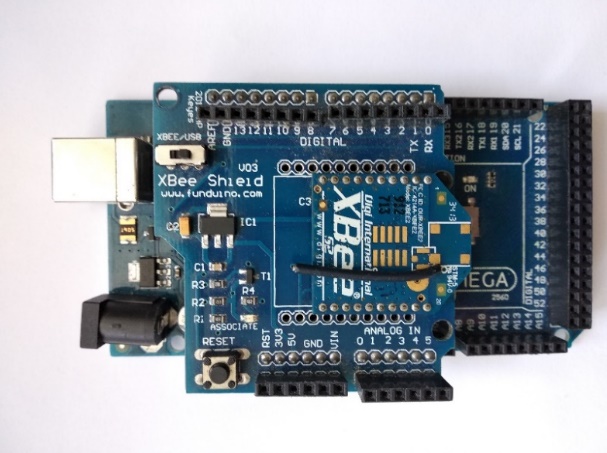
## Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras secara umum menjelaskan mengenai penempatan perangkat keras yang digunakan dalam membangun sistem, yang mana terdiri dari rangkaian ZigBee Coordinator, ZigBee Router dan ZigBee End Device. Rangkaian perangkat keras pada sistem dapat dilihat pada Gambar 3.9 dan Gambar 3.10. Agar sistem dapat berjalan sebagai mestinya, terdapat beberapa komponen yang dibutuhkan antara lain:

1. Dua buah Arduino Mega
2. Satu buah Arduino UNO
3. Satu buah baterai 9V
4. Tiga buah XBee Shield
5. Tiga buah XBee S2
6. Satu buah MicroSD Card Adapter
7. Satu buah SD Card

## Perancangan Perangkat ZigBee Coordinator

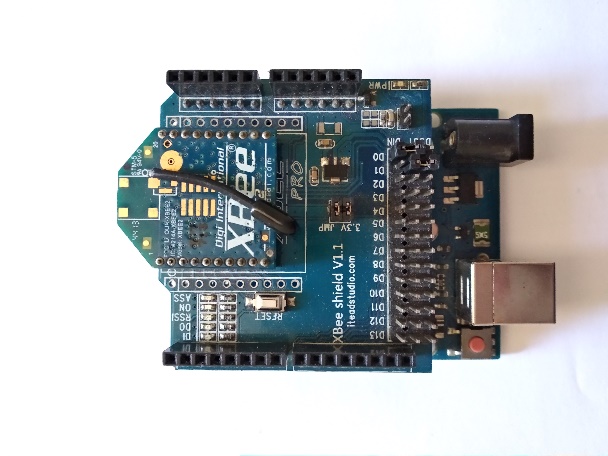
Pada rangkaian ZigBee Coordinator, XBee Shield V03 pabrikan Funduino menempati tepat di bagian atas Arduino Mega 2560 dengan posisi pin Tx dan Rx yang sama dengan pin Tx dan Rx pada XBee Shield. Kemudian modul XBee S2 Pro di letakkan pada space yang telah disediakan pada XBee Shield. Pastikan kepala modul XBee S2 menghadap arah yang berlawanan dengan konektor USB.



Gambar 3.9 Node ZigBee Coordinator

## Perancangan Perangkat ZigBee Router

Pada rangkaian ZigBee Router, XBee Shield V1.1 pabrikan ITead Studio menempati tepat di bagian atas Arduino UNO dengan posisi pin Tx dan Rx yang sama dengan pin Tx dan Rx pada XBee Shield. Kemudian modul XBee S2 Pro di letakkan pada space yang telah disediakan pada XBee Shield. Pastikan kepala modul XBee S2 menghadap arah yang berlawanan dengan konektor USB.



Gambar 3.10 Node ZigBee Router

## Perancangan Perangkat ZigBee End Device

Pada rangkaian ZigBee End Device posisinya hampir sama dengan rangkaian ZigBee Coordinator. Xbee Shield diletakkan diatas Arduino Mega dengan posisi pin Tx dan Rx yang sama. Selain itu letakkan modul XBee S2 pada tempat yang telah disediakan. Pada perangkat ZigBee Router membutuhkan MicroSD Card Adapter yang berfungsi untuk menampung data yang akan di kompresi. Pastikan sudah terdapat SD Card pada modul tersebut, kemudian sambungkan pin yang terdapat pada MicroSD Card Adapter kepada pin yang sudah ditentukan, berikut ini rincian pinnya :

* Pin **CS** dihubungkan dengan pin **digital 53**
* Pin **SCK** dihubungkan dengan pin **digital 52**
* Pin **MOSI** dihubungkan dengan pin **digital 51**
* Pin **MISO** dihubungkan dengan pin **digital 50**
* Pin **VCC** dihubungkan dengan pin **tegangan 5V**
* Pin **GND** dihubungkan dengan pin **GND**



Gambar 3.11 Node ZigBee End Device disertai MicroSD

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

# BAB IV IMPLEMENTASI

Bab ini membahas mengenai implementasi yang dilakukan berdasarkan rancangan yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya. Implementasi berupa pseudocode untuk membangun program. Cakupan implementasi dari perancangan sistem ini meliputi perangkat node ZigBee Router yang bertugas untuk melakukan kompresi data dan mengirimkan hasilnya ke perangkat node ZigBee Coordinator, kemudian akan di dekompresi berdasarkan konfigurasi yang telah diterima sebelumnya. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa pemrograman C.

## Lingkungan Implementasi

Lingkungan implementasi merupakan suatu lingkungan dimana sistem akan dibangun. Untuk mempermudah penjelasan, lingkungan impelementasi akan terbagi menjadi dua bagian. Pembahasan pertama mengenai lingkungan implementasi perangkat keras dan pembahasan kedua mengenai lingkungan implementasi perangkat lunak.

### Lingkungan Implementasi Perangkat Keras

Pada bagian ini akan dibahas mengenai perangkat keras apa saja yang dibutuhkan untuk membangun system. Linkungan implementasi perangkat keras dari system yang akan dibangun secara lebih lengkap dijelaskan pada Tabel 4.1 dibawah ini

Tabel 4.1 Lingkungan Implementasi Perangkat Keras

|  |  |
| --- | --- |
| Perangkat | Detail Perangkat |
| Perangkat Komputer | Model :   * Lenovo Y410P |
| Manufaktur :   * Lenovo |
| Processor :   * Intel® Core™ i7-4700MQ (2.40GHz 1600MHz 6MB) |
| Memori :   * 8GB PC3-12800 DDR3L SDRAM 1600 MH |
| Perangkat Mikrokontroler | Mikrokontroler :   * ATmega2560 |
| Model :   * Arduino Mega 2560 (a) * Ardino UNO (b) |
| Tegangan :   * 5 V (a) * 5 V (b) |
| Memori Flash :   * 256 KB (8KB digunakan untuk bootloader) (a) * 32 KB (0.5KB digunakan untuk bootloader) (b) |
| SRAM :   * 8 KB (a) * 2 KB (b) |
| Perangkat XBee Shield | Model:   * XBee Shield V0.3 (a) * XBee Shield V1.1 (b) |
| Manufaktur :   * Funduino (a) * ITead Studio (b) |
| Tipe jumper :   * Switch (a) * Pasang lepas (b) |
| Perangkat Modul XBee | Model :   * XBee S2 |
| Manufaktur :   * Digi International Inc. |

### Lingkungan Implementasi Perangkat Lunak

Pada bagian ini akan dibahas mengenai perangkat lunak apa saja yang dibutuhkan untuk membangun sistem. Linkungan impementasi perangkat lunak dari sistem yang akan dibangun secara lebihh detail akan dijelaskan pada Tabel 4.2 dibawah ini.

Tabel 4.2 Lingkungan Implementasi Perangkat Lunak

|  |  |
| --- | --- |
| Perangkat | Detail Perangkat |
| Perangkat Lunak | Sistem Operasi :   * Microsoft Windows 10 Pro 64-bit |
| Software Arduino :   * Arduino IDE 1.8.5 |
| Software XBee :   * DIGI XCTU 6.3.13 |

## Implementasi Perangkat Keras

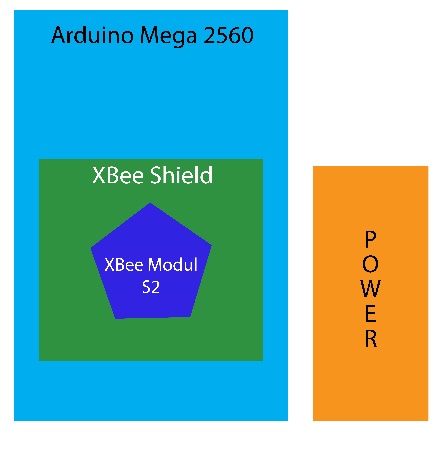
Implementasi perangkat keras untuk penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

* 2 (dua) buah Arduino Mega
* 1 (satu) buah Arduino UNO
* 3 (tiga) buah XBee Shield
* 3 (tiga) buah XBee S2
* 1 (satu) buah MicroSD Card Adapter
* 1 (satu) buah SD Card
* 1 (satu) buah baterai 9 volt

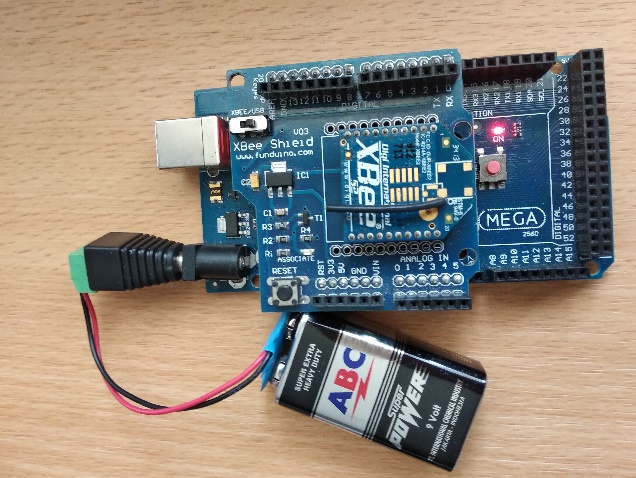
Pada node End Device, terdapat sdcard yang menampung data yang akan dikompresi. Setelah data selesai dikompresi, data kemudian dikirimkan ke node ZigBee Router beserta konfigurasi yang telah digunakan. Kemudian node ZigBee Router meneruskan data yang diterima ke node ZigBee Coordinator untuk dilakukan dekompresi berdasarkan konfigurasi yang ditetapkan. Perancangan serta implementasi perangkat node ZigBee Coordinator, node ZigBee Router dan node ZigBee End Device akan dijabarkan lebih mendetail pada Gambar 4.2, Gambar 4.4 dan Gambar 4.6

### Perangkat Node ZigBee Coordinator

Perangkat node ZigBee Coordinator tersusun dari Arduino Mega, XBee Shield, dan modul XBee S2. Zigbee Coordinator memiliki peranan dalam menerima data dari ZigBee Router dan akan mendekompresi data yang telah diterima. Pada gambar 4.1 memperlihatkan perancangan dari node ZigBee Coordinator, sedangkan pada Gambar 4.2 merupakan implementasi dari node ZigBee Coordinator.



Gambar 4.1 Perancangan Node ZigBee Coordinator

****

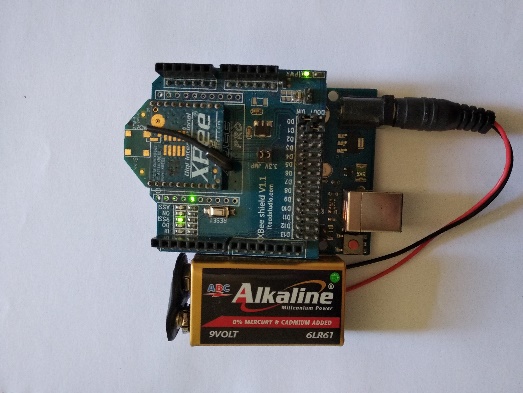
Gambar 4.2 Implementasi Node ZigBee Coordinator

### Perangkat Node ZigBee Router

Perangkat node ZigBee Router tersusun dari Arduino UNO, XBee Shield, dan modul XBee S2 dan MicroSD Card Adapter. ZigBee Router memiliki peranan sebagai penghubung antara node ZigBee Router dengan node ZigBee End Device. Pada Gambar 4.3 memperlihatkan perancangan dari node ZigBee Router dan Gambar 4.4 merupakan implementasi dari node ZigBee Router.



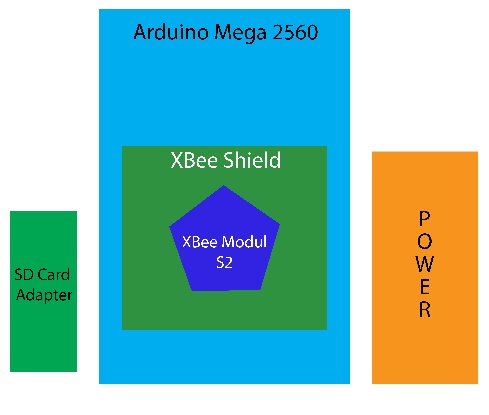
Gambar 4.3 Perancangan Node ZigBee Router



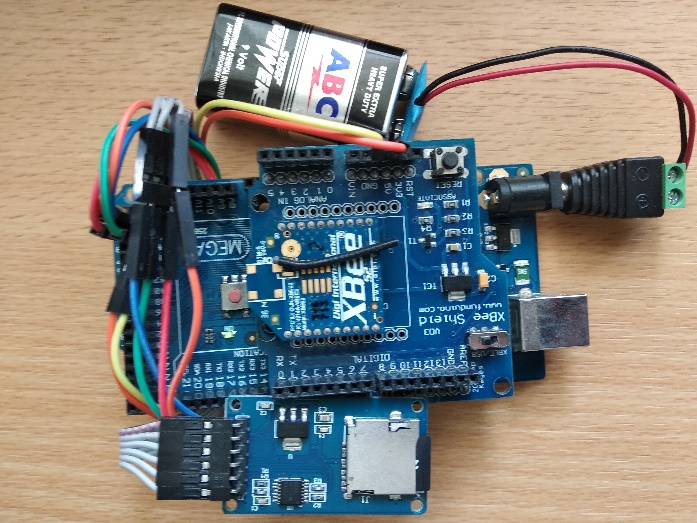
Gambar 4.4 Implementasi Node ZigBee Router

### Perangkat Node ZigBee End Device

Perangkat node ZigBee Router tersusun dari Arduino Mega, XBee Shield, dan modul XBee S2 dan MicroSD Card Adapter. ZigBee End Device memiliki peranan dalam mengambil data dari *sd card* melakukan kompresi data dan mengirimkan data tersebut menuju node ZigBee Router. Pada Gambar 4.5 memperlihatkan perancangan dari node ZigBee End Device dan Gambar 4.6 merupakan implementasi dari node ZigBee End Device.



Gambar 4.5 Perancangan Node ZigBee End Device



Gambar 4.6 Implementasi Node ZigBee End Device

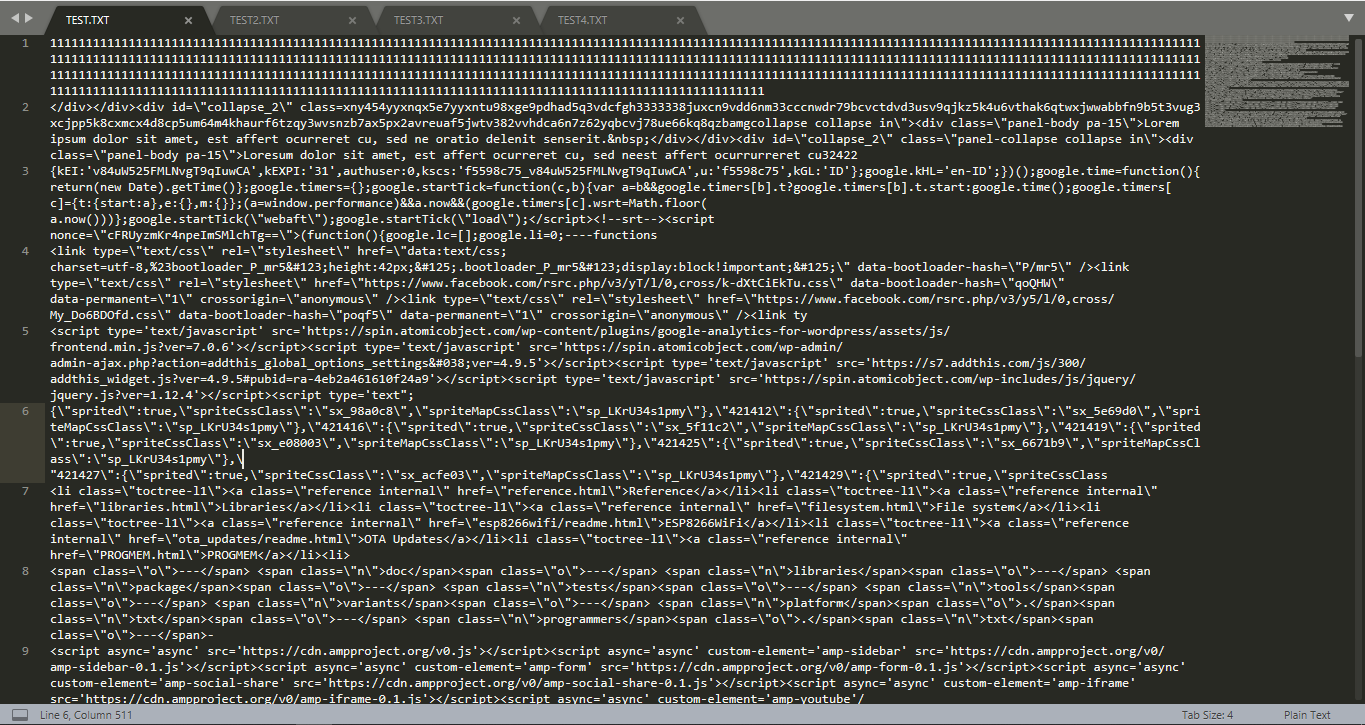
## Implementasi Inisialisasi Data Pada SD Card

Data yang akan dikompresi berupa string diletakkan pada SD Card. Sebelum melakukan kompresi data, terlebih dahulu kita harus menginisialisasi data. Pada penelitian ini terdapat lima jenis data yang akan dikompresi, dimana masing – masing data memiliki panjang yang berbeda. Data tersebut akan disimpan dalam bentuk file txt. Berikut ini adalah kelima data tersebut :

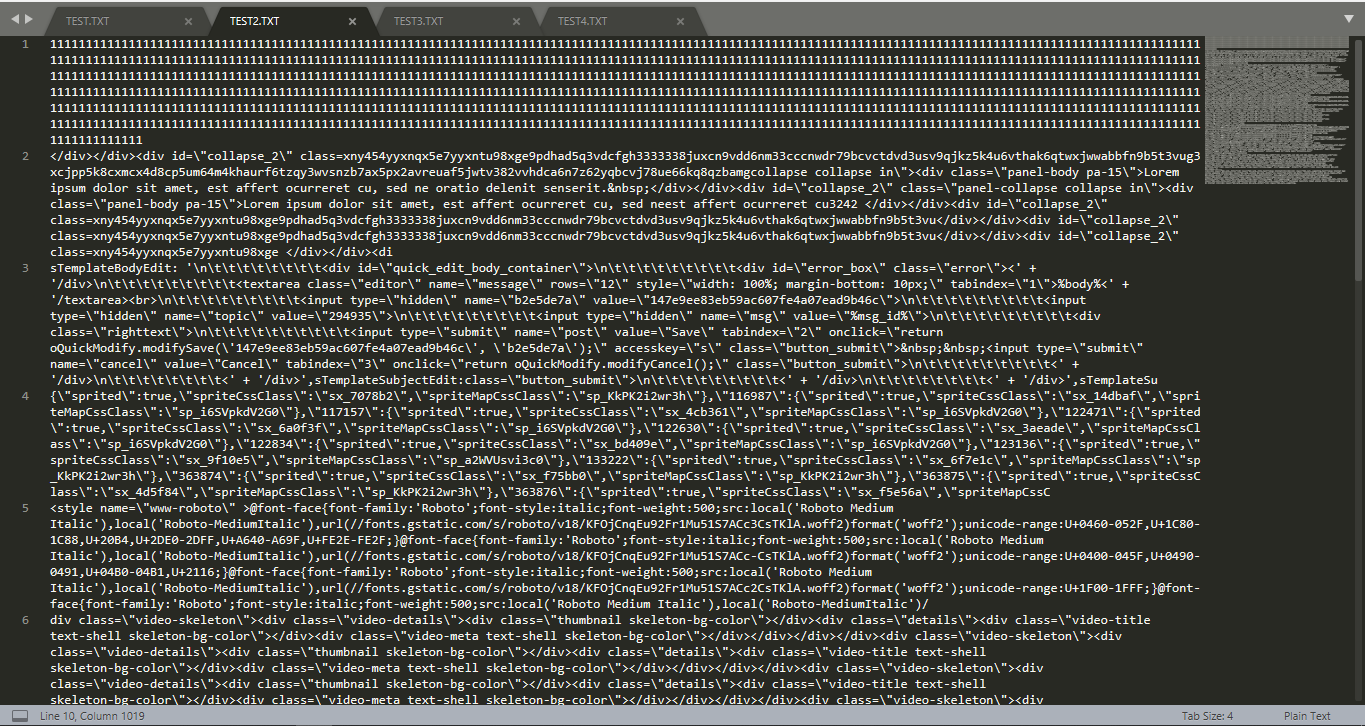
* Data string dengan panjang 584 karakter
* Data string dengan panjang 980 karakter
* Data string dengan panjang 1280 karakter
* Data string dengan panjang 1345 karakter
* Data string dengan panjang 1870 karakter

Setiap file menyimpan data dengan panjang yang sama. Sebagai contohnya file data\_584.txt menyimpan data dengan panjang 584 karakter, dimana setiap baris data yang ada pada file tersebut panjangnya sama yaitu 584 karakter.

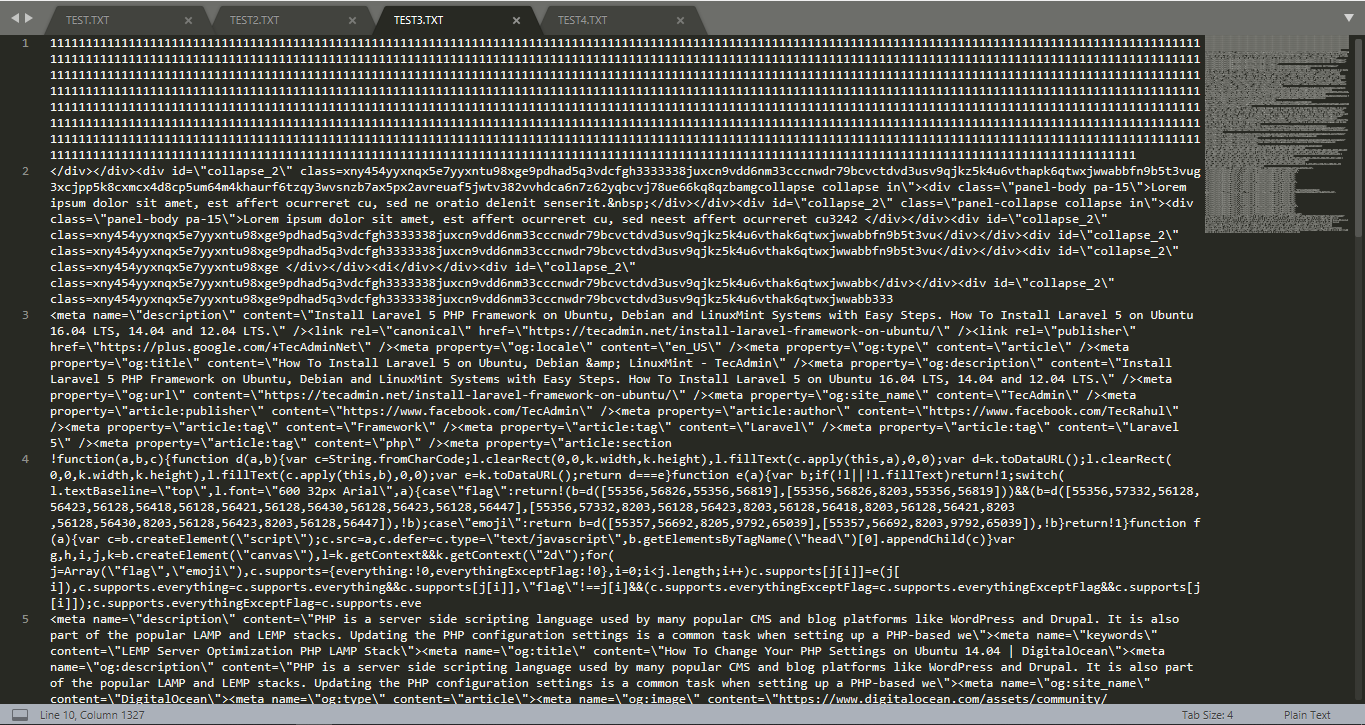
Pada Gambar 4.7 merupakan contoh file txt dengan panjang string 584 karakter per baris. Pada Gambar 4.8 merupakan contoh file txt dengan panjang string 980 karakter per baris. Pada Gambar 4.9 merupakan contoh file txt dengan panjang string 1280 karakter per baris. Pada Gambar 4.10 merupakan contoh file txt dengan panjang string 1345 karakter per baris. Pada Gambar 4.11 merupakan contoh file txt dengan panjang string 1870 karakter per baris.



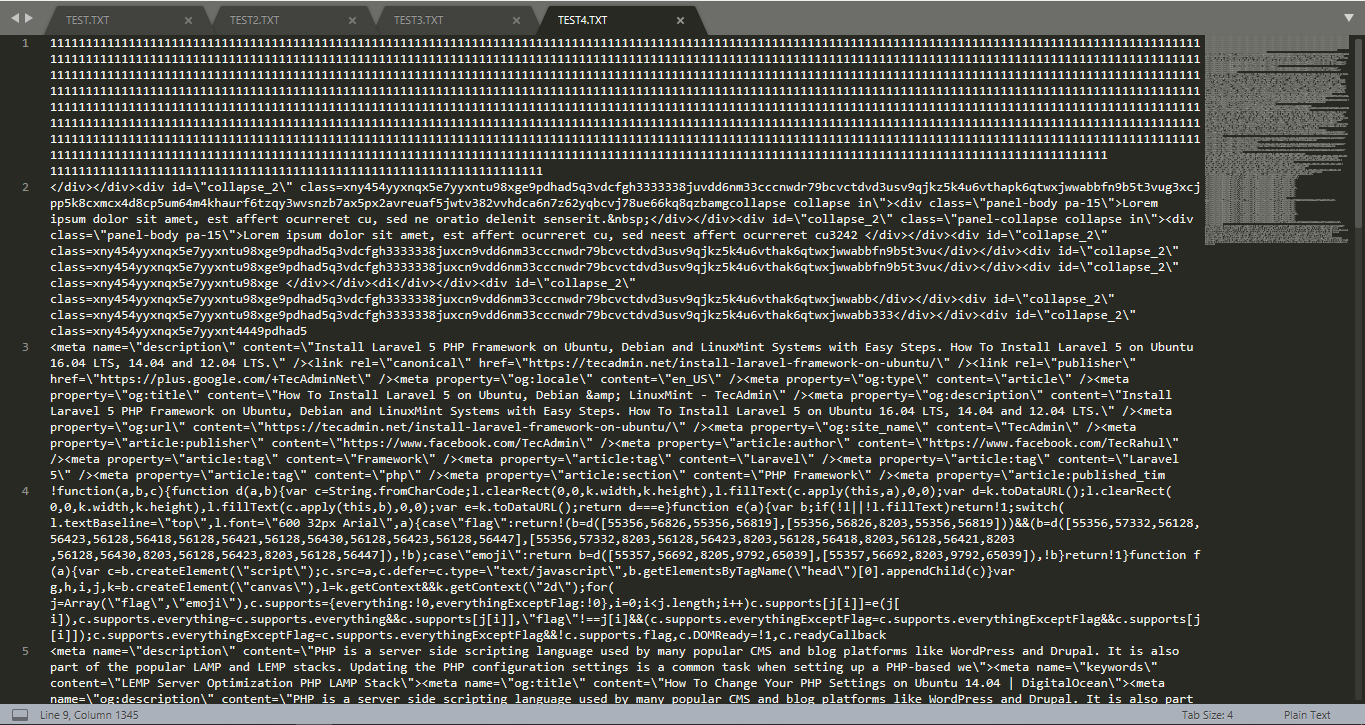
Gambar 4.7 Data dengan Panjang 584 Karakter per Baris



Gambar 4.8 Data dengan Panjang 980 Karakter per Baris



Gambar 4.9 Data dengan Panjang 1280 Karakter per Baris



Gambar 4.10 Data dengan Panjang 1345 Karakter per Baris



Gambar 4.11 Data dengan Panjang 1870 Karakter per Baris

## Implementasi Membaca Data dari SD Card

Setelah data dibagi kedalam masing-masing file, maka data akan siap di kompresi. Pada node Router data akan diambil dari *sd card* per baris. Kemudian data tersebut di akan di ubah kedalam array lalu siap untuk kompresi dengan konfigurasi yang telah ditentukan.

|  |  |
| --- | --- |
| 1  2  3  4  5  6  7 | **function** readData()  myFile <- load DataFile  while(myFile.available()) do  data <- myFile.readByLine  data.toArray(data\_test, data\_sz)  endwhile  endfunction |

Kode Sumber 4.1 *Pseuducode* Membaca Data dari sdcard

## Implementasi Setting Konfigurasi Encoder / Decoder

Implementasi setting konfigurasi encoder / decoder bertujuan untuk melakukan setting konfigurasi yang akan digunakan encoder dalam proses kompresi data. Adapun konfigurasi yang akan digunakan yaitu sebagai berikut :

* window\_sz2 menggunakan konfigurasi antara 4 sampai 8
* lookahead\_sz2 menggunakan konfigurasi nilai 3 sampai window\_sz2 – 1
* input\_buffer\_size yang digunakan adalah 64

|  |  |
| --- | --- |
| 1  2  3  4  5  6  7 | **function** setConfiguration()  Configuration cfg := new Configuration()  cfg.log\_level <- value  cfg.window\_sz <- value  cfg.lookahead\_sz <- value  cfg.decoder\_input\_buffer\_sz <- value  endfunction |

Kode Sumber 4.2 *Pseuducode* Setting Konfigurasi Encoder / Decoder

## Implementasi Kompresi Data

Implementasi kompresi data yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan library Heatshrink yang merupakan salah satu algoritma kompresi data yang berbasis pada algoritma Lempel-Ziv-Storer-Szymanski (LZSS).

|  |  |
| --- | --- |
| 1  2  .  3  4  5  .  .  6  7  .  8  9  10  11  .  .  12  13  14  15  16  17  18  19  20 | **function** compressData(input, input\_sz, cfg)  heatshrink\_encoder hse <-  heatshrink\_encoder\_alloc(cfg)  comp <- malloc  while(sunk < input\_sz) do  HSE\_sink\_res esres <-  heatshrink\_encoder\_sink(hse,  input[sunk], input\_sz – sunk, count)  sunk <- sunk + count  if(sunk == input\_sz) then  heatshrink\_encoder\_finish(hse)  endif  HSE\_poll\_res pres  do  pres <- heatshrink\_encoder\_poll(hse,  comp[polled], comp\_sz – polled, count)  polled <- polled + count  while (pres == HSER\_POLL\_MORE)  if(sunk == input\_sz) then  heatshrink\_encoder\_finish(hse)  endif  endwhile  free(comp)  heasthrink\_encoder\_free(hse)  return polled  endfunction |

Kode Sumber 4.3 *Pseuducode* Kompresi Data

## Implementasi Mekanisme Pengiriman Data

Pada penelitian ini, pengiriman data yang dilakukan oleh node ZigBee Router menggunakan mode Router AT. Proses pengiriman data memanfaatkan kelas Serial yang ada pada Arduino. Data hasil kompresi yang akan dikirimkan akan dipecah menjadi beberapa bagian kecil. Dalam satu kali pengiriman jumlah data yang dapat di kirimkan adalah sebanyak 16 buah, dimana terdapat delay 3 detik untuk setiap pengiriman data. Setelah data kompresi dikirimkan semua, konfigurasi encoder / decoder yang digunakan juga akan dikirimkan ke node ZigBee Coordinator.

|  |  |
| --- | --- |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18 | **function** sendData(comp, cfg, polled, length\_data)  Serial(comp[0])  for i=1 to polled do  if(i mod 16 == 0) then  Serial(comp[i])  Serial(“\n”)  else  Serial(comp[i])  Serial(“\n”)  endif  endfor  delay()  Serial(length\_data)  Serial(cfg.window\_sz)  Serial(cfg.lookahead\_sz)  Serial(cfg.decoder\_input\_buffer\_sz)  Serial(polled)  endfunction |

Kode Sumber 4.4 *Pseuducode* Mekanisme Pengiriman Data

## Implementasi Dekompresi Data

Potongan – potongan data yang dikirimkan oleh node ZigBee Router akan disatukan kembali pada Node ZigBee Coordinator. Setelah data hasil kompresi utuh, maka proses dekompresi data akan siap dilakukan dengan konfigurasi encoder / decoder yang dikirimkan juga oleh node ZigBee Router.

|  |  |
| --- | --- |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11 | **function** reformingData()  if(Serial.available() > 0) then  incomingByte <- Serial.read()  if(incomingByte != “\n”) then  stringData <- stringData + incomingByte  elseif( incomingByte == “\n”)) then  num[idx] <- stringData.toInt()  idx++  endif  endif  endfunction |

Kode Sumber 4.5 *Pseuducode* Pembentukan Ulang Data

|  |  |
| --- | --- |
| 1  2  3  .  4  5  6  .  7  8  9  10  11  12  13  .  .  14  15  16  17  18  19  20 | **function** decompressData(input, input\_sz, cfg, output, output\_sz, polled)  heatshrink\_decoder hsd <-  heatshrink\_decoder\_alloc(cfg)  comp\_sz <- polled  while(sunk < comp\_sz) do  heatshrink\_decoder\_sink(hsd,  input[sunk], comp\_sz - sunk, count)  sunk <- sunk + count  if(sunk == comp\_sz) then  heatshrink\_decoder\_finish(hsd)  endif  HSE\_poll\_res pres  do  pres <- heatshrink\_decoder\_poll(hsd,  output[polled], output\_sz – polled, count)  polled <- polled + count  while (pres == HSDR\_POLL\_MORE)  if(sunk == comp\_sz) then  heatshrink\_dencoder\_finish(hsd)  endif  endwhile  endfunction |

Kode Sumber 4.6 *Pseuducode* Dekompresi Data

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

# BAB V HASIL UJI COBA DAN EVALUASI

Bab ini membahas pengujian dan evaluasi pada Tugas Akhir yang telah dikerjakan. Uji coba yang akan dilakukan secara garis besar terdiri dari uji coba fungsionalitas dan uji coba performa. Mekanisme uji coba dilakukan dengan menjalankan serangkaian scenario yang telah ditentukan. Pengujian fungsionalitas meliputi uji coba setiap bagian perangkat keras yang dirangkai pada Arduino dan uji coba keseluruhan sistem. Sedangkan pengujian performa meliputi efektifitas hasil kompresi, waktu yang dibutuhkan unutk kompresi dan dekompresi serta energi yang dapat dihemat oleh system. Bagian akhir dari bab ini akan membahas mengenai evaluasi dari serangkaian uji coba yang telah dilakukan.

## Lingkungan Uji Coba

Lingkungan pelaksanaan uji coba meliputi perangkat keras dan perangkat lunak yang akan digunakan pada sistem ini. Spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam rangka uji coba perangkat lunak ini dicantumkan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Spesifikasi Lingkungan Uji Coba

|  |  |
| --- | --- |
| Perangkat Keras | |
| Node ZigBee Coordinator | Rangkaian dari : |
| - Arduino Mega 2560 |
| - XBee Shield |
| - XBee Modul S2 |
| - Baterai 9 Volt |
| Node ZigBee Router | Rangkaian dari : |
| - Arduino UNO |
| - XBee Shield |
| - XBee Modul S2 |
| - Baterai 9 Volt |
| Node ZigBee End Device | Rangkaian dari : |
| - Arduino Mega 2560 |
| - XBee Shield |
| - XBee Modul S2 |
| - MicroSD Card Adapter |
| - Baterai 9 Volt |
| - SD Card |
| Perangkat Lunak | |
| Sistem Operasi | Microsoft Windows 10 Pro 64-bit |
| Software Arduino | Arduino IDE 1.8.5 |
| Software XBee | DIGI XCTU 6.3.13 |

Terdapat tiga lokasi berbeda yang dijadikan tempat untuk uji coba. Lokasi pertama seperti Gambar 5.1 berada di Laboratorium KBJ Departemen Informatika ITS



Gambar 5.1 Lokasi Pertama

Lokasi kedua yang dijadikan tempat untuk uji coba seperti Gambar 5.2 berada di Lapangan Departemen Informatika ITS



Gambar 5.2 Lokasi Kedua

Sedangkan untuk lokasi ketiga seperti Gambar 5.3 berada di Lantai 3 Departemen Informatika ITS.



Gambar 5.3 Lokasi Ketiga

## Data Pengujian

Subbab ini menjelaskan mengenai data yang digunakan pada uji coba. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, data yang akan digunakan untuk melakukan pengujian harus di buat terlebih dahulu. Data yang digunakan untuk mengujian berupa data string dimana data akan terbagi menjadi lima jenis data yang berbeda berdasarkan panjangnya. Berikut ini adalah kelima data tersebut :

* Data string dengan panjang 584 karakter
* Data string dengan panjang 980 karakter
* Data string dengan panjang 1280 karakter
* Data string dengan panjang 1345 karakter
* Data string dengan panjang 1870 karakter

## Skenario Uji Coba Fungsionalitas

Pengujian ini dilakukan untuk menguji apakah fungsionalitas yang diidentifikasi benar-benar diimplementasikan dan bekerja sebagaimana seharusnya. Pengujian juga dilakukan untuk mengetahui kesesuaian setiap tahapan atau langkah penggunaan fitur terhadap skenario yang dipersiapkan.

### Skenario Uji Coba Membaca Data dari SD Card

Pada skenario uji coba ini, node ZigBee End Device akan membaca data yang ada pada sd card. Data tersebut dibaca per baris dengan jumlah total 80 baris, kemudian data akan ditampung kedalam sebuah array dan siap untuk di kompresi.

Tabel 5.2 Skenario Uji Coba Membaca Data dari SD Card

|  |  |
| --- | --- |
| ID | UJ – F01 |
| Nama | Uji Coba Membaca Data dari SD Card |
| Tujuan Uji Coba | Menguji fungsionalitas system untuk membaca data dari sd card |
| Kondisi Awal | Node ZigBee End Device diaktifkan |
| Skenario | 1. Node ZigBee End Device membaca data dari *sdcard* 2. Data dibaca per baris 3. Kegiatan ini akan terus berulang hingga data pada baris terakhir. 4. Mengulangi langkah 1 – 3 dengan data yang panjang karakternya 980 5. Mengulangi langkah 1 – 3 dengan data yang panjang karakternya 1280 6. Mengulangi langkah 1 – 3 dengan data yang panjang karakternya 1345 7. Mengulangi langkah 1 – 3 dengan data yang panjang karakternya 1870 |
| Masukan | Data yang ada pada sd card |
| Keluaran | Menampilkan data dibaca pada serial monitor |
| Hasil yang Diharapkan | Data dapat terbaca dengan baik |

### Skenario Uji Coba Kompresi Data

Pada skenario uji coba ini, data yang telah di baca akan mengalami proses kompresi. Kompresi data akan dilakukan dengan berbagai jenis konfigurasi encoder / decoder.

Tabel 5.3 Skenario Uji Coba Kompresi Data

|  |  |
| --- | --- |
| ID | UJ – F02 |
| Nama | Uji Coba Kompresi Data |
| Tujuan Uji Coba | Menguji fungsionalitas system untuk melakukan kompresi dengan berbagai konfigurasi dan berbagai data yang memiliki panjang berbeda - beda |
| Kondisi Awal | Node ZigBee End Device diaktifkan |
| Skenario | 1. Node ZigBee End Device membaca data dengan panjang 584 karakter 2. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (4,3) 3. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (5,4) 4. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (6,5) 5. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (7,6) 6. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (8,7) 7. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (9,8) 8. Mengulangi langkah 1 – 7 dengan data uji coba yang memiliki panjang 980 karakter 9. Mengulangi langkah 1 – 7 dengan data uji coba yang memiliki panjang 1280 karakter 10. Mengulangi langkah 1 – 7 dengan data uji coba yang memiliki panjang 1345 karakter 11. Mengulangi langkah 1 – 7 dengan data uji coba yang memiliki panjang 1870 karakter |
| Masukan | Data string yang akan dikompresi |
| Keluaran | Data hasil kompresi |
| Hasil yang Diharapkan | Node ZigBee End Device berhasil mengkompresi data |

### Skenario Uji Coba Komunikasi Pada Topologi Cluster Tree

Pada skenario uji coba ini, node ZigBee Coordinator akan terkoneksi dengan node ZigBee Router dan node ZigBee Router terkoneksi dengan node ZigBee End Device. Uji coba ini bertujuan untuk mengetahui apakah data yang dikirimkan dari node ZigBee End Device diterima oleh node ZigBee Coordinator. Data yang akan dikirimkan berupa string dan hasilnya dapat dilihat melalui Serial monitor.

Tabel 5.4 Skenario Uji Coba Komunikasi Pada Topologi Cluster Tree

|  |  |
| --- | --- |
| ID | UJ – F03 |
| Nama | Uji Coba Komunikasi Pada Topologi Cluster Tree. |
| Tujuan Uji Coba | Menguji fungsionalitas node ZigBee Coordinator untuk dapat terhubung dengan node End Device. |
| Kondisi Awal | Ketiga node ZigBee diaktifkan. Ketiga node berada dalam mode XBee. Data yang akan dikirimkan sudah disiapkan. |
| Skenario | 1. Node ZigBee End Device mengirimkan data hasil kompresi ke node ZigBee Router 2. Node ZigBee Router menerima data dari node End Device 3. Melakukan Pemantauan data yang diterima melalui *serial monitor* 4. Node ZigBee Router mengirimkan data hasil kompresi ke node ZigBee Coordinator 5. Melakukan Pemantauan data yang diterima melalui *serial monitor* node Coordinator |
| Masukan | Data hasil kompresi |
| Keluaran | Tampilan data yang diterima pada serial monitor |
| Hasil yang Diharapkan | Node ZigBee Coordinator dapat menerima data yang dikirimkan oleh node ZigBee End Device |

### Skenario Uji Coba Dekompresi Data

Pada skenario uji coba ini, potongan – potongan data hasil kompresi yang diterima oleh node ZigBee Coordinator akan di bentuk kembali sampai utuh. Kemudian data di dekompresi sesuai konfigurasi yang diterima.

Tabel 5.5 Skenario Uji Coba Dekompresi Data

|  |  |
| --- | --- |
| ID | UJ – F04 |
| Nama | Uji Coba Dekompresi Data |
| Tujuan Uji Coba | Menguji fungsionalitas sistem untuk melakukan dekompresi data dari potongan – potongan data yang diterima oleh node ZigBee Coordinator |
| Kondisi Awal | Ketiga node ZigBee diaktifkan. Ketiga node berada dalam mode XBee. |
| Skenario | 1. Node ZigBee Coordinator menerima data hasil kompresi 2. Node ZigBee Coordinator menyusun potongan – potongan data yang diterima 3. Node ZigBee Coordinator melakukan proses dekompresi 4. Melakukan pemantauan hasil dekompresi melalui *serial monitor* |
| Masukan | Data hasil kompresi |
| Keluaran | Tampilan data yang hasil dekompresi data pada serial monitor node ZigBee Coordinator |
| Hasil yang Diharapkan | Node ZigBee Coordinator dapat melakukan penyusunan potongan –potongan data kemudian di lakukan proses dekompresi |

### Skenario Uji Coba Kompresi Adaptive

Pada skenario uji coba ini, akan dilakukan kompresi data dengan settingan konfigurasi window\_sz dan lookahead\_sz sesuai dengan scenario yang digunakan. Konfigurasi window\_sz dan lookahead\_sz bersifat adaptive tergantung panjang data yang akan dikompresi. Jika panjang data **kurang dari 980** maka konfigurasiyang digunakan adalah **window\_sz = 9 dan lookahead\_sz = 8**. Jika panjang datanya **antara 980 sampai 1345** maka konfigurasi yang digunakan adalah **window\_sz = 8 dan lookahead\_sz = 7.** Jika panjang datanya **antara 1346 sampai 1870** maka konfigurasi yang digunakan adalah **window\_sz = 7 dan lookahead\_sz = 6.**

Tabel 5.6 Skenario Uji Coba Kompresi Adaptive

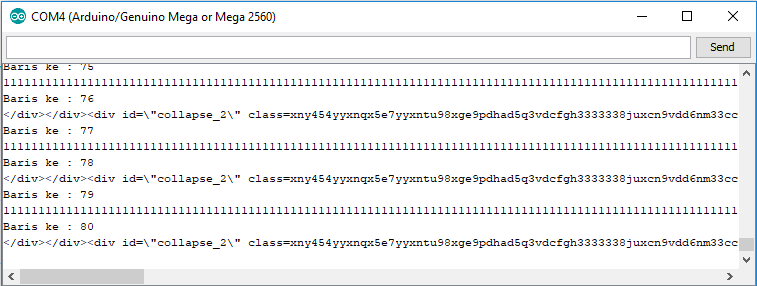
|  |  |
| --- | --- |
| ID | UJ – F05 |
| Nama | Uji Coba Kompresi Adaptive |
| Tujuan Uji Coba | Menguji fungsionalitas sistem untuk melakukan kompresi adaptive berdasarkan panjang data |
| Kondisi Awal | Node ZigBee End Device diaktifkan |
| Skenario | 1. Node ZigBee End Device membaca data satu baris pada sdcard 2. Node ZigBee End Device melakukan kompresi data dengan konfigurasi window\_sz dan lookahead\_sz yang telah ditentukan sebelumnya 3. Mengulangi langkah 1 dan 2 sampai data terakhir pada sd card |
| Masukan | Data string yang akan dikompresi |
| Keluaran | Tampilan hasil kompresi data pada serial monitor node ZigBee End Device |
| Hasil yang Diharapkan | Node ZigBee End Device dapat melakukan kompresi adaptive |

## Hasil Uji Coba Fungsionalitas

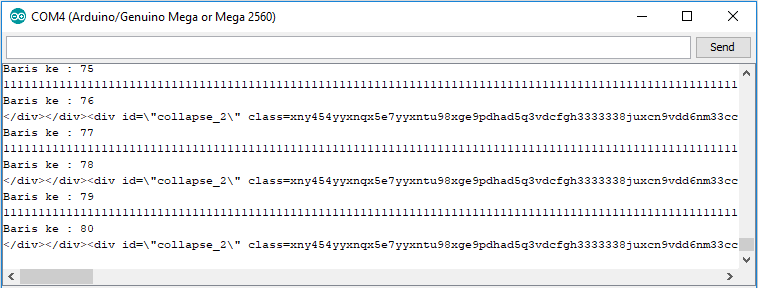
Telah dijabarkan pada bagian sebelumnya mengenai skenario dari keseluruhan uji coba fungsionalitas. Skenario uji coba yang telah dijabarkan terdiri dari beberapa hal. Secara garis besar, pengujian fungsionalitas terdiri dari empat bagian, yaitu fungsionalitas membaca data, komunikasi node, kompresi data dan dekompresi data.

### Hasil Uji Coba (UJ-F01) – Membaca Data dari SD Card

Pengujian dilakukan berdasarkan skenario uji coba pada bab 5.3.1. Langkah pertama yang dilakukan node ZigBee Router membaca data yang ada pada *sdcard*, data dibaca baris per baris dengan jumlah total baris sebanyak 80 baris. Pada pengujian yang dilakukan data yang dibaca akan di tampilkan pada serial monitor Arduino. Data berhasil dibaca untuk semua jenis panjang karakter yang ada pada skanario. Berikut ini merupakan hasil dari pengujian yang telah dilakukan.



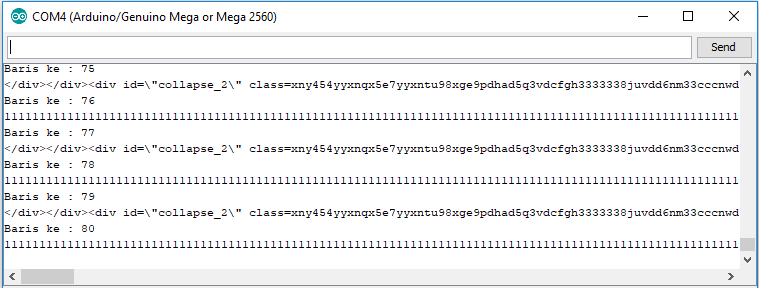
Gambar 5.4 Hasil Uji Coba UJ-F01 pada Panjang Karakter 584



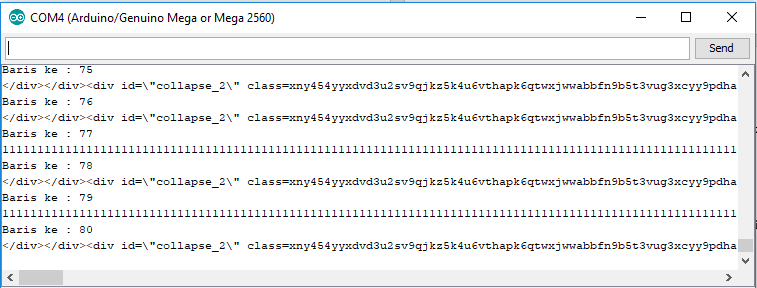
Gambar 5.5 Hasil Uji Coba UJ-F01 pada Panjang Karakter 980



Gambar 5.6 Hasil Uji Coba UJ-F01 pada Panjang Karakter 1280



Gambar 5.7 Hasil Uji Coba UJ-F01 pada Panjang Karakter 1345



Gambar 5.8 Hasil Uji Coba UJ-F01 pada Panjang Karakter 1870

### Hasil Uji Coba (UJ-F02) – Kompresi Data

Uji coba dilakukan berdasarkan skeario uji coba pada bab 5.3.2. Pada skenario dilakukan kompresi data berdasarkan konfigurasi tertentu. Berikut ini adalah hasil uji coba yang di peroleh.

Tabel 5.7 Hasi Uji Coba UJ – F02 Kompresi Data

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Kompresi** | **Panjang Data** | **HS (4,3)** | **HS (5,4)** | **HS (6,5)** | **HS (7,6)** | **HS (8,7)** | **HS (9,8)** |
| 584 | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil |
| 980 | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | gagal |
| 1280 | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | gagal |
| 1435 | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | gagal |
| 1870 | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | gagal | gagal |

Menurut hasil uji coba pada table diatas, sebagian besar proses konfigurasi menggunakan settingan konfigurasi **HS (9,8)** **gagal**, kecuali pada data dengan panjang 584. Kegagalan tersebut dikarenakan memori yang tidak mecukupi, sehingga tidak dapat melakukan proses kompresi data. Selain itu pada settingan HS (8,7) proses kompresi tidak dapat berjalan pada data dengan panjang 1870 karakter.

### Hasil Uji Coba (UJ-F03) – Komunikasi Pada Topologi Cluster Tree

Uji coba yang dilakukan pad bab 5.3.3 bertujuan untuk mengetahui fungsionalitas dari komunikasi pada topologi *cluster tree* yang digunakan. Berikut ini adalah hasil uji coba yang di peroleh berdasarkan skenario yang dijalankan.

Tabel 5.8 Hasi Uji Coba UJ – F03 Komunikasi Pada Topologi Cluster Tree

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Sumber | Tujuan | Hasil |
| Node ZigBee End Device | Node ZigBee Router | Berhasil |
| Node ZigBee Router | Node ZigBee Coordinator | Berhasil |

Menurut hasil uji coba yang ada pada table diatas node ZigBee Coordinator berhasil menerima data yang dikirimkan oleh node ZigBee End Device.

### Hasil Uji Coba (UJ-F04) – Dekompresi Data

Uji coba dilakukan berdasarkan skenario uji coba pada bab 5.3.4. Pada skenario dilakukan kompresi data berdasarkan konfigurasi tertentu. Berikut ini adalah hasil uji coba yang di peroleh.

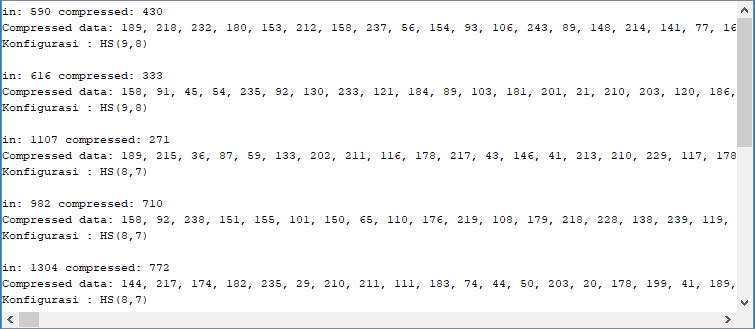
Tabel 5.9 Hasi Uji Coba UJ – F04 Dekompresi Data

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Dekompresi** | **Panjang Data** | **HS (4,3)** | **HS (5,4)** | **HS (6,5)** | **HS (7,6)** | **HS (8,7)** | **HS (9,8)** |
| 584 | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil |
| 980 | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | gagal |
| 1280 | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | gagal |
| 1435 | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | gagal |
| 1870 | berhasil | berhasil | berhasil | berhasil | gagal | gagal |

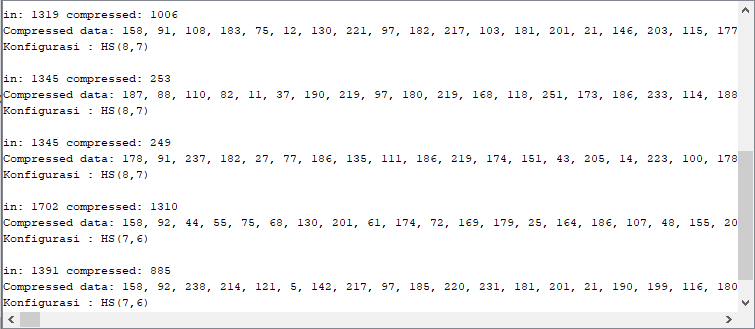
Menurut hasil uji coba pada table diatas, sebagian besar proses konfigurasi menggunakan settingan konfigurasi **HS (9,8)** **gagal**, kecuali pada data dengan panjang 584. Kegagalan tersebut dikarenakan memori yang tidak mecukupi, sehingga tidak dapat melakukan proses kompresi data. Selain itu pada settingan HS (8,7) proses kompresi tidak dapat berjalan pada data dengan penjang 1640.

### Hasil Uji Coba (UJ-F05) – Kompresi Adaptive

Uji coba dilakukan berdasarkan skenario uji coba pada bab 5.3.5. Pada skenario dilakukan kompresi adaptive berdasarkan konfigurasi yang telah ditetapkan. Skenario uji coba menggunakan 10 buah data string dengan panjang data yang masing-masing berbeda. Hasil pengujian akan ditampilkan pada serial monitor beserta konfigurasi encoder/decoder yang digunakan. Berikut ini adalah hasil uji coba yang diperoleh.



Gambar 5.9 Hasil Uji Coba UJ-F05 Kompresi Adaptive



Gambar 5.10 Hasil Uji Coba UJ-F05 Kompresi Adaptive

## Skenario Uji Coba Performa

Uji coba performa syitem dilakukan untuk mengetahui performa dari system yang dibangun berdasarkan skenario yang akan dibuat. Uji coba performa sistem yang akan dilakukan meliputi efektifitas hasil kompresi dalam, akurasi pengiriman, dan waktu yang dibutuhkan untuk proses kompresi serta dekompresi.

### Skenario Uji Coba Efektifitas Kompresi

Uji coba efektifitas kompresi bertujuan untuk mengetahui efektifitas kompresi data dari berbagai konfigurasi encoder / decoder yang digunakan. Terdapat 10 buah data string beragam dengan panjang data yang sama yang akan digunakan untuk uji coba.

Tabel 5.10 Uji Coba Efektifitas Kompresi

|  |  |
| --- | --- |
| ID | UJ – P01 |
| Nama | Uji Coba Efektifitas Kompresi |
| Tujuan Uji Coba | Menguji performa sistem untuk mengetahui efektifitas kompresi yang didapatkan dari dari berbagai konfigurasi encoder / decoder yang digunakan dan berbagai panjang data yang digunakan. |
| Kondisi Awal | Node ZigBee End Device diaktifkan |
| Skenario | 1. Node ZigBee End Device membaca data pada *sdcard* dengan panjang 584 karakter 2. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (4,3) 3. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (5,4) 4. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (6,5) 5. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (7,6) 6. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (8,7) 7. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (9,8) 8. Mengulangi pengujian dengan 10 data string yang berbeda 9. Mengulangi langkah 1 – 8 dengan data uji coba yang memiliki panjang 980 karakter 10. Mengulangi langkah 1 – 8 dengan data uji coba yang memiliki panjang 1280 karakter 11. Mengulangi langkah 1 – 8 dengan data uji coba yang memiliki panjang 1345 karakter 12. Mengulangi langkah 1 – 8 dengan data uji coba yang memiliki panjang 1870 karakter |
| Masukan | Data raw yang akan dikompresi |
| Keluaran | Tampilan jumlah data hasil kompresi data pada serial monitor node ZigBee End Device |
| Hasil yang Diharapkan | Tercatatnya efektifitas kompresi pada setiap skenario uji coba |

### Skenario Uji Coba Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Single Hop

Tujuan dari skenario uji coba performa ini adalah untuk mengetahui seberapa besar akurasi sistem dalam mengirimkan paket data melalui ZigBee pada jaringan single hop. Uji coba dilakukan menggunakan node ZigBee Router dan node ZigBee Coordinator dengan jarak antar kedua node ±10 meter, ±20 meter dan ±30 meter. Percobaan diulangi sebanyak sepuluh kali. Berikut ini menjelaskan skenario uji cobanya.

Tabel 5.11 Uji Coba Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Single Hop

|  |  |
| --- | --- |
| ID | UJ – P02 |
| Nama | Uji Coba Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Single Hop |
| Tujuan Uji Coba | Menguji performa sistem untuk mengetahui akurasi pengiriman data menggunakan ZigBee pada *single* hop dari jarak yang berbeda – beda (±10 meter, ±20 meter, ±30 meter) |
| Kondisi Awal | Node ZigBee Router dan node ZigBee Coordiantor diaktifkan. Keduanya berada dalam mode XBee. |
| Skenario | 1. Menyalakan node ZigBee Router dan node ZigBee Coordinator dalam mode XBee selama kurang lebih 2 menit pada jarak ±10 meter 2. Mengulangi pengujian hingga 10 kali 3. Memantau dan mencatat hasil pada serial motor node ZigBee Coordinator 4. Mengulangi pengujian pada jarak ±20 meter 5. Mengulangi pengujian pada jarak ±30 meter |
| Masukan | Data yang akan dikirim |
| Keluaran | Akurasi pengiriman data pada jarak berbeda - beda |
| Hasil yang Diharapkan | Mendatpakan akurasi pengiriman data menggunakan ZigBee dari jarak berbeda – beda dan membandingkan hasilnya. |

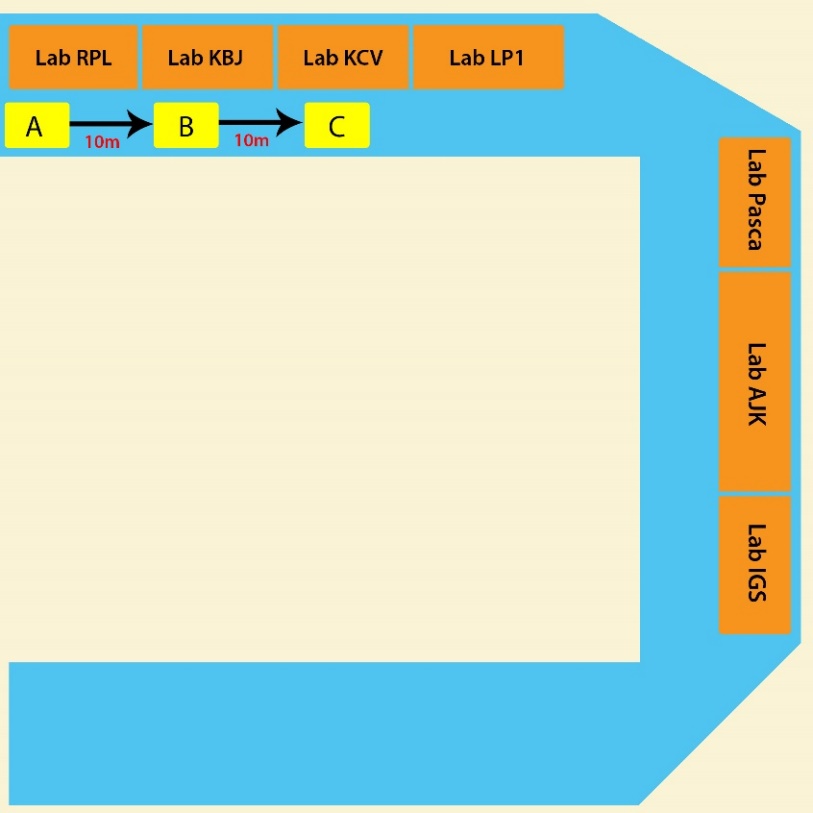
### Skenario Uji Coba Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Multi Hop

Hampir sama dengan uji coba sebelumnya, pengujian selanjutnya yang dilakukan adalah pengujian akurasi pengiriman data ZigBee pada jarigan multi hop. Tujuan dari uji coba ini adalah untuk mengetahui seberapa besar akurasi sistem dalam mengirimkan paket data melalui ZigBee pada jaringan multi hop. Uji coba dilakukan menggunakan tiga node, yaitu node ZigBee End Device, node ZigBee Router dan node ZigBee Coordinator. Lokasi yang digunakan untuk uji coba adalah lokasi ketiga yang berada pada lantai 3 Departemen Informatika. Masing-masing node dipisahkan pada jarak tertentu. Panjang jarak yang digunakan untuk uji coba adalah ±10 meter, ±20 meter dan ±30 meter. Percobaan diulangi sebanyak sepuluh kali. Berikut ini menjelaskan skenario uji cobanya.

Tabel 5.12 Uji Coba Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Multi Hop

|  |  |
| --- | --- |
| ID | UJ – P03 |
| Nama | Uji Coba Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Multi Hop |
| Tujuan Uji Coba | Menguji performa sistem untuk mengetahui akurasi pengiriman data menggunakan ZigBee pada *multi* hop dari jarak yang berbeda – beda (±10 meter, ±20 meter, ±30 meter) |
| Kondisi Awal | Node ZigBee End Device, node ZigBee Router dan node ZigBee Coordiantor diaktifkan. Ketiga node berada dalam mode XBee. |
| Skenario | 1. Menyalakan ketiga node dalam mode XBee selama kurang lebih 2 menit pada jarak ±10 meter 2. Mengulangi pengujian hingga 10 kali 3. Memantau dan mencatat hasil pada serial motor node ZigBee Coordinator 4. Mengulangi pengujian pada jarak ±20 meter 5. Mengulangi pengujian pada jarak ±30 meter |
| Masukan | Data yang akan dikirim |
| Keluaran | Akurasi pengiriman data pada jarak berbeda - beda |
| Hasil yang Diharapkan | Mendapatkan akurasi pengiriman data menggunakan ZigBee dari jarak berbeda – beda dan membandingkan hasilnya. |

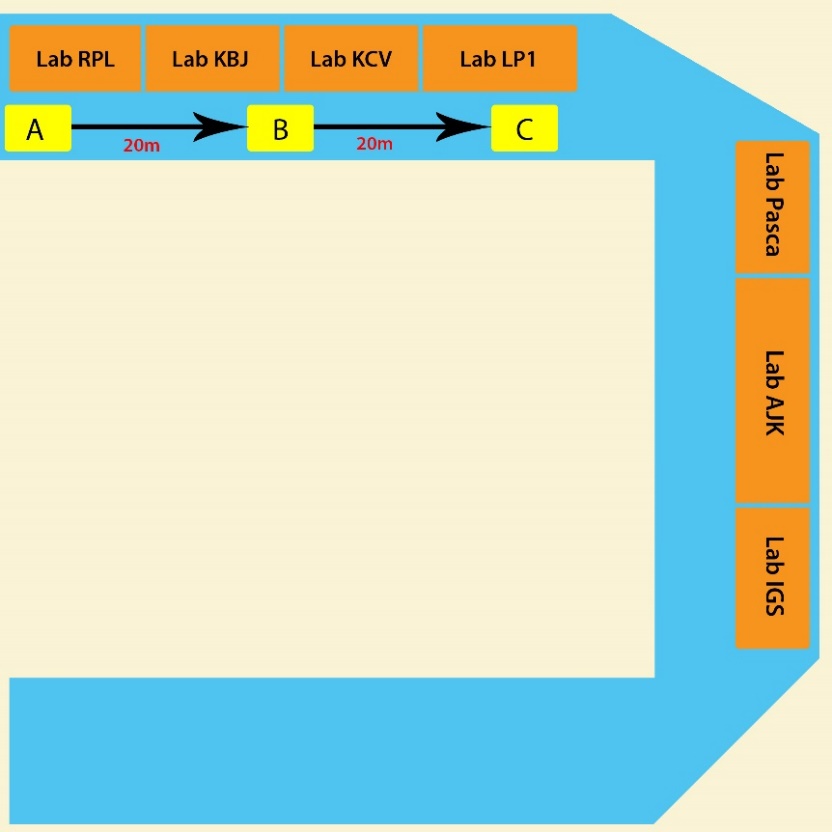
Pada uji coba pertama, jarak masing-masing node kurang lebih 10 meter. Berikut ini adalah peta uji coba akurasi pengiriman data ZigBee pada multi hop dengan jarak ±10 meter yang ditunjukkan oleh Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Peta Lokasi Skenario Uji Coba dengan Jarak ±10 meter

Pada Gambar 5.11 terdapat tiga kotak berwarna kuning dengan nama masing-masing A, B, dan C. Kotak A menunjukkan posisi dari node ZigBee Coordinator. Kotak B menunjukkan posisi dari node ZigBee Router. Dan kotak C menunjukkan posisi dari node ZigBee End Device.

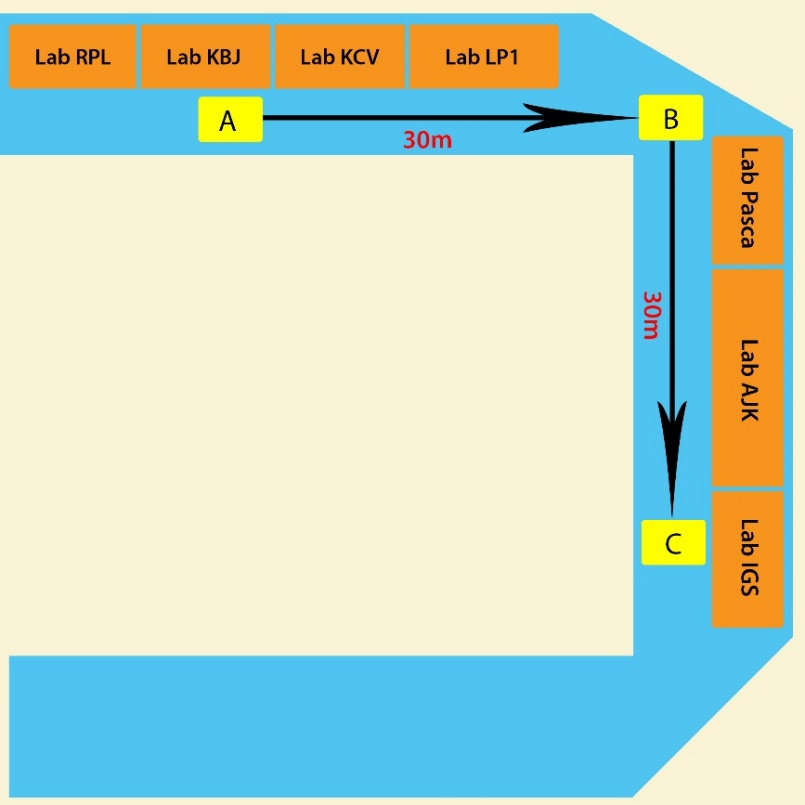
Pada uji coba kedua, jarak masing-masing node kurang lebih 20 meter. Berikut ini adalah peta uji coba akurasi pengiriman data ZigBee pada multi hop dengan jarak ±20 meter yang ditunjukkan oleh Gambar 5.12.



Gambar 5.12 Peta Lokasi Skenario Uji Coba dengan Jarak ±20 meter

Pada Gambar 5.12 terdapat tiga kotak berwarna kuning dengan nama masing-masing A, B, dan C. Kotak A menunjukkan posisi dari node ZigBee Coordinator. Kotak B menunjukkan posisi dari node ZigBee Router. Dan kotak C menunjukkan posisi dari node ZigBee End Device.

Pada uji coba ketiga, jarak masing-masing node kurang lebih 30 meter. Berikut ini adalah peta uji coba akurasi pengiriman data ZigBee pada multi hop dengan jarak ±30 meter yang ditunjukkan oleh Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Peta Lokasi Skenario Uji Coba dengan Jarak ±30 meter

Pada Gambar 5.13 terdapat tiga kotak berwarna kuning dengan nama masing-masing A, B, dan C. Kotak A menunjukkan posisi dari node ZigBee Coordinator. Kotak B menunjukkan posisi dari node ZigBee Router. Dan kotak C menunjukkan posisi dari node ZigBee End Device.

### Skenario Uji Waktu Kompresi

Uji coba waktu kompresi, bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk proses kompresi data. Terdapat 10 buah data string beragam dengan panjang data yang sama yang akan digunakan untuk uji coba.

Tabel 5.13 Uji Coba Waktu Kompresi

|  |  |
| --- | --- |
| ID | UJ – P04 |
| Nama | Uji Coba Waktu Kompresi |
| Tujuan Uji Coba | Menguji performa sistem untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk proses kompresi |
| Kondisi Awal | Data raw telah di siapkan pada file tersendiri. Node ZigBee End Device diaktifkan. |
| Skenario | 1. Node ZigBee End Device membaca data pada *sdcard* dengan panjang 584 karakter 2. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (4,3) 3. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (5,4) 4. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (6,5) 5. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (7,6) 6. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (8,7) 7. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (9,8) 8. Mengulangi pengujian dengan 10 data string yang berbeda 9. Mengulangi langkah 1 – 8 dengan data uji coba yang memiliki panjang 980 karakter 10. Mengulangi langkah 1 – 8 dengan data uji coba yang memiliki panjang 1280 karakter 11. Mengulangi langkah 1 – 8 dengan data uji coba yang memiliki panjang 1345 karakter 12. Mengulangi langkah 1 – 8 dengan data uji coba yang memiliki panjang 1870 karakter |
| Masukan | Data raw yang akan dikompresi |
| Keluaran | Tampilan waktu yang dibutuhkan untuk proses kompresi pada serial monitor node ZigBee End Device |
| Hasil yang Diharapkan | Tercatatnya waktu yang di butuhkan untuk proses kompresi data pada setiap skenario uji coba |

### Skenario Uji Waktu Dekompresi

Uji coba waktu dekompresi, bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan proses dekompresi data. Terdapat 10 buah data string beragam dari hasil kompresi yang telah dilakukan sebelumnya. Data tersebut akan digunakan untuk skenario uji coba.

Tabel 5.14 Uji Coba Waktu Dekompresi

|  |  |
| --- | --- |
| ID | UJ – P05 |
| Nama | Uji Coba Waktu Dekompresi |
| Tujuan Uji Coba | Menguji performa sistem untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk proses dekompresi |
| Kondisi Awal | Data hasil kompresi telah di siapkan. Node ZigBee End Device diaktifkan. |
| Skenario | 1. Menyiapkan data hasil kompresi dari panjang data 584 karakter sebelumnya 2. Node ZigBee melakukan dekompresi data dengan konfigurasi HS (4,3) 3. Node ZigBee melakukan dekompresi data dengan konfigurasi HS (5,4) 4. Node ZigBee melakukan dekompresi data dengan konfigurasi HS (6,5) 5. Node ZigBee melakukan dekompresi data dengan konfigurasi HS (7,6) 6. Node ZigBee melakukan dekompresi data dengan konfigurasi HS (8,7) 7. Node ZigBee melakukan kompresi data dengan konfigurasi HS (9,8) 8. Mengulangi pengujian dengan 10 data hasil kompresi sebelumnya 9. Mengulangi langkah 1 – 8 dengan hasil kompresi data dari 980 karakter 10. Mengulangi langkah 1 – 8 dengan hasil kompresi data dari 1280 karakter 11. Mengulangi langkah 1 – 8 dengan hasil kompresi data dari 1345 karakter 12. Mengulangi langkah 1 – 8 dengan hasil kompresi data dari 1870 karakter |
| Masukan | Data hasil kompresi |
| Keluaran | Tampilan waktu yang dibutuhkan untuk proses dekompresi pada serial monitor node ZigBee End Device |
| Hasil yang Diharapkan | Tercatatnya waktu yang di butuhkan untuk proses dekompresi data pada setiap skenario uji coba |

## Hasil Uji Coba Performa

Telah dijabarkan pada bagian sebelumnya mengenai skenario dari keseluruhan uji coba performa. Skenario uji coba yang telah dijabarkan terdiri dari beberapa hal. Secara garis besar, pengujian performa terdiri dari tiga bagian, yaitu performa efektifitas, akurasi pengiriman, dan waktu.

### Hasil Uji Coba (UJ-P01) – Efektifitas Kompresi

Sesuai skenario pada bab 5.5.1, yang di ujikan adalah efektifitas kompresi data dari berbagai konfigurasi encoder / decoder yang digunakan dengan 10 buah data string yang berbeda -beda. Untuk mengetahui nilai efektifitas digunakan rumus :

Efektifitas =

Berikut ini adalah hasil yang diperoleh dari uji coba efektifitas kompresi dengan mengambil rata – rata dari 10 kali percobaan untuk setiap konfigurasi dan panjang data, yang ditunjukkan pada Tabel 5.15.

Tabel 5.15 Hasil Uji Coba UJ – P01 Efektifitas Kompresi

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Panjang Data** | **Uji Coba** | **Konfigurasi** | | | | | |
| **HS (4,3)** | **HS (5,4)** | **HS (6,5)** | **HS (7,6)** | **HS (8,7)** | **HS (9,8)** |
| 584 | Efektifitas | 9.3% | 24.4% | 31.8% | 49.4% | 59.8% | 56.7% |
| 980 | Efektifitas | 9.6% | 19.9% | 32.3% | 49.1% | 54.5% | 60.5% |
| 1280 | Efektifitas | 10.0% | 16.8% | 37.4% | 45.9% | 50.2% | gagal |
| 1345 | Efektifitas | 10.2% | 17.0% | 37.7% | 45.9% | 54.5% | gagal |
| 1870 | Efektifitas | 5.1% | 11.2% | 20.4% | 27.8% | gagal | gagal |

Berdasarkan hasil uji coba efektifitas kompresi pada panjang data **584 karakter,** didapatkan persentase efektifitas kompresi paling kecil ketika menggunakan konfigurasi HS (4,3) sebesar **9.3%**. Sedangkan efektifitas kompresi paling besar adalah **56.7%** pada konfigurasi **HS (9,8)**.Tabel 5.12menjabarkan hasil uji coba dari efektifitas kompresi pada panjang data **584 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.1 di lampiran.

Berdasarkan hasil uji coba efektifitas kompresi pada panjang data **980 karakter,** didapatkan persentase efektifitas kompresi paling kecil ketika menggunakan konfigurasi HS(4,3) sebesar **9.6%**. Sedangkan efektifitas kompresi paling besar adalah **60.5%** pada konfigurasi **HS (9,8)**.Tabel 5.12menjabarkan hasil uji coba dari efektifitas kompresi pada panjang data **980 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.2 di lampiran.

Berdasarkan hasil uji coba efektifitas kompresi pada panjang data **1280 karakter,** didapatkan persentase efektifitas kompresi paling kecil ketika menggunakan konfigurasi HS (4,3) sebesar **10.0%**. Sedangkan efektifitas kompresi paling besar adalah **50.2%** pada konfigurasi **HS (8,7**).Tabel 5.12menjabarkan hasil uji coba dari efektifitas kompresi pada panjang data **1280 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.3 di lampiran.

Berdasarkan hasil uji coba efektifitas kompresi pada panjang data **1345 karakter,** didapatkan persentase efektifitas kompresi paling kecil ketika menggunakan konfigurasi HS (4,3) sebesar **10.2%**. Sedangkan efektifitas kompresi paling besar adalah **54.5%** pada konfigurasi **HS (8,7)**.Tabel 5.12menjabarkan hasil uji coba dari efektifitas kompresi pada panjang data **1345 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.4 di lampiran.

Berdasarkan hasil uji coba efektifitas kompresi pada panjang data **1870 karakter,** didapatkan persentase efektifitas kompresi paling kecil ketika menggunakan konfigurasi HS (4,3) sebesar **5.1%**. Sedangkan efektifitas kompresi paling besar adalah **27.8%** pada konfigurasi **HS (8,7)**.Tabel 5.12menjabarkan hasil uji coba dari efektifitas kompresi pada panjang data **1870 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.5 di lampiran.

Pada konfigurasi **HS (9,8)** untuk data dengan panjang lebih dari 1219 karakter tidak dapat dilakukan. Selain itu, pada konfigurasi **HS (8,7)** tidak dapat berjalan pada data dengan panjang lebih dari 1869 karakter, keadaan tersebut disebabkan karena keterbatasan kapasitas memori yang ada pada Arduino.

### Hasil Uji Coba (UJ-P02) – Akurasi Pengiriman Data ZigBeep pada Jaringan Single Hop

Mengacu pada skenario bab 5.5.2, dilakukan pengujian untuk mengetahui akurasi pengiriman data pada ZigBee. Setiap data yang diterima akan di print pada serial monitor node ZigBee Coordinator. Berikut ini Tabel 5.16 menjelaskan hasil uji coba yang didapatkan

Tabel 5.16 Hasil Uji Coba UJ – P02 Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Single Hop

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Akurasi Pengiriman ZigBee** | | |
| **±10 meter** | **±20 meter** | **±30 meter** |
| 100% | 86,8% | 69,5% |

Berdasarkan hasil uji coba akurasi pada jarak **±10 meter,** didapatkan akurasi pengiriman data menggunakan ZigBee sebesar **100%.** Tabel 5.13menjabarkan hasil uji coba dari jarak **±10 meter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.6 di lampiran

Berdasarkan hasil uji coba akurasi pada jarak **±20 meter,** didapatkan akurasi pengiriman data menggunakan ZigBee sebesar **86,8%.** Tabel 5.13menjabarkan hasil uji coba dari jarak **±20 meter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.7 di lampiran

Berdasarkan hasil uji coba akurasi pada jarak **±30 meter,** didapatkan akurasi pengiriman data menggunakan ZigBee sebesar **69,5%.** Tabel 5.13menjabarkan hasil uji coba dari jarak **±30 meter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.8 di lampiran

Untuk lebih rincinya, berikut ini adalah perbandingan data akurasi pengiriman data ZigBee pada jarak berbeda - beda.

Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Single Hop

Berdasarkan grafik diatas, dapat diketahui bahwa semakin jauh jarak komunikasi maka akurasi pengiriman data ZigBee akan semakin menurun.

### Hasil Uji Coba (UJ-P03) – Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Multi Hop

Mengacu pada skenario bab 5.5.3, dilakukan pengujian untuk mengetahui akurasi pengiriman data pada ZigBee. Setiap data yang diterima akan di print pada serial monitor node ZigBee Router dan monitor node ZigBee Coordiantor. Berikut ini tabel 5.17 menjelaskan hasil uji coba yang didapatkan

Tabel 5.17 Hasil Uji Coba UJ – P03 Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Multi Hop

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Akurasi Pengiriman ZigBee** | | |
| **±10 meter** | **±20 meter** | **±30 meter** |
| 100% | 90,6% | 82,6 % |

Berdasarkan hasil uji coba akurasi pada jarak **±10 meter,** didapatkan akurasi pengiriman data menggunakan ZigBee sebesar **100%.** Tabel 5.17menjabarkan hasil uji coba dari jarak **±10 meter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.9 di lampiran

Berdasarkan hasil uji coba akurasi pada jarak **±20 meter,** didapatkan akurasi pengiriman data menggunakan ZigBee sebesar **90,6%.** Tabel 5.17menjabarkan hasil uji coba dari jarak **±20 meter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.10 di lampiran

Berdasarkan hasil uji coba akurasi pada jarak **±30 meter,** didapatkan akurasi pengiriman data menggunakan ZigBee sebesar **82,6%.** Tabel 5.17menjabarkan hasil uji coba dari jarak **±30 meter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.11 di lampiran

Untuk lebih rincinya, berikut ini adalah perbandingan data akurasi pengiriman data ZigBee pada jarak berbeda - beda.

Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Akurasi Pengiriman Data ZigBee pada Jaringan Single Hop dengan Jaringan Multi Hop

Lokasi uji coba akurasi pengiriman data ZigBee pada jaringan single hop dilakukan di lokasi kedua yang berada di lapangan Departemen Informatika ITS. Tempat tersebut merupakan ruangan terbuka dengan terdapat banyak meja kursi dan tiang – tiang di area tersebut beserta tanaman disekitarnya. Sedangkan lokasi uji coba akurasi pengiriman data ZigBee pada jaringan multi hop dilakukan di lokasi ketiga yang berada di lantai 3 gedung Departemen Informatika ITS. Tempat tersebut merupakan koridor semi terbuka.

Berdasarkan grafik diatas, terdapat perbedaan akurasi yang didapatkan. Pada jaringan single hop dan multihop untuk jarak uji coba **±**10 meter akurasi yang didapatkan sama-sama **100%**. Kemudian pada jarak **±**20 meter akurasi jaringan single hop menurun menjadi **86,8%** sedangkan akurasi jaringan multi hop adalah **90,6%.** Selanjutnya pada jarak **±**30 meter akurasi jaringan single hop menurun menjadi **69,5%** sedangkan akurasi jaringan multi hop adalah **82,6%.** Dari hasil perbandingan diatas dapat disimpulkan bahwa jarak komunikasi dan lokasi tempat uji coba mempengaruhi penurunan akurasi pengiriman. Semakin jauh jarak jarak komunikasi maka akurasi semakin menurun. Selain itu, semakin banyak penghalang antara pemancar sinyal dengan penerima maka akurasinya akan semakin menurun.

### Hasil Uji Coba (UJ-P04) – Waktu Kompresi Data

Pada skenario bab 5.5.4 dijabarkan tentang uji coba waktu yang dibutuhkan dalam melakukan proses kompresi data. Pengujian dilakukan pada 10 buah data string yang berbeda - beda untuk masing – masing panjang data pada skenario. Berikut ini adalah hasil uji coba yang didapatkan.

Tabel 5.18 Hasil Uji Coba UJ – P04 Waktu Kompresi Data

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Panjang Data | Uji Coba | Konfigurasi | | | | | |
| HS (4,3) | HS (5,4) | HS (6,5) | HS (7,6) | HS (8,7) | HS (9,8) |
| 584 | Waktu | 0.05804 | 0.04692 | 0.04142 | 0.03231 | 0.02948 | 0.03005 |
| 980 | Waktu | 0.09688 | 0.08148 | 0.0688 | 0.05472 | 0.0529 | 0.0499 |
| 1280 | Waktu | 0.12733 | 0.11091 | 0.0877 | 0.07781 | 0.0784 | gagal |
| 1345 | Waktu | 0.13365 | 0.11642 | 0.09174 | 0.08168 | 0.08238 | gagal |
| 1870 | Waktu | 0.19124 | 0.16759 | 0.14966 | 0.14012 | gagal | gagal |

Berdasarkan hasil uji coba waktu kompresi data pada panjang data **584 karakter,** waktu tercepat yang dibutuhkan untuk kompresi dataadalah **0.02948 detik** ketika menggunakan konfigurasi **HS (8,7).** Tabel 5.18menjabarkan hasil uji coba dari waktu kompresi pada panjang data **584 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.12 di lampiran.

Berdasarkan hasil uji coba waktu kompresi data pada panjang data **980 karakter,** waktu tercepat yang dibutuhkan untuk kompresi dataadalah **0.0499 detik** ketika menggunakan konfigurasi **HS (9,8).** Tabel 5.18menjabarkan hasil uji coba dari waktu kompresi pada panjang data **980 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.13 di lampiran.

Berdasarkan hasil uji coba waktu kompresi data pada panjang data **1280 karakter,** waktu tercepat yang dibutuhkan untuk kompresi dataadalah **0.07781** **detik** ketika menggunakan konfigurasi **HS (7,6**).Tabel 5.18menjabarkan hasil uji coba dari waktu kompresi pada panjang data **1280 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.14 di lampiran.

Berdasarkan hasil uji coba waktu kompresi data pada panjang data **1345 karakter,** waktu tercepat yang dibutuhkan untuk kompresi dataadalah **0.08168** **detik** ketika menggunakan konfigurasi **HS (7,6)**.Tabel 5.18menjabarkan hasil uji coba dari waktu kompresi pada panjang data **1345 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.15 di lampiran.

Berdasarkan hasil uji coba waktu kompresi data pada panjang data **1870 karakter,** waktu tercepat yang dibutuhkan untuk kompresi dataadalah **0.14012** **detik** ketika menggunakan konfigurasi **HS (7,6)**.Tabel 5.18menjabarkan hasil uji coba dari waktu kompresi pada panjang data **1345 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.16 di lampiran.

Pada konfigurasi **HS (9,8)** untuk data dengan panjang lebih dari 1219 karakter tidak dapat dilakukan. Selain itu, pada konfigurasi **HS (8,7)** tidak dapat berjalan pada data dengan panjang lebih dari 1869 karakter, keadaan tersebut disebabkan karena keterbatasan kapasitas memori yang ada pada Arduino.

.

### Hasil Uji Coba (UJ-P05) – Waktu Dekompresi Data

Pada skenario bab 5.5.5 dijabarkan tentang uji coba waktu yang dibutuhkan dalam melakukan proses dekompresi data. Pengujian dilakukan pada 10 buah data string yang berbeda - beda dari hasil kompresi data sebelumnya. Berikut ini adalah hasil uji coba yang didapatkan.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Panjang Data | Uji Coba | Konfigurasi | | | | | |
| HS (4,3) | HS (5,4) | HS (6,5) | HS (7,6) | HS (8,7) | HS (9,8) |
| 584 | Waktu | 0.020436 | 0.018062 | 0.016648 | 0.013286 | 0.011669 | 0.011856 |
| 980 | Waktu | 0.033833 | 0.031182 | 0.027464 | 0.022094 | 0.01983 | 0.018288 |
| 1280 | Waktu | 0.044415 | 0.042452 | 0.034629 | 0.030599 | 0.027731 | gagal |
| 1345 | Waktu | 0.046591 | 0.044518 | 0.036244 | 0.032141 | 0.028978 | gagal |
| 1870 | Waktu | 0.066589 | 0.064135 | 0.059676 | 0.055481 | gagal | gagal |

Tabel 5.19 Hasil Uji Coba UJ – P05 Waktu Dekompresi Data

Berdasarkan hasil uji coba waktu dekompresi data pada panjang data **584 karakter,** waktu tercepat yang dibutuhkan untuk kompresi dataadalah **0.011669 detik** ketika menggunakan konfigurasi **HS (8,7).** Tabel 5.19menjabarkan hasil uji coba dari waktu kompresi pada panjang data **584 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.17 di lampiran.

Berdasarkan hasil uji coba waktu kompresi data pada panjang data **980 karakter,** waktu tercepat yang dibutuhkan untuk kompresi dataadalah **0.018288** **detik** ketika menggunakan konfigurasi **HS (9,8).** Tabel 5.19menjabarkan hasil uji coba dari waktu kompresi pada panjang data **980 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.18 di lampiran.

Berdasarkan hasil uji coba waktu kompresi data pada panjang data **1280 karakter,** waktu tercepat yang dibutuhkan untuk kompresi dataadalah **0.027731** **detik** ketika menggunakan konfigurasi **HS (8,7**).Tabel 5.19menjabarkan hasil uji coba dari waktu kompresi pada panjang data **1280 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.19 di lampiran.

Berdasarkan hasil uji coba waktu kompresi data pada panjang data **1345 karakter,** waktu tercepat yang dibutuhkan untuk kompresi dataadalah **0.028978 detik** ketika menggunakan konfigurasi **HS (8,7)**.Tabel 5.19menjabarkan hasil uji coba dari waktu kompresi pada panjang data **1345 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.20 di lampiran.

Berdasarkan hasil uji coba waktu kompresi data pada panjang data **1870 karakter,** waktu tercepat yang dibutuhkan untuk kompresi dataadalah **0.055481** **detik** ketika menggunakan konfigurasi **HS (8,7)**.Tabel 5.19menjabarkan hasil uji coba dari waktu kompresi pada panjang data **1870 karakter** yang telah dijabarkan lebih rinci pada Table 8.21 di lampiran.

Pada konfigurasi **HS (9,8)** untuk data dengan panjang lebih dari 1219 karakter tidak dapat dilakukan. Selain itu, pada konfigurasi **HS (8,7)** tidak dapat berjalan pada data dengan panjang lebih dari 1869 karakter, keadaan tersebut disebabkan karena keterbatasan kapasitas memori yang ada pada Arduino.

## Evaluasi Hasil Uji Coba

Pada bagian sebelumnya, telah dilakukan uji coba terhadap system yang dibuat. Uji coba yang telah dilakukan berkenaan dengan uji coba fungsionalitas dan uji coba performa. Berikut ini Tabel 5.16. merangkum evaluasi hasil uji coba fungsionalitas dan Tabel 5.17 merangkum evaluasi hasil uji coba performa yang telah dilakukan.

Tabel 5.20 Evaluasi Hasil Uji Coba Fungsionalitas

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No** | **Kode Uji Coba** | **Evaluasi** |
| 1 | UJ – F01 | Dapat membaca data dari sd card berdasarkan skenario yang ada |
| 2 | UJ – F02 | Sebagian besar data berhasil di kompresi, akan tetapi ketika menggunakan konfigurasi HS(9,8) pada panjang data lebih dari 1219 karakter kompresi data mengalami kegagalan dikarenakan keterbatasan memori yang ada pada Arduino. |
| 3 | UJ – F03 | Komunikasi pada topologi cluster tree berjalan dengan baik, hal ini dapat dilihat dari node ZigBee Coordinator dapat menerima data yang dikirimkan oleh node ZigBee End Device |
| 4 | UJ – F04 | Sebagian besar data berhasil di dekompresi, akan tetapi ketika menggunakan konfigurasi HS (9,8) pada panjang data lebih dari 1219 karakter kompresi data mengalami kegagalan dikarenakan keterbatasan memori yang ada pada Arduino. |
| 5 | UJ – F05 | Kompresi adaptive berhasil dilakukan dengan konfigurasi encoder/decoder yang telah ditetapkan. |

Tabel 5.21 Evaluasi Hasil Uji Coba Performa

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **No** | **Kode Uji Coba** | **Evaluasi** |
| 1 | UJ – P01 | Persentase efektifitas kompresi yang didapatkan semakin besar seiring dengan dengan besarnya konfigurasi window\_sz dan lookahead\_sz yang digunakan. |
| 2 | UJ – P02 | Akurasi pengiriman data ZigBee pada jaringan single hop berturut – turut adalah 100% (±10 meter), 86,8% (±20 meter), dan 69,5% (±30 meter). Sehingga dapat disimpulkan, bahwa akurasi ZigBee menurun seiring dengan jarak yang semakin meningkat. |
| 3 | UJ – P03 | Akurasi pengiriman data ZigBee berturut – turut pada jaringan multi hop adalah 100% (±10 meter), 90,6% (±20 meter), dan 82,6% (±30 meter). Sehingga dapat disimpulkan, bahwa akurasi ZigBee menurun seiring dengan jarak yang semakin meningkat. |
| 4 | UJ – P04 | Rata – rata waktu yang dibutuhkan untuk proses kompresi data semakin cepat seiring dengan besarnya konfigurasi window\_sz dan lookahead\_sz yang digunakan. |
| 5 | UJ – P05 | Rata – rata waktu yang dibutuhkan untuk proses dekompresi data semakin cepat seiring dengan besarnya konfigurasi window\_sz dan lookahead\_sz yang digunakan. |

# BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan yang dapat dapat diambil dari hasil uji coba yang telah dilakukan. Selain kesimpulan, terdapat juga saran yang ditujukan untuk pengembangan perangkat lunak selanjutnya.

## Kesimpulan

Kesimpulan yang didapatkan berdasarkan hasil uji coba kompresi adaptive menggunakan metode Heatshrink untuk pengiriman data pada *wireless sensor network* berbasis ZigBee adalah sebagai berikut:

1. Implementasi kompresi adaptive menggunakan metode Heatshrink dapat digunakan untuk menggurangi pengiriman data sehingga dapat menghemat penggunaan daya pada *wireless sensor network.*
2. Pada bebeberapa kondisi kompresi data tidak dapat digunakan karena keterbatasan sumberdaya yang ada pada *wireless sensor network.*
3. Performa dari system yang telah dibangun adalah sebagai berikut:
4. Persentasi efektifitas kompresi paling tinggi adalah **60.5%** pada panjang data 980 karakter dengan menggunakan konfigurasi HS (9,8). Persentasi efektifitas kompresi pada masing-masing data sesuai skenario uji coba rata-rata akan terus meningkat seiring dengan besar konfigurasi yang digunakan.
5. Akurasi pengiriman data ZigBee pada jaringan *single* hop berturut – turut adalah **100%** (±10 meter), **86,8%** (±20 meter), dan **69,5%** (±30 meter).
6. Akurasi pengiriman data ZigBee pada jaringan *multi* hop berturut – turut adalah **100%** (±10 meter), **90,6%** (±20 meter), dan **82,6%** (±30 meter). Sehingga dapat disimpulkan, bahwa akurasi pengiriman data pada ZigBee menurun seiring dengan jarak yang semakin meningkat.
7. Waktu yang dibutuhkan untuk kompresi data paling cepat adalah **0.02948 detik** pada panjang data 584 karakter dengan menggunakan konfigurasi HS (8,7). Waktu kompresi pada masing-masing data sesuai skenario uji coba rata-rata akan mengalami percepatan seiring dengan besar konfigurasi yang digunakan.
8. Waktu yang dibutuhkan untuk dekompresi data paling cepat adalah **0.011856 detik** pada panjang data 584 karakter dengan menggunakan konfigurasi HS (9,8). Waktu dekompresi pada masing-masing data sesuai skenario uji coba rata-rata akan mengalami percepatan seiring dengan besar konfigurasi yang digunakan.

## Saran

Saran yang diberikan terkait pengembangan pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Menambah jumlah data untuk uji coba berdasarkan panjang datanya.
2. Menambahkan jumlah node pengirim untuk uji coba

# DAFTAR PUSTAKA

|  |  |
| --- | --- |
| [1] | D. P. Harrop dan R. Das, Wireless Sensor Networks (WSN) 2014-2024: Forecasts, Technologies, Players, IDTechEx, 2014. |
| [2] | S. Rhee, D. Seetharam dan S. Liu, “Techniques for Minimizing Power Consumption in Low Data-Rate Wireless Sensor Networks,” *IEEE Wireless Communications and Networking Conference,* vol. 3, pp. 1727-1731, 2004. |
| [3] | R. Rajagopalan dan P. K. Varshney, “Data-Aggregation Techniques in Sensor Networks: A survey,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials,* vol. 8, no. 4, pp. 48-63, 2006. |
| [4] | C. Wang, H. Ma, Y. He dan X. Shuguang, “Adaptive Approximate Data Collection for Wireless Sensor Networks,” *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems,* vol. 23, no. 6, pp. 1004 - 1016, 2012. |
| [5] | P. Ghaffariyan, “An Effective Data Aggregation Mechanism for Wireless Sensor Networks,” *2010 6th International Conference on Wireless Communications Networking and Mobile Computing (WiCOM),* pp. 1-4, 2010. |
| [6] | “Data Aggregation and Data Fusion Techniques in WSN/SANET Topologies - A Critical Discussion,” *TENCON 2012 IEEE Region 10 Conference,* pp. 1-6, 2012. |
| [7] | Y. F. Solahuddin dan W. Ismail, “Data Fusion for Reducing Power Consumption in Arduino-Xbee Wireless Sensor Network Platform,” *2014 International Conference on Computer and Information Sciences (ICCOINS),* pp. 1-6, 2014. |
| [8] | S. Yinbiao dan K. Lee, “Internet of Things: Wireless Sensor Network,” *International Electrotechnical Commission, White Paper,* 2014. |
| [9] | B. Arne, “New Generation Sensor Web Enablement,” PubMed Central (PMC), 1 March 2011. [Online]. Available: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3231615/. [Diakses 2 January 2018]. |
| [10] | Wikipedia, “Arduino,” [Online]. Available: https://id.wikipedia.org/wiki/Arduino. [Diakses 2 January 2018]. |
| [11] | “Arduino Software (IDE),” [Online]. Available: https://www.arduino.cc/en/Guide/Environment. [Diakses 3 January 2018]. |
| [12] | belajararduino.net, “Shield Arduino,” 2018. [Online]. Available: http://www.belajararduino.net/shield-arduino. [Diakses 3 January 2018]. |
| [13] | “Zigbee Networking with XBee Series 2 and Seeed's Products,” [Online]. Available: http://wiki.seeed.cc/Zigbee\_Networking\_with\_XBee\_Series. [Diakses 3 January 2018]. |
| [14] | J. Song dan Y. K. Tan, “Energy Consumption Analysis of ZigBee-Based Energy Harvesting Wireless Sensor Networks,” *2012 IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS),* pp. 468-472, 2012. |
| [15] | S. Vokes, “Heatshrink: An Embedded Data Compression Library,” 14 March 2013. [Online]. Available: https://spin.atomicobject.com/2013/03/14/heatshrink-embedded-data-compression/. [Diakses 3 January 2018]. |
| [16] | Mahfud, “Algoritma Kompresi LZSS,” 14 June 2012. [Online]. Available: https://mahfudharun.wordpress.com/2012/06/14/algoritma-kompresi-lzss/. [Diakses 6 January 2018]. |
| [17] | A. Ozsoy dan M. Swany, “CULZSS: LZSS Lossless Data Compression on CUDA,” *2011 IEEE International Conference on Cluster Computing,* pp. 403-411, 2011. |
| [18] | “Lempel–Ziv–Storer–Szymanski,” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Lempel–Ziv–Storer–Szymanski. [Diakses 6 January 2018]. |
| [19] | atomicobject, “Heatshrink,” [Online]. Available: https://github.com/atomicobject/heatshrink. [Diakses 10 May 2018]. |

***(Halaman ini sengaja dikosongkan)***

# LAMPIRAN

Tabel 8.1 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P01 pada Panjang Data 584 karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Efektifitas Kompresi Pada Panjang Data 584 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 87.0% | 2.7% | -4.6% | -10.4% | -2.2% | 1.7% | -1.4% | 2.4% | -0.2% | 17.6% | 9.3% |
| HS (5,4) | 91.6% | 7.0% | 9.8% | -1.0% | 4.3% | 23.8% | 16.3% | 58.9% | 4.3% | 29.3% | 24.4% |
| HS (6,5) | 94.7% | 10.3% | 24.1% | 5.1% | 4.8% | 37.5% | 15.2% | 75.7% | 12.2% | 38.9% | 31.8% |
| HS (7,6) | 96.6% | 9.4% | 29.3% | 7.7% | 12.0% | 76.7% | 67.5% | 80.0% | 72.9% | 41.8% | 49.4% |
| HS (8,7) | 97.8% | 23.5% | 26.7% | 44.2% | 38.5% | 76.0% | 66.8% | 79.5% | 71.7% | 73.8% | 59.8% |
| HS (9,8) | 98.5% | 26.4% | 26.9% | 43.3% | 42.1% | 75.7% | 66.1% | 78.8% | 71.1% | 38.7% | 56.7% |

Tabel 8.2 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P01 pada Panjang Data 980 karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Efektifitas Kompresi Pada Panjang Data 980 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 87.1% | 3.5% | 5.6% | 0.8% | -3.1% | -1.5% | 10.5% | -3.8% | -1.0% | -2.2% | 9.6% |
| HS (5,4) | 91.8% | 6.1% | 10.9% | 24.0% | 13.0% | 18.3% | 10.0% | 0.9% | 11.7% | 12.4% | 19.9% |
| HS (6,5) | 95.0% | 8.0% | 19.9% | 38.6% | 17.8% | 50.1% | 9.0% | 26.9% | 29.0% | 29.3% | 32.3% |
| HS (7,6) | 96.8% | 7.6% | 31.6% | 74.1% | 18.3% | 73.0% | 67.3% | 49.1% | 35.5% | 37.7% | 49.1% |
| HS (8,7) | 98.1% | 40.9% | 39.1% | 73.1% | 27.8% | 77.9% | 68.0% | 47.3% | 35.7% | 37.2% | 54.5% |
| HS (9,8) | 98.8% | 43.1% | 45.5% | 72.7% | 64.5% | 88.2% | 68.0% | 48.0% | 37.3% | 39.1% | 60.5% |

Tabel 8.3 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P01 pada Panjang Data 1280 karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Efektifitas Kompresi Pada Panjang Data 1280 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 87.3% | 3.8% | -5.1% | 1.3% | -3.6% | -6.6% | 13.8% | -5.1% | -5.5% | 20.1% | 10.0% |
| HS (5,4) | 92.0% | 5.9% | -0.3% | 19.3% | 3.7% | 0.2% | 20.5% | 0.4% | -1.5% | 28.1% | 16.8% |
| HS (6,5) | 95.1% | 7.0% | 18.8% | 27.3% | 13.0% | 24.5% | 24.1% | 65.3% | 67.6% | 31.4% | 37.4% |
| HS (7,6) | 97.0% | 10.4% | 43.2% | 40.1% | 21.0% | 24.7% | 24.6% | 81.9% | 82.1% | 34.3% | 45.9% |
| HS (8,7) | 98.2% | 53.9% | 45.9% | 40.5% | 22.5% | 26.8% | 21.3% | 81.1% | 81.2% | 30.9% | 50.2% |
| HS (9,8) | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal |

Tabel 8.4 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P01 pada Panjang Data 1345 karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Efektifitas Kompresi Pada Panjang Data 1345 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 87.3% | 4.3% | -5.0% | 1.1% | -3.3% | -6.1% | 13.5% | -5.0% | -5.6% | 20.7% | 10.2% |
| HS (5,4) | 92.0% | 6.1% | -0.4% | 19.7% | 3.6% | 1.2% | 19.9% | 0.4% | -1.6% | 29.0% | 17.0% |
| HS (6,5) | 95.1% | 7.1% | 20.4% | 28.3% | 12.9% | 24.2% | 23.9% | 65.9% | 67.4% | 32.0% | 37.7% |
| HS (7,6) | 97.1% | 10.2% | 43.6% | 40.3% | 21.0% | 24.5% | 24.5% | 81.9% | 81.4% | 34.8% | 45.9% |
| HS (8,7) | 98.1% | 95.6% | 46.8% | 40.8% | 22.5% | 26.5% | 21.0% | 81.2% | 81.5% | 31.2% | 54.5% |
| HS(9,8) | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal |

Tabel 8.5 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P01 pada Panjang Data 1870 karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Efektifitas Kompresi Pada Panjang Data 1870 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 87.3% | 3.0% | -4.2% | 2.6% | -3.4% | -5.0% | -8.7% | -4.2% | -8.8% | -8.1% | 5.1% |
| HS (5,4) | 92.0% | 4.9% | 2.2% | 9.4% | 6.0% | 5.9% | -6.8% | -0.6% | -4.2% | 2.9% | 11.2% |
| HS (6,5) | 95.1% | 5.8% | 15.0% | 20.5% | 22.1% | 32.6% | -5.8% | 7.7% | -2.8% | 13.3% | 20.4% |
| HS (7,6) | 97.1% | 24.5% | 22.1% | 29.1% | 28.9% | 36.8% | -0.3% | 18.6% | 1.6% | 19.6% | 27.8% |
| HS (8,7) | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal |
| HS(9,8) | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal |

Tabel 8.6 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P02 pada Jarak ±10 Meter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pengiriman Data Via ZigBee (±10 meter) | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Akurasi |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Jumlah Data Masuk | Sesuai | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 100.0% |
| Tidak | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 8.7 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P02 pada Jarak ±20 Meter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pengiriman Data Via ZigBee (±20 meter) | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Akurasi |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Jumlah Data Masuk | Sesuai | 40 | 36 | 39 | 38 | 36 | 35 | 40 | 38 | 27 | 27 | 86.8% |
| Tidak | 1 | 5 | 2 | 3 | 5 | 6 | 1 | 3 | 14 | 14 |

Tabel 8.8 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P02 pada Jarak ±30 Meter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pengiriman Data Via ZigBee (±30 meter) | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Akurasi |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Jumlah Data Masuk | Sesuai | 27 | 32 | 37 | 38 | 30 | 34 | 26 | 20 | 12 | 29 | 69.5% |
| Tidak | 14 | 9 | 4 | 3 | 11 | 7 | 15 | 11 | 29 | 12 |

Tabel 8.9 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Jarak ±10 Meter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pengiriman Data Via ZigBee (±10 meter) | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Akurasi | Total Akurasi |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| End Device ke Router | Sesuai | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 100.0% | 100.0% |
| Tidak | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Router ke Cordinator | Sesuai | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 100.0% |
| Tidak | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabel 8.10 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Jarak ±20 Meter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pengiriman Data Via ZigBee (±10 meter) | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Akurasi | Total Akurasi |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| End Device ke Router | Sesuai | 38 | 40 | 29 | 38 | 40 | 40 | 38 | 31 | 40 | 38 | 90.7% | 90.6% |
| Tidak | 3 | 1 | 12 | 3 | 1 | 1 | 3 | 10 | 1 | 3 |
| Router ke Cordinator | Sesuai | 38 | 40 | 29 | 38 | 40 | 40 | 38 | 31 | 40 | 37 | 90.5% |
| Tidak | 3 | 1 | 12 | 3 | 1 | 1 | 3 | 10 | 1 | 4 |

Tabel 8.11 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Jarak ±30 Meter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pengiriman Data Via ZigBee (±10 meter) | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Akurasi | Total Akurasi |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| End Device ke Router | Sesuai | 31 | 40 | 40 | 23 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 9 | 83.7% | 82.6% |
| Tidak | 10 | 1 | 1 | 18 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 32 |
| Router ke Cordinator | Sesuai | 29 | 37 | 40 | 23 | 40 | 37 | 40 | 40 | 39 | 9 | 81.5% |
| Tidak | 12 | 4 | 1 | 18 | 1 | 4 | 1 | 1 | 2 | 32 |

Tabel 8.12 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Panjang Data 584 Karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Waktu Kompresi Pada Panjang Data 584 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 0.021668 | 0.06192 | 0.06382 | 0.066196 | 0.062816 | 0.062168 | 0.063084 | 0.0624 | 0.061324 | 0.054956 | 0.058035 |
| HS (5,4) | 0.014168 | 0.054824 | 0.052968 | 0.058036 | 0.056048 | 0.047524 | 0.052024 | 0.03274 | 0.05576 | 0.045132 | 0.046922 |
| HS (6,5) | 0.010436 | 0.051796 | 0.04422 | 0.05368 | 0.054028 | 0.03934 | 0.050396 | 0.02044 | 0.051008 | 0.038812 | 0.041416 |
| HS (7,6) | 0.009128 | 0.051924 | 0.041576 | 0.052336 | 0.051124 | 0.01888 | 0.023332 | 0.017176 | 0.020936 | 0.036704 | 0.032312 |
| HS (8,7) | 0.008444 | 0.04648 | 0.044192 | 0.035056 | 0.039484 | 0.019624 | 0.023364 | 0.018768 | 0.020644 | 0.038712 | 0.029477 |
| HS (9,8) | 0.009796 | 0.04566 | 0.044852 | 0.036096 | 0.038076 | 0.019476 | 0.025196 | 0.019356 | 0.022348 | 0.0396 | 0.030046 |

Tabel 8.13 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Panjang Data 980 Karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Waktu Kompresi Pada Panjang Data 980 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 0.036 | 0.103012 | 0.099108 | 0.104328 | 0.10516 | 0.105276 | 0.098072 | 0.107804 | 0.104436 | 0.10556 | 0.096876 |
| HS (5,4) | 0.023316 | 0.09198 | 0.088132 | 0.079584 | 0.08662 | 0.082324 | 0.08842 | 0.097552 | 0.088636 | 0.088276 | 0.081484 |
| HS (6,5) | 0.016504 | 0.087724 | 0.078168 | 0.064964 | 0.078772 | 0.056884 | 0.084104 | 0.074172 | 0.073576 | 0.073092 | 0.068796 |
| HS (7,6) | 0.013812 | 0.088556 | 0.06996 | 0.03318 | 0.07762 | 0.037476 | 0.035456 | 0.05668 | 0.067972 | 0.066516 | 0.054723 |
| HS (8,7) | 0.01284 | 0.063624 | 0.065644 | 0.036612 | 0.072836 | 0.033568 | 0.037744 | 0.061048 | 0.072896 | 0.072172 | 0.052898 |
| HS (9,8) | 0.013732 | 0.0636 | 0.062556 | 0.03756 | 0.040268 | 0.020992 | 0.039064 | 0.064876 | 0.078504 | 0.077816 | 0.049897 |

Tabel 8.14 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Panjang Data 980 Karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Waktu Kompresi Pada Panjang Data 1280 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 0.046784 | 0.134308 | 0.1415 | 0.13454 | 0.14152 | 0.14224 | 0.129448 | 0.140028 | 0.140336 | 0.122632 | 0.127334 |
| HS (5,4) | 0.029956 | 0.120004 | 0.128064 | 0.10656 | 0.125156 | 0.12678 | 0.114456 | 0.126348 | 0.126988 | 0.104836 | 0.110915 |
| HS (6,5) | 0.02132 | 0.115304 | 0.104852 | 0.09556 | 0.11336 | 0.099804 | 0.109652 | 0.061012 | 0.059364 | 0.09682 | 0.087705 |
| HS (7,6) | 0.017192 | 0.11322 | 0.07988 | 0.081868 | 0.106356 | 0.099696 | 0.112556 | 0.038032 | 0.038068 | 0.091188 | 0.077806 |
| HS (8,7) | 0.01574 | 0.067536 | 0.082156 | 0.084428 | 0.116148 | 0.105112 | 0.136576 | 0.036652 | 0.038328 | 0.101328 | 0.0784 |
| HS (9,8) | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal |

Tabel 8.15 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Panjang Data 1345 Karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Waktu Kompresi Pada Panjang Data 1345 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 0.049096 | 0.140392 | 0.148608 | 0.141748 | 0.148216 | 0.148996 | 0.136256 | 0.147052 | 0.147492 | 0.128608 | 0.133646 |
| HS (5,4) | 0.031416 | 0.126404 | 0.134668 | 0.111352 | 0.13168 | 0.132336 | 0.12044 | 0.132528 | 0.133572 | 0.109812 | 0.116421 |
| HS (6,5) | 0.022332 | 0.12016 | 0.108376 | 0.099092 | 0.11926 | 0.105184 | 0.1155 | 0.063644 | 0.062128 | 0.101736 | 0.091741 |
| HS (7,6) | 0.017664 | 0.118092 | 0.082736 | 0.08562 | 0.111744 | 0.105064 | 0.118672 | 0.040044 | 0.04092 | 0.096272 | 0.081683 |
| HS (8,7) | 0.016248 | 0.068128 | 0.085728 | 0.088632 | 0.123212 | 0.111364 | 0.144996 | 0.039204 | 0.039576 | 0.106688 | 0.082378 |
| HS (9,8) | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal |

Tabel 8.16 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P03 pada Panjang Data 1870 Karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Waktu Kompresi Pada Panjang Data 1870 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 0.067972 | 0.19612 | 0.206268 | 0.200064 | 0.203728 | 0.205596 | 0.208944 | 0.205744 | 0.209548 | 0.208368 | 0.191235 |
| HS (5,4) | 0.043168 | 0.176332 | 0.183084 | 0.177008 | 0.1769 | 0.176796 | 0.190228 | 0.184508 | 0.188456 | 0.179464 | 0.167594 |
| HS (6,5) | 0.030552 | 0.169756 | 0.160648 | 0.15772 | 0.149724 | 0.133204 | 0.184148 | 0.168644 | 0.181924 | 0.1603 | 0.149662 |
| HS (7,6) | 0.024604 | 0.142132 | 0.150764 | 0.146808 | 0.141612 | 0.12818 | 0.181036 | 0.1556 | 0.179084 | 0.151396 | 0.140122 |
| HS (8,7) | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal |
| HS (9,8) | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal |

Tabel 8.17 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P04 pada Panjang Data 584 Karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Waktu Dekompresi Pada Panjang Data 584 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 0.007508 | 0.0218 | 0.022624 | 0.023324 | 0.022284 | 0.021784 | 0.022352 | 0.021624 | 0.021844 | 0.019212 | 0.020436 |
| HS (5,4) | 0.00494 | 0.021284 | 0.020588 | 0.0226 | 0.021548 | 0.018476 | 0.020104 | 0.01232 | 0.021484 | 0.01728 | 0.018062 |
| HS (6,5) | 0.004028 | 0.020812 | 0.018168 | 0.021636 | 0.0217 | 0.015712 | 0.02034 | 0.00842 | 0.020184 | 0.015476 | 0.016648 |
| HS (7,6) | 0.003556 | 0.021136 | 0.017324 | 0.021244 | 0.02062 | 0.007972 | 0.009912 | 0.007392 | 0.008728 | 0.014976 | 0.013286 |
| HS (8,7) | 0.003316 | 0.017804 | 0.017348 | 0.013976 | 0.015072 | 0.008064 | 0.00986 | 0.007456 | 0.00888 | 0.014912 | 0.011669 |
| HS (9,8) | 0.003252 | 0.017548 | 0.017664 | 0.014424 | 0.014684 | 0.008332 | 0.010196 | 0.007768 | 0.009224 | 0.015464 | 0.011856 |

Tabel 8.18 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P04 pada Panjang Data 980 Karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Waktu Dekompresi Pada Panjang Data 980 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 0.012284 | 0.035876 | 0.035028 | 0.036416 | 0.036992 | 0.036704 | 0.033568 | 0.03786 | 0.036616 | 0.036988 | 0.033833 |
| HS (5,4) | 0.009132 | 0.03538 | 0.03396 | 0.03058 | 0.033016 | 0.031452 | 0.033584 | 0.037476 | 0.0337 | 0.03354 | 0.031182 |
| HS (6,5) | 0.006336 | 0.035096 | 0.031668 | 0.025748 | 0.031816 | 0.02226 | 0.03402 | 0.029592 | 0.02906 | 0.029048 | 0.027464 |
| HS (7,6) | 0.005524 | 0.0355 | 0.028088 | 0.013848 | 0.03194 | 0.014696 | 0.015896 | 0.02222 | 0.026916 | 0.026316 | 0.022094 |
| HS (8,7) | 0.005112 | 0.024004 | 0.024576 | 0.014084 | 0.028384 | 0.012812 | 0.015588 | 0.022248 | 0.025992 | 0.0255 | 0.01983 |
| HS (9,8) | 0.00498 | 0.023648 | 0.023448 | 0.014484 | 0.017084 | 0.009504 | 0.015828 | 0.022508 | 0.025996 | 0.025396 | 0.018288 |

Tabel 8.19 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P04 pada Panjang Data 1280 Karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Waktu Dekompresi Pada Panjang Data 1280 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 0.015876 | 0.046616 | 0.049724 | 0.047216 | 0.049572 | 0.049604 | 0.044404 | 0.049548 | 0.049648 | 0.04194 | 0.044415 |
| HS (5,4) | 0.011808 | 0.046156 | 0.049404 | 0.04054 | 0.048236 | 0.048076 | 0.042816 | 0.04866 | 0.0493 | 0.039524 | 0.042452 |
| HS (6,5) | 0.009544 | 0.04602 | 0.042028 | 0.037892 | 0.045032 | 0.039488 | 0.042 | 0.02362 | 0.022652 | 0.038012 | 0.034629 |
| HS (7,6) | 0.007024 | 0.044916 | 0.031672 | 0.032804 | 0.04158 | 0.03962 | 0.041588 | 0.015384 | 0.01536 | 0.03604 | 0.030599 |
| HS (8,7) | 0.006488 | 0.025948 | 0.029416 | 0.03186 | 0.03924 | 0.037412 | 0.040564 | 0.015192 | 0.015192 | 0.035996 | 0.027731 |
| HS (9,8) | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal |

Tabel 8.20 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P04 pada Panjang Data 1345 Karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Waktu Dekompresi Pada Panjang Data 1345 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 0.016644 | 0.048788 | 0.052208 | 0.049628 | 0.051996 | 0.051872 | 0.046696 | 0.052012 | 0.052156 | 0.043912 | 0.046591 |
| HS (5,4) | 0.012376 | 0.04838 | 0.051904 | 0.042404 | 0.050688 | 0.050104 | 0.045144 | 0.051128 | 0.051796 | 0.04126 | 0.044518 |
| HS (6,5) | 0.010012 | 0.048288 | 0.043344 | 0.039416 | 0.047288 | 0.041604 | 0.044268 | 0.024572 | 0.02384 | 0.039804 | 0.036244 |
| HS (7,6) | 0.007336 | 0.047224 | 0.03302 | 0.03432 | 0.043648 | 0.041716 | 0.043864 | 0.016112 | 0.016448 | 0.037724 | 0.032141 |
| HS (8,7) | 0.006816 | 0.026388 | 0.030504 | 0.033304 | 0.041252 | 0.039376 | 0.042684 | 0.015912 | 0.015808 | 0.037732 | 0.028978 |
| HS (9,8) | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal |

Tabel 8.21 Rincian Hasil Uji Coba UJ-P04 pada Panjang Data 1870 Karakter

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Waktu Dekompresi Pada Panjang Data 1870 | | Percobaan ke- | | | | | | | | | | Rata - rata |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Konfigurasi | HS (4,3) | 0.022916 | 0.06804 | 0.071952 | 0.069312 | 0.070876 | 0.071644 | 0.073064 | 0.071908 | 0.073212 | 0.072968 | 0.066589 |
| HS (5,4) | 0.016948 | 0.067448 | 0.069956 | 0.067048 | 0.067268 | 0.067192 | 0.073028 | 0.071136 | 0.072344 | 0.06898 | 0.064135 |
| HS (6,5) | 0.013716 | 0.067488 | 0.063748 | 0.06202 | 0.05898 | 0.053052 | 0.073368 | 0.067628 | 0.072576 | 0.06418 | 0.059676 |
| HS (7,6) | 0.010972 | 0.056604 | 0.059596 | 0.056564 | 0.055104 | 0.05058 | 0.071548 | 0.062212 | 0.071072 | 0.06056 | 0.055481 |
| HS (8,7) | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal |
| HS (9,8) | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal | gagal |

# 

# BIODATA PENULIS

Muhamad Hendri Febriansyah merupakan anak kembar dari pasangan Bapak Jamaludin dan Ibu Suryati. Lahir di Mataram pada tanggal 28 Februari 1996. Penulis menempuh pendidikan formal dimulai SDN 29 Mataram (2002-2008), MTsN 1 Mataram (2008-2011), SMAN 1 Mataram (2011-2014) dan S1 Departemen Informatika ITS (2014-2018). Bidang studi yang diambil oleh penulis pada saat berkuliah di Teknik Informatika ITS adalah Komputasi Berbasis Jaringan (KBJ). Penulis aktif dalam organisasi seperti Himpunan Mahasiswa Teknik Computer-Informatika (2015-2016) dan KMI (2015-2017). Penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan kepanitiaan yaitu SCHEMATICS 2015-2016 divisi Keamanan dan Perizinan. Penulis juga menyukai kegiatan pecinta alam. Penulis memiliki hobi traveling dan bermain game. Penulis dapat dihubungi melalui email : [hendrifebriansyah28@gmail.com](mailto:hendrifebriansyah28@gmail.com).