



**ANALISA SISTEM *MONITORING* TURBIN ANGIN OTOMATIS
BERBASIS *LONG-RANGE (LoRa) WIRELESS***

SKRIPSI

Oleh

Ahmad Shoim

NIM 121910201111

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**



**ANALISA SISTEM *MONITORING* TURBIN ANGIN OTOMATIS
BERBASIS *LONG-RANGE (LoRa) WIRELESS***

SKRIPSI

Diajukan guna memenuhi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Elektro (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Ahmad Shoim

NIM 121910201111

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK ELEKTRO
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2019**

Persembahan

Dengan rasa syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala karunia-Nya hingga saya sapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini merupakan langkah awal kesuksesan yang saya raih sebelum menuju kesuksesan selanjutnya dalam hidup saya. Dengan penuh rasa syukur dan ketulusan hati saya persembahkan karya ini kepada:

1. Terimah kasih ayah saya Zaini dan ibu saya Istiqomah yang telah mendidik, membesarkan, memberi cinta dan kasih sayang serta doa yang tiada putus hingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini, dan saya mempersembahkan gelar yang saya dapatkan untuk beliau;
2. Semua dosen dan guru saya di Universitas Jember, yang telah memberikan ilmu dan membimbing untuk menjadikan saya menjadi lebih baik;
3. Sahabat-sahabat SATE_UJ yang selalu ada, selalu memberikan bantuan, selalu memotivasi serta menghibur selama saya menimba ilmu di Universitas Jember;
4. Yusuf, Awang, Cries, Alkindi, Pratama, Rifki, Rizaldi, yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini;

Motto

Usaha akan terbayarkan dengan keberhasilan meraih hasil



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Ahmad Shoim

NIM : 121910201111

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul “ANALISA SISTEM *MONITORING* TURBIN ANGIN OTOMATIS BERBASIS *LONG-RANGE (LoRa) WIRELESS*” adalah benar benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggungjawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 9 Desember 2019

Yang menyatakan,

Ahmad Shoim

NIM. 121910201111

SKRIPSI

**ANALISA SISTEM MONITORING TURBIN ANGIN OTOMATIS
BERBASIS *LONG-RANGE (LoRa) WIRELESS***

Oleh

Ahmad Shoim

NIM 121910201111

Pembimbing

**Dosen Pembimbing Utama : Ike Fibriani, S.T., M.T.
NIP. 198002072015042001**

**Dosen Pembimbing Anggota : R.B. Moch. Gozali, S.T., M.T.
NIP. 196906081999031002**

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “**ANALISA SISTEM *MONITORING* TURBIN ANGIN OTOMATIS BERBASIS *LONG-RANGE (LoRa) WIRELESS*”** telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Senin, 9 Desember 2019

Tempat : Ruang Ujian 1 Fakultas Teknik Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama

Ike Fibriani, S.T., M.T
NIP. 198002072015042001

Penguji 1,

Khairul Anam, S.T., M.T
NIP. 197804052005011002

Dosen Pembimbing Anggota

R.B. Moch Gozali, S.T, M.T.
NIP. 196906081999031002

Penguji 2,

Widya Cahyadi, S.T., M.T.
NIP. 198511102014041001

Mengesahkan
Dekan,

Triwahju Hardianto, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197008261997021001

Analisa Sistem *Monitoring* Turbin Angin Otomatis Berbasis *Long-Range* (*LoRa*) *Wireless*

Ahmad Shoim

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRAK

Sistem monitoring turbin angin adalah alat yang digunakan untuk memantau kondisi dari turbin angin baik kecepatan, energi yang dihasilkan, sampai dengan sistem keamanan dari jarak jauh. Tujuan utama dari alat ini adalah untuk mencegah terjadinya *overspeed* dari turbin angin ketika terjadi angin kencang dan badai dengan mengontrol pengereman serta mengirimkan kondisi secara realtime sehingga pengawas tidak perlu terjun ke lapangan untuk memastikan sistem pengamanan dapat bekerja dengan baik. System pengamanan ini menggunakan transmisi wireless LoRa yang mampu mengirimkan data sampai dengan jarak yang sangat jauh dimana secara teori, sistem komunikasi LoRa ini mampu menempuh jarak lebih dari 10 KM. Dengan menggunakan turbin angin sederhana yang dihubungkan menggunakan Arduino dengan perangkat sensor, relay, dan modul LoRa untuk mengirimkan data pada perangkat *coordinator*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kemampuan dari transmisi *LoRa* untuk aplikasi monitoring turbin angin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa transmisi LoRa menggunakan modul SX1278 mampu mengirimkan data sampai dengan jarak 250 meter pada kondisi NLOS (*non line of sight*) dan jarak 1800 meter pada kondisi LOS (*line of sight*). Kondisi LOS dan NLOS juga mempengaruhi banyaknya paket yang gagal dikirimkan (*packet loss*) dimana pada kondisi NLOS, tingkat kegagalan mencapai 32% pada jarak 250 meter dan pada kondisi LOS hanya sebanyak 1% pada jarak yang lebih jauh yaitu 300 meter. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa jumlah

node sensor yang digunakan mempengaruhi *delay* dan tidak selalu mempengaruhi *packet loss* dimana *packet loss* hanya terjadi hanya pada dua pengujian dari lima pengujian yang dilakukan.

Kata kunci: *Long-Range (LoRa) Wireless, Line of Sight, Turbin Angin, Sistem Monitoring*



Analysis Of Automatic Wind Turbine Monitoring System Using Long-Range Wireless Transmission

Ahmad Shoim

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember

ABSTRACT

Wind turbine monitoring system is a device used to monitor the condition of the wind turbine both the speed, the energy produced, up to the security system remotely. The main purpose of this tool is to prevent overspeeding of wind turbines when strong winds and storms occur by controlling braking and sending conditions in real time so supervisors do not have to jump into the field to ensure the security system can work properly. This security system uses a LoRa wireless transmission that is capable of sending data up to great distances where in theory, this LoRa communication system is capable of traveling more than 10 KM. By using a simple wind turbine that is connected using Arduino with sensors, relays, and LoRa modules to send data to the coordinator device. This study aims to analyze the capability of the LoRa transmission for wind turbine monitoring applications. The test results show that the LoRa transmission using the SX1278 module is capable of sending data up to a distance of 250 meters under NLOS conditions (non line of sight) and a distance of 1800 meters under LOS conditions (line of sight). LOS and NLOS conditions also affect the number of packets that fail to send (packet loss) where in the NLOS conditions, the failure rate reaches 32% at a distance of 250 meters and at LOS conditions only as much as 1% at a longer distance of 300 meters. The test results also show that the number of sensor nodes used affects delay and does not always affect packet loss where packet loss only occurs in only two of the five tests performed.

Keywords: *Long-Range (LoRa) Wireless, Line of Sight, Wind Turbine, Monitoring System*

RINGKASAN

Analisa Sistem *Monitoring* Turbin Angin Otomatis Berbasis *Long-Range (LoRa) Wireless*; Ahmad Sho'im, 121910201111; 2019; 61 halaman; Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Jember.

Angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat salah satunya untuk membangkitkan energi listrik. Pengkajian dan pengembangan teknologi pemanfaatan energi angin sangat diperlukan agar penerapannya dapat disesuaikan serta mendukung kemandirian teknologi dalam negeri. Untuk mewujudkan hal tersebut maka energi angin dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif terbarukan pengganti energi fosil yang selama ini menjadi sumber energi utama di Indonesia. Alat yang dapat digunakan untuk mengkonversi energi angin adalah turbin angin, di mana energi angin yang merupakan energi kinetik diubah menjadi energi mekanik (putaran) yang kemudian dapat dimanfaatkan sesuai dengan kebutuhan yaitu energi listrik.

Pembangkit listrik tenaga angin memiliki beberapa kendala, salah satunya yaitu terjadinya *overspeed* dimana kincir angin yang terpasang pada pembangkit berputar terlalu cepat ketika angin bertiup terlalu kencang, hal ini akan merusak berbagai komponen termasuk komponen kincir angin itu sendiri. Berdasarkan latar belakang tersebut, dibutuhkan suatu sistem untuk menghindari terjadinya *overspeed* salah satunya dengan membangun sistem kontrol kincir angin otomatis. Sistem kontrol ini digunakan untuk memutus dan menghubungkan beban pada kincir angin untuk mengurangi kecepatan putaran rotor ketika angin bertiup melebihi kecepatan yang telah ditentukan. Tanpa sistem perlindungan, rotor dapat berputar hingga melebihi batas kemampuan bilah yang dapat menyebabkan generator dan komponen rotor lainnya mengalami kegagalan. Sistem kontrol ini juga perlu dilengkapi perangkat komunikasi sehingga besar daya yang dihasilkan oleh kincir angin serta sistem proteksi dapat dipantau dari kejauhan untuk memastikan sistem bekerja dengan baik dan tidak mengalami kegagalan.

Salah satu teknologi yang dapat digunakan sebagai media komunikasi untuk sistem monitoring dan kontrol adalah teknologi *LoRa (Long Range) wireless*. *LoRa* adalah suatu protokol dan standar komunikasi dengan *data rate* yang rendah namun jarak transmisi yang sangat jauh. Selain karena biaya pemasangan dan penggunaan yang rendah, jarak yang sangat jauh hingga melebihi jarak 10 KM ini sangat cocok untuk diaplikasikan pada sistem monitoring kincir angin. Dengan menggunakan teknologi *LoRa* ini, penulis melakukan suatu penelitian yang berjudul “*Analisa Sistem Monitoring Turbin Angin Otomatis Berbasis Long-Range (LoRa) Wireless*”. Penelitian ini bertujuan menguji sistem monitoring pada kincir angin otomatis seperti memantau tegangan, arus serta kecepatan dari kincir angin serta memantau sistem proteksi *overspeed* dari kincir angin dari jarak jauh. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu tinjauan dan pertimbangan didalam membangun sistem kincir angin otomatis pada skala yang lebih besar.

Dari seluruh pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa 1. Sistem monitoring turbin angin dapat diaplikasikan menggunakan transmisi *LoRa wireless* dengan jarak jangkauan mencapai 250 meter pada kondisi *NLOS* dan mencapai 1800 meter pada kondisi *LOS*. 3. Jumlah node sensor mempengaruhi delay dan tidak selalu mempengaruhi packet loss dimana dari lima percobaan, delay pada saat menggunakan dua sensor selalu lebih besar dibandingkan ketika menggunakan satu sensor sedangkan peningkatan packet loss ketika dua node digunakan terjadi sebanyak dua percobaan dari lima percobaan yang dilakukan.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang maha kuasa atas segalanya, karena dengan ridho, hidayah dan petunjukNya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Selama penyusunan skripsi ini penulis mendapat bantuan berbagai pihak yang turut memberikan bantuan berupa motivasi, inspirasi, bimbingan, doa, fasilitas dan dukungan lainnya yang membantu memperlancar pengerjaan skripsi ini. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada.

1. Ayah dan ibu saya Zaini dan Istiqomah yang memberikan segalanya, sehingga saya dapat menyelesaikan studi ini;
2. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
3. Bapak Sri Kaloko, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Jember;
4. Ibu, Ike Fibriani, S. T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak RB. Moch. Gozali S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penulisan skripsi ini;
5. Bapak Khairul Anam, S.T., M.T., selaku dosen penguji I dan Bapak Widya Cahyadi, ST, MT, selaku dosen penguji II;
6. Seluruh Dosen Teknik Elektro yang telah memberikan bekal ilmu pengetahuan dan bimbingan selama mengikuti pendidikan di Jurusan teknik elektro fakultas Teknik universitas Jember;
7. Para staf karyawan dan karyawan serta teknisi Fakultas teknik Universitas jember yang telah memberikan bantuan selama mengikuti pendidikan di Fakultas teknik Universitas Jember;
8. Semua dosen dan guru saya di Universitas Jember;
9. Seluruh sahabat-sahabat SATE_UJ yang selalu ada, selalu memberikan bantuan, selalu memotivasi serta menghibur selama saya menimba ilmu di Universitas Jember;
5. Yusuf, Awang, Cries, Alkindi, Pratama, Rifki, Rizaldi, yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini;

10. Sahabat-sahabat di Ucup Foundation yang telah memfasilitasi dalam pengerjaan skripsi ini;
11. Dan seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.
12. Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna bagi pembaca dan bagi penulis sendiri pada khususnya semoga Allah SWT memberikan yang terbaik untuk kita semua. Amin

Jember, 9 Desember 2019

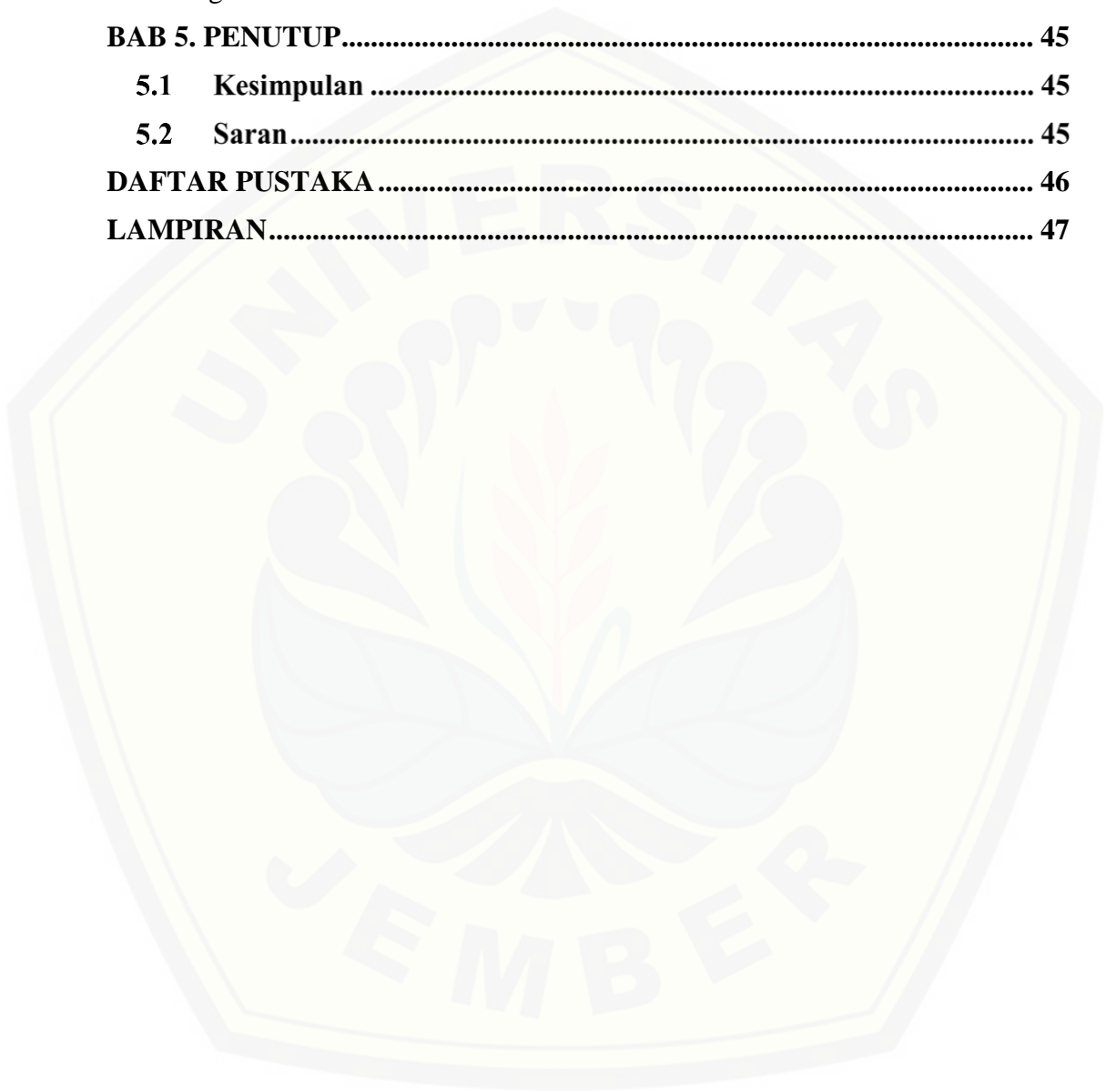
Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----------|
| HALAMAN JUDUL | ii |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | iii |
| HALAMAN MOTTO | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN..... | v |
| TUGAS AKHIR | vi |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | vii |
| ABSTRAK | viii |
| ABSTRAK INGGRIS | x |
| RINGKASAN | xi |
| PRAKATA | xii |
| DAFTAR ISI..... | xv |
| DAFTAR TABEL | xviii |
| DAFTAR GAMBAR..... | xix |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Batasan Masalah..... | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian | 3 |
| 1.6 Sistematika Penelitian..... | 3 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Turbin Angin | 5 |
| 2.1.1 Klasifikasi Turbin Angin..... | 6 |
| 2.2 Sensor | 7 |
| 2.2.1 Modul Sensor Arus ACS712..... | 8 |
| 2.2.2 Modul Sensor Tegangan | 9 |
| 2.2.3 Modul <i>Relay</i> | 10 |
| 2.3 Arduino UNO..... | 11 |
| 2.4 Dragino LoRa Mini Dev..... | 11 |
| 2.5 Komunikasi Data | 13 |
| 2.5.1 Transmisi Data | 14 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.5.2 | Jalur Transmisi Data | 15 |
| 2.6 | LOS (<i>Line of Sight</i>)..... | 15 |
| 2.7 | NLOS (<i>Non Line of Sight</i>) | 16 |
| 2.8 | Quality of Service (QoS) | 17 |
| 2.8.1 | Packet Loss | 17 |
| 2.8.2 | Delay | 17 |
| 2.9 | <i>LoRa (Long-Range)</i>..... | 18 |
| 2.9.1 | Fitur-fitur LoRa..... | 18 |
| 2.9.2 | Modul LoRa | 19 |
| BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN | | 21 |
| 3.1 | Tempat Penelitian..... | 21 |
| 3.2 | Alat dan Bahan | 22 |
| 3.2.1 | <i>Hardware</i> | 22 |
| 3.2.2 | <i>Software</i> | 23 |
| 3.3 | Tahap penelitian | 23 |
| 3.4 | Perancangan Alat | 24 |
| 3.5 | Perancangan Program | 27 |
| 3.6 | Flowchart Sistem | 28 |
| 3.7 | Rencana Pengambilan Data | 29 |
| 3.7.1 | Pengujian Sistem Kincir Angin Otomatis | 29 |
| 3.7.2 | Pengujian Transmisi pada Pada kondisi <i>LOS (Line-of-Sight)</i> | 30 |
| 3.7.3 | Pengujian Transmisi Data pada kondisi <i>NLOS (Non-Line-of-Sight)</i> 30 | |
| 3.7.4 | Pengujian Transmisi Data Berdasarkan Jumlah <i>Node Sensor</i> yang Digunakan. | 31 |
| BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN | | 32 |
| 4.1 | Pengujian Sistem Kincir Kincir Angin Otomatis..... | 32 |
| 4.2 | Pengujian pengaruh Kondisi Lokasi Pengujian dan Jarak terhadap Kualitas Pengiriman Data. | 33 |
| 4.2.1 | Pengujian pada Kondisi LOS | 34 |
| 4.2.2 | Pengujian pada Kondisi <i>NLOS</i> | 37 |
| 4.3 | Pengujian Pengaruh Jumlah Node terhadap Kualitas Pengiriman Data | 39 |

| | | |
|-----------------------|---|-----------|
| 4.4 | Analisa Hasil Pengujian | 40 |
| 4.4.1 | Analisa Pengaruh Kondisi Lokasi Pengujian dan Jarak Terhadap Kualitas Pengiriman Data. | 40 |
| 4.4.2 | Analisa Pengaruh Jumlah <i>Node Sensor</i> terhadap Kualitas Pengiriman Data..... | 42 |
| BAB 5. | PENUTUP | 45 |
| 5.1 | Kesimpulan | 45 |
| 5.2 | Saran | 45 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 46 |
| LAMPIRAN | | 47 |



DAFTAR TABEL

| | | |
|------------------|--|-----------|
| Tabel 3.1 | Rencana Pengujian pada Kondisi LOS..... | 30 |
| Tabel 3.2 | Rencana pengujian pada kondisi <i>NLOS</i> | 30 |
| Tabel 3.3 | Rencana Pengujian Pengaruh Jumlah <i>Node</i> | 31 |
| Tabel 4.1 | Hasil Pengujian Kincir Angin Otomatis | 32 |
| Tabel 4.2 | Rata-rata <i>Delay</i> dan <i>Packet Loss</i> pada Kondisi LOS..... | 34 |
| Tabel 4.3 | Rata-rata <i>Delay</i> dan <i>Packet Loss</i> pada Kondisi LOS..... | 35 |
| Tabel 4.4 | Rata-rata <i>Delay</i> dan <i>Packet Loss</i> pada Kondisi <i>NLOS</i>..... | 37 |
| Tabel 4.5 | Rata-rata <i>delay</i> berdasarkan jumlah <i>node sensor</i> | 39 |
| Tabel 4.6 | Besar <i>packet loss</i> berdasarkan jumlah <i>node sensor</i> | 40 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.1 | Kincir Angin | 5 |
| Gambar 2.2 | Modul sensor arus ACS712 | 8 |
| Gambar 2.3 | Modul sensor tegangan | 9 |
| Gambar 2.4 | Modul Relay | 10 |
| Gambar 2.5 | Arduino UNO..... | 11 |
| Gambar 2.6 | Dragino LoRa Mini Dev..... | 12 |
| Gambar 2.7 | Blok diagram komunikasi data | 14 |
| Gambar 2.8 | Transmisi Line of Sight..... | 16 |
| Gambar 2.9 | Non Line of Sight..... | 16 |
| Gambar 2.10 | <i>LoRa Shield</i> dengan modul <i>SX1278</i> | 19 |
| Gambar 3.1 | Lokasi pengujian pada kondisi <i>LOS</i> | 21 |
| Gambar 3.2 | Lokasi Pengujian pada kondisi <i>NLOS</i> | 22 |
| Gambar 3.3 | Blok Diagram Tahap Penelitian..... | 23 |
| Gambar 3.4 | Blok Diagram Alat..... | 24 |
| Gambar 3.5 | Rangkaian <i>Node Sensor</i> | 25 |
| Gambar 3.6 | Hasil Perancangan <i>node sensor</i> dan turbin angin | 26 |
| Gambar 3.7 | Hasil Perancangan <i>node coordinator</i> | 26 |
| Gambar 3.8 | Tampilan program <i>monitoring</i> pada PC | 27 |
| Gambar 3.9 | Flowchart Sistem | 28 |
| Gambar 4.1 | Grafik Tegangan dan Kondisi Relay | 33 |
| Gambar 4.2 | Grafik rata-rata <i>delay</i> pada kondisi <i>LOS</i> | 36 |
| Gambar 4.3 | Grafik <i>packet loss</i> pada kondisi <i>LOS</i> | 37 |
| Gambar 4.4 | Rata-rata <i>delay</i> pada kondisi <i>NLOS</i> | 38 |
| Gambar 4.5 | Grafik <i>packet loss</i> pada kondisi <i>NLOS</i> | 39 |
| Gambar 4.6 | Pengaruh Kondisi dan Jarak terhadap rata-rata <i>delay</i> | 41 |
| Gambar 4.7 | Pengaruh Kondisi dan Jarak terhadap <i>packet loss</i> | 42 |
| Gambar 4.8 | Rata-rata <i>delay</i> pada jumlah <i>node</i> yang berbeda..... | 43 |
| Gambar 4.9 | Rata-rata <i>delay</i> pada jumlah <i>node</i> yang berbeda..... | 43 |

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang memiliki potensi untuk memenuhi kebutuhan energi masyarakat salah satunya untuk membangkitkan energi listrik. Pengkajian dan pengembangan teknologi pemanfaatan energi angin sangat diperlukan agar penerapannya dapat disesuaikan serta mendukung kemandirian teknologi dalam negeri. Oleh karena itu, melihat peluang besar yang diberikan oleh kondisi alam Indonesia, maka sangat penting bagi generasi muda Indonesia khususnya pelajar dan mahasiswa untuk mengembangkan dan meningkatkan terus pemahaman akan pemanfaatan angin sebagai salah satu alat konversi energi. Untuk mewujudkan hal tersebut maka energi angin dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif terbarukan pengganti energi fosil yang selama ini menjadi sumber energi utama di Indonesia. Alat yang dapat digunakan untuk mengkonversi energi angin adalah turbin angin, di mana energi angin yang merupakan energi kinetik diubah menjadi energi mekanik (putaran) yang kemudian dapat dimanfaatkan sesuai dengan kebutuhan yaitu energi listrik.

Pembangkit listrik tenaga angin memiliki beberapa kendala, salah satunya yaitu terjadinya *overspeed* dimana kincir angin yang terpasang pada pembangkit berputar terlalu cepat ketika angin bertiup terlalu kencang, hal ini akan merusak berbagai komponen termasuk komponen kincir angin itu sendiri. Berdasarkan latar belakang tersebut, dibutuhkan suatu sistem untuk menghindari terjadinya *overspeed* salah satunya dengan membangun sistem kontrol kincir angin otomatis.

Sistem kontrol ini digunakan untuk memutus dan menghubungkan beban pada kincir angin untuk mengurangi kecepatan putaran rotor ketika angin bertiup melebihi kecepatan yang telah ditentukan. Tanpa sistem perlindungan, rotor dapat berputar hingga melebihi batas kemampuan bilah yang dapat menyebabkan generator dan komponen rotor lainnya mengalami kegagalan. Sistem kontrol ini juga perlu dilengkapi perangkat komunikasi sehingga besar daya yang dihasilkan

oleh kincir angin serta sistem proteksi dapat dipantau dari kejauhan untuk memastikan sistem bekerja dengan baik dan tidak mengalami kegagalan.

Salah satu teknologi yang dapat digunakan sebagai media komunikasi untuk sistem monitoring dan kontrol adalah teknologi *LoRa (Long Range) wireless*. *LoRa* adalah suatu protokol dan standar komunikasi dengan *data rate* yang rendah namun jarak transmisi yang sangat jauh. Selain karena biaya pemasangan dan penggunaan yang rendah, jarak yang sangat jauh hingga melebihi jarak 10 KM ini sangat cocok untuk diaplikasikan pada sistem monitoring kincir angin. Dengan menggunakan teknologi *LoRa* ini, penulis melakukan suatu penelitian yang berjudul “*Analisa Sistem Monitoring Turbin Angin Otomatis Berbasis Long-Range (LoRa) Wireless*”. Penelitian ini bertujuan menguji sistem monitoring pada kincir angin otomatis seperti memantau tegangan, arus serta kecepatan dari kincir angin serta memantau sistem proteksi *overspeed* dari kincir angin dari jarak jauh. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu tinjauan dan pertimbangan didalam membangun sistem kincir angin otomatis pada skala yang lebih besar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, dapat dirumuskan beberapa rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana membangun sistem monitoring kincir angin otomatis menggunakan transmisi *LoRa (Long-Range)*?
2. Bagaimana pengaruh kondisi *LOS* dan *NLOS* dan jarak terhadap kinerja pengiriman data?
3. Bagaimana pengaruh jumlah *node sensor* yang digunakan terhadap kinerja pengiriman data?

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang diangkat dalam skripsi adalah sebagai berikut:

1. Sistem *LoRa Wireless* yang diuji bekerja pada frekuensi 433 Mhz.
2. Penelitian menguji pengaruh kondisi *LOS (Line of Sight)* dan *NLOS (Non-Line of Sight)*, Jarak antar *server* dan *node sensor*, serta pengaruh jumlah *node sensor* terhadap kualitas pengiriman data.
3. Parameter yang diuji yaitu *delay* dan *packet loss*.
4. Tidak menganalisa fungsi dan nilai output sensor.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui sistem kerja transmisi *LoRa (Long-Range) Wireless* pada sistem *monitoring* kincir angin.
2. Mengetahui pengaruh jarak, kondisi *LOS* dan *NLOS*, dan jumlah *node* terhadap kinerja komunikasi *LoRa*.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bermanfaat sebagai:

1. Peneliti mampu memahami cara kerja serta mengaplikasikan sistem transmisi *LoRa (Long-Range) Wireless* pada sistem *monitoring* kincir angin.
2. Mampu memahami karakteristik, kelebihan dan kekurangan dari sistem transmisi *LoRa*.

1.6 Sistematika Penelitian

Secara garis besar penyusunan proposal skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, Batasan masalah, tujuan pembahasan, manfaat pembahasan dan sistematika pembahasan.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang tinjauan pustaka yang menguraikan pendapat-pendapat atau hasil hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan, landasan teori merupakan penjabaran dari tinjauan pustaka.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Menjelaskan tentang metode kajian yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

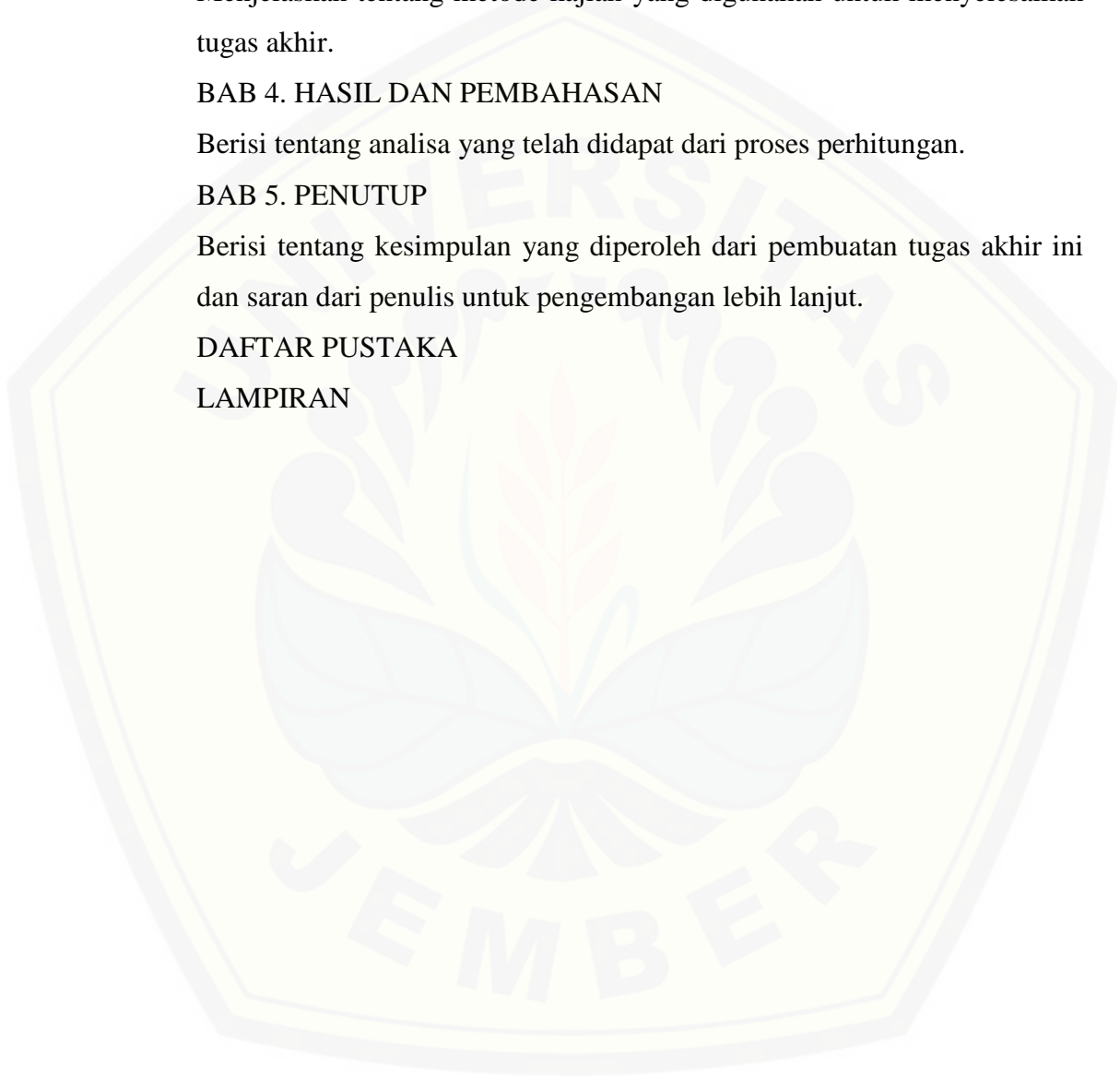
Berisi tentang analisa yang telah didapat dari proses perhitungan.

BAB 5. PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan yang diperoleh dari pembuatan tugas akhir ini dan saran dari penulis untuk pengembangan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

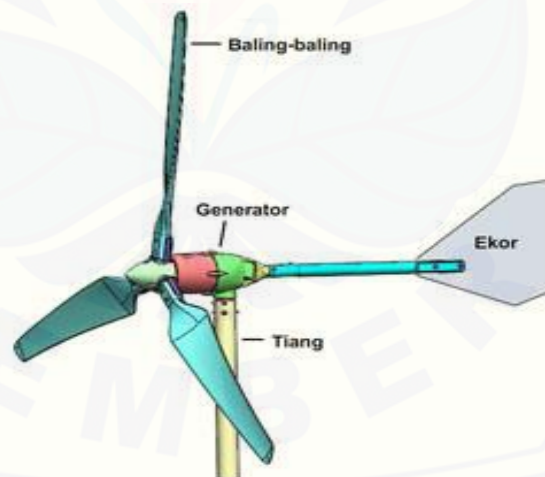
LAMPIRAN



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dll. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan *Windmill*. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Contoh: PLTD, PLTU, dll), namun turbin masih lebih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak dapat diperbaharui (Contoh: batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.



Gambar 2.1 Kincir Angin

(Sumber : <http://mbangkitlistrik.blogspot.com/2014/10>)

Dalam konteks produksi listrik, turbin angin ini juga dikenal sebagai generator angin. Sebuah turbin angin terdiri dari rotor, baling-baling yang melekat pada rotor, generator dan struktur menara. Rotor adalah elemen dari turbin angin

yang mengumpulkan energi dari angin. Baling-baling dari turbin angin melekat pada pusat rotor. Baling-baling ini diputar oleh aliran angin dengan menggunakan desain aerodinamis yang rumit. Tingkat putaran baling-baling tergantung pada kecepatan angin dan bentuk baling-balingnya. Agar menghasilkan listrik diperlukan generator, yang mengubah energi kinetik menjadi listrik.

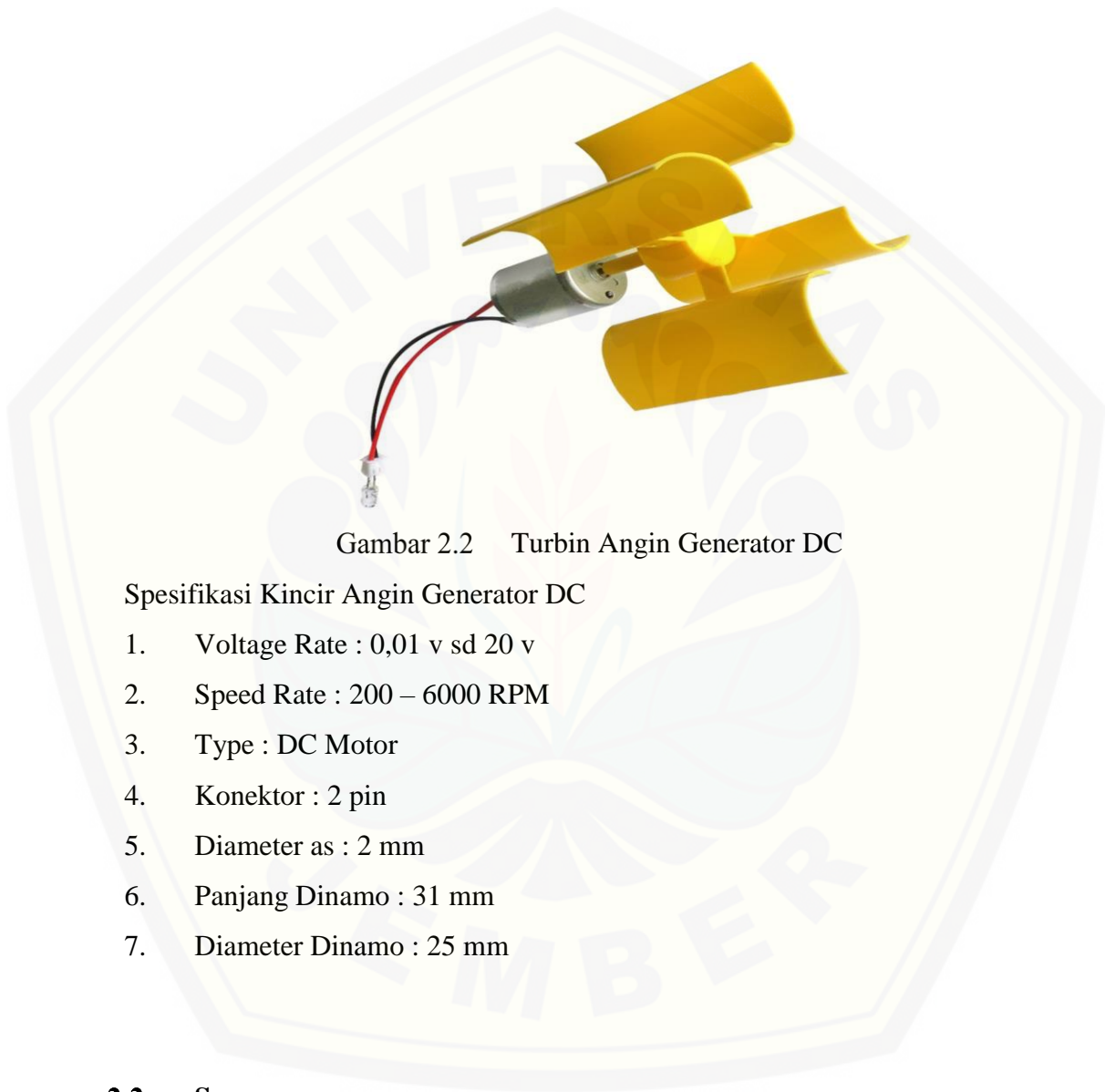
2.1.1 Klasifikasi Turbin Angin

Sistem pembangkit listrik tenaga angin ini merupakan pembangkit listrik yang menggunakan turbin angin (*wind turbine*) sebagai peralatan utamanya. Dalam skala *utility* memiliki berbagai ukuran, dari 100 *kilowatt* sampa dengan beberapa *megawatt*. Turbin besar dikelompokkan bersama-sama ke arah angin, yang memberikan kekuatan massal ke jaringan listrik. Turbin kecil tunggal, di bawah 100 *kilowatt* dan digunakan pada rumah, telekomunikasi, atau pemompaan air. Turbin kecil kadang-kadang digunakan dalam kaitannya dengan *generator diesel*, baterai dan sistem *photovoltaic*. Sistem ini disebut sistem angin *hybrid* dan sering digunakan di lokasi terpencil di mana tidak tersedia akses ke jaringan.

Adapun prinsip dasar kerja dari pemanfaatan energi angin ini adalah mengubah energi dari angin menjadi energi putar pada kincir angin, lalu kincir angin digunakan untuk memutar generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Sebenarnya prosesnya tidak semudah itu, karena terdapat berbagai macam sub-sistem (konstruksi/bagian-bagian utama) yang dapat meningkatkan safety dan efisiensi dari turbin angin itu sendiri.

2.1.2 Kincir Angin Generator DC

Kincir angin yang digunakan adalah jenis kincir angin generator dc dengan poros vertikal yang digunakan sebagai indikator data putaran generator kincir angin.



Gambar 2.2 Turbin Angin Generator DC

Spesifikasi Kincir Angin Generator DC

1. Voltage Rate : 0,01 v sd 20 v
2. Speed Rate : 200 – 6000 RPM
3. Type : DC Motor
4. Konektor : 2 pin
5. Diameter as : 2 mm
6. Panjang Dinamo : 31 mm
7. Diameter Dinamo : 25 mm

2.2 Sensor

Sensor adalah perangkat yang digunakan untuk mendeteksi perubahan besaran fisik seperti tekanan, gaya, besaran listrik, cahaya, gerakan, kelembaban, suhu, kecepatan dan fenomena-fenomena lingkungan lainnya. Setelah mengamati terjadinya perubahan, Input yang terdeteksi tersebut akan dikonversi mejadi Output yang dapat dimengerti oleh manusia baik melalui perangkat sensor itu sendiri

ataupun ditransmisikan secara elektronik melalui jaringan untuk ditampilkan atau diolah menjadi informasi yang bermanfaat bagi penggunanya.

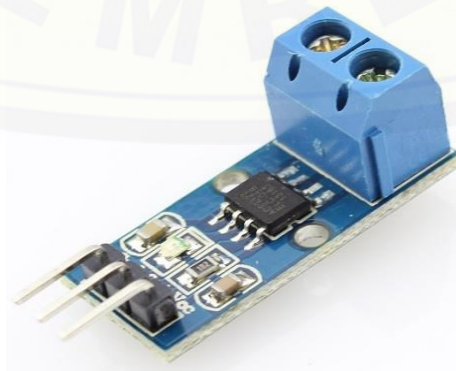
Sensor pada dasarnya dapat digolong sebagai Transduser Input karena dapat mengubah energi fisik seperti cahaya, tekanan, gerakan, suhu atau energi fisik lainnya menjadi sinyal listrik ataupun resistansi (yang kemudian dikonversikan lagi ke tegangan atau sinyal listrik).

2.2.1 Modul Sensor Arus ACS712

Sensor arus yang digunakan berupa modul sensor arus ACS712 yang memiliki kegunaan untuk mendeteksi besar arus yang mengalir lewat blok terminal.

Fitur dan Spesifikasi sensor arus ACS712 adalah sebagai berikut :

1. Rendah noise
2. Bandwidth Perangkat diatur melalui FILTER pin baru waktu naik
3. 5 mikrodetik keluaran dalam menanggapi arus masukan
4. Bandwith 80 kHz
5. Total output error 1,5% pada $T_A = 25^\circ \text{C}$
6. Tampak Kecil, low-profile paket SOIC8
7. 1,2 MW resistansi konduktor internal
8. Isolasi tegangan 2,1 kVRMS minimum dari pin 1-4 ke pin 5-8
9. 5.0 V, operasi catu daya tunggal
10. 66-185 mV / A sensitivitas keluaran

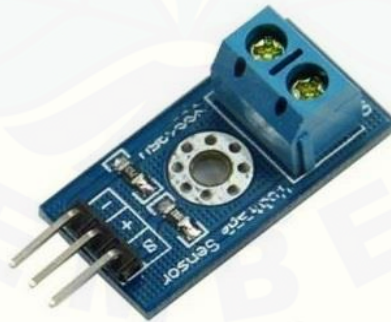


Gambar 2.3 Modul sensor arus ACS712

Modul Sensor Arus ACS712 seperti pada Gambar 2.3, dapat mendeteksi arus hingga 30A dan sinyal arus ini dapat dibaca melalui analog IO port Arduino, Produk tersedia dipasaran untuk modul ini adalah 30A, 20A, 5A. Untuk demonstrasi kali ini akan menggunakan ACS712 untuk arus 5A. Sensor arus ACS712 dapat mengukur arus positif dan negatif dengan kisaran -5A sampai 5A. Sensor ini memerlukan suplai daya sebesar 5V. Untuk membaca nilai tengah (nol Ampere) tegangan sensor diset pada 2.5V yaitu setengah kali tegangan sumber daya VCC = 5V. Pada polaritas negatif pembacaan arus -5A terjadi pada tegangan 0,5V. Tingkat perubahan tegangan berkorelasi linear terhadap besar arus sebesar 400 mV/Ampere.

2.2.2 Modul Sensor Tegangan

Prinsip kerja modul sensor tegangan yaitu didasarkan pada prinsip penekanan resistansi, dan dapat membuat tegangan input berkurang hingga 5 kali dari tegangan asli. Bentuk modul sensor tegangan seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.4 Modul sensor tegangan

(Sumber : <http://electricityofdream.blogspot.com/2016/09>)

Fitur-fitur dan kelebihan:

1. Variasi Tegangan masukan: DC 0 - 25 V

2. Deteksi tegangan dengan jangkauan: DC 0.02445 V - 25 V
3. Tegangan resolusi analog: 0,00489 V
4. Tegangan DC masukan antarmuka: terminal positif dengan VCC, negatif dengan GND.
5. Output Interface: "+" Koneksi 5 / 3.3V, "-" terhubung GND, "s" terhubung Arduino pin A0.
6. DC antarmuka masukan: red terminal positif dengan VCC, negatif dengan GND.

2.2.3 Modul *Relay*

Modul *Relay* adalah komponen elektronika yang berupa saklar atau *switch* elektrik yang dioperasikan menggunakan listrik. *Relay* juga biasa disebut sebagai komponen *electromechanical* yang terdiri dari dua bagian utama yaitu *coil* atau elektromagnet dan kontak saklar mekanis. Komponen *relay* menggunakan prinsip elektromagnetik sebagai penggerak kontak saklar, sehingga dengan menggunakan arus listrik yang kecil atau *low power*, dapat menghantarkan arus listrik yang memiliki tegangan lebih tinggi.

Modul *relay* ini dapat digunakan sebagai *switch* untuk menjalankan berbagai peralatan elektronik. Misalnya Lampu listrik, Motor listrik, dan berbagai peralatan elektronik lainnya. Kendali ON / OFF switch (*relay*), sepenuhnya ditentukan oleh nilai output sensor, yang setelah diproses Mikrokontroler akan menghasilkan perintah kepada *relay* untuk melakukan fungsi ON / OFF.



Gambar 2.5 Modul Relay

(Sumber : <http://nandasyaputra77.blogspot.com/2017/04>)

2.3 Arduino UNO

Arduino UNO adalah board mikrokontroler berbasis ATmega328. Memiliki 14 pin input dari output digital dimana 6 pin input tersebut dapat digunakan sebagai output PWM dan 6 pin input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP header, dan tombol *reset*. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, cukup hanya menghubungkan Board Arduino Uno ke komputer dengan menggunakan kabel USB atau listrik dengan AC yang-ke adaptor-DC atau baterai untuk menjalankannya.

Setiap 14 pin digital pada arduino uno dapat digunakan sebagai input dan output, menggunakan fungsi pin `Mode()`, `digitalwrite()`, dan `digitalRead()`. Fungsi fungsi tersebut beroperasi di tegangan 5 volt, Setiap pin dapat memberikan atau menerima suatu arus maksimum 40 mA dan mempunyai sebuah resistor pull-up (terputus secara default) 20-50 kOhm.



Gambar 2.6 Arduino UNO
(Sumber : [www. store.arduino.cc](http://www.store.arduino.cc))

2.4 Dragino LoRa Mini Dev

Dragino LoRa Mini Dev adalah papan prototyping yang yang dapat digunakan dengan mudah untuk menguji alat yang menggunakan teknologi LoRa®. Perangkat ini memiliki port USB yang memungkinkan pengguna untuk mempermudah mengkonfigurasi modul ini melalui Arduino IDE. Perangkat ini juga dilengkapi dengan slot pin untuk memudahkan dalam menghubungkan sensor.

Dragino LoRa Mini dev adalah papan pengembangan IoT kecil yang menawarkan perpaduan dari kemampuan transmisi jarak jauh, konsumsi daya yang rendah, dan transmisi data yang aman. Teknologi ini dirancang untuk memfasilitasi pemula dan peneliti untuk mempelajari teknologi LoRa dan IoT dengan cepat dan mudah sehingga mempercepat perkembangan dari teknologi IoT yaitu teknologi yang menghubungkan barang-barang elektronik ke Internet.

Modul LoRa Mini ini adalah papan yang kompatibel dengan Arduino karena komponennya yang terdiri dari mikrokontroler ATmega328P yang dilengkapi dengan teknologi LoRa®. LoRa Mini juga merupakan open source, pengguna dapat dengan mudah memprogramnya menggunakan Arduino IDE.



Gambar 2.7 Dragino LoRa Mini Dev
(sumber : <https://www.dragino.com/>)

Spesifikasi Modul LoRa Mini dev SX1276/SX1278

1. Frekuensi: 868 MHz / 433 MHz / 915 MHz
2. Moda LoRa™FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa™ dan modulasi OOK
3. Program dengan Arduino Bootloader
dan bisa memprogram melalui Arduino IDE

2.5 Komunikasi Data

Komunikasi data adalah proses pengiriman dan penerimaan data/informasi dari dua atau lebih device (alat, seperti komputer/laptop/printer/dan alat komunikasi lain) yang terhubung dalam sebuah jaringan melalui beberapa media. Media tersebut dapat berupa kabel koaksial, fiber optic (serat optic), microwave dan sebagainya. Baik lokal maupun yang luas, seperti internet. Komunikasi data merupakan gabungan dari beberapa teknik pengolahan data. Dimana telekomunikasi dapat diartikan segala kegiatan yang berhubungan dengan penyaluran informasi dari satu titik ke titik lain. Sedangkan pengolahan data adalah segala kegiatan yang berhubungan dengan pengolahan data menjadi informasi yang berguna bagi user.

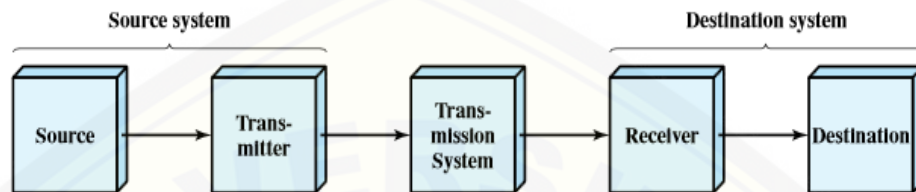
Dari keterangan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa data tersebut merupakan bahan yang akan diolah menjadi suatu bentuk yang lebih berguna dan lebih mempunyai arti. Sedangkan informasi adalah hasil pengolahan data atau hasil proses dari data tersebut.

Adapun tujuan dari komunikasi data adalah sebagai berikut :

- Memungkinkan pengiriman data dalam jumlah besar efisien, tanpa kesalahan dan ekomis dari suatu tempat ketempat yang lain.
- Memungkinkan penggunaan sistem komputer dan peralatan pendukung dari jarak jauh (remote computer use).
- Memungkinkan penggunaan komputer secara terpusat maupun secara tersebar sehingga mendukung manajemen dalam hal kontrol, baik desentralisasi ataupun sentralisasi.
- Mempermudah kemungkinan pengelolaan dan pengaturan data yang ada dalam berbagai macam sistem komputer.
- Mengurangi waktu untuk pengelolaan data.
- Mendapatkan data langsung dari sumbernya.
- Mempercepat penyebaran informasi.

Komunikasi data pada prinsipnya adalah proses komunikasi yaitu proses pertukaran informasi. Arti pertukaran informasi yang dimaksud adalah terjadinya transfer informasi dari pengirim ke penerima sehingga informasi dapat

dimengerti oleh tujuan proses komunikasi. Dalam proses komunikasi data terdapat beberapa elemen yang saling berkaitan yaitu adanya *source* (sumber data), transmitter, sistem transmisi, *receiver* dan destination (tujuan). (Secara umum, elemen komunikasi dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.8 Blok diagram komunikasi data

Sumber : (Stallings, 2007)

2.5.1 Transmisi Data

Transmisi data merupakan proses untuk melakukan pengiriman data dari salah satu sumber data ke penerima data menggunakan komputer atau media elektronik. Sebelum menggunakan transmisi data (pengiriman data), maka salah satu faktor yang penting untuk diperhatikan adalah Konfigurasi Jalur Transmisi Data. Konfigurasi jalur komunikasi adalah cara menghubungkan perangkat perangkat yang akan melakukan komunikasi, dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Konfigurasi titik-ke-titik (point-to-point) dan konfigurasi multi-titik (multipoint). Titik-ke-titik (point-to-point) menghubungkan secara khusus dua piranti yang hendak berkomunikasi. Konfigurasi ini banyak ditemukan pada transmisi paralel, misalnya komunikasi antara dua komputer secara paralel untuk melakukan penyalinan file-file data, walaupun transmisi serial dimungkinkan pula apabila jarak antara dua piranti jauh.
2. Multi-titik (multipoint) menyatakan hubungan yang memungkinkan sebuah jalur digunakan oleh banyak piranti yang berkomunikasi. Sebagai contoh adalah konfigurasi pada jaringan bertopologi bus, dimana satu saluran data (backbone) terhubung ke beberapa komputer.

2.5.2 Jalur Transmisi Data

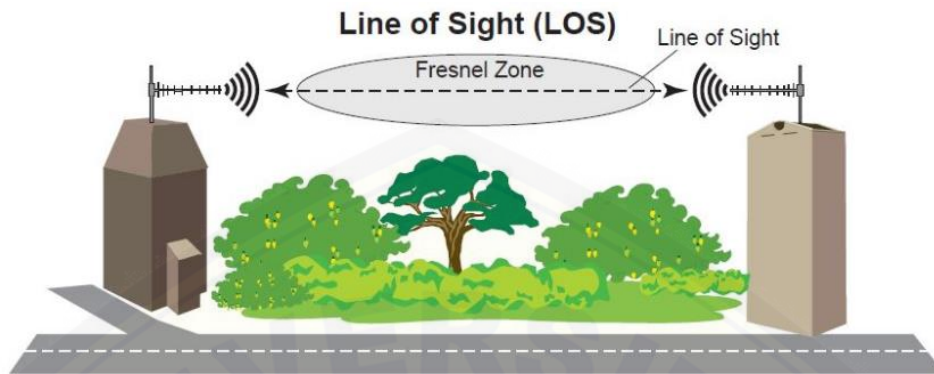
Jalur transmisi adalah bagaimana suatu alat dapat mengirimkan informasi dengan peralatan lainnya. Jalur transmisi ini terbagi atas tiga, yaitu: Unicast, Multicast, dan Broadcast.

1. Unicast Adalah kontak informasi yang terjadi antar suatu alat dengan satu alat lainnya. Sebagai analogi, contohnya adalah penggunaan telepon. Ketika satu telepon menghubungi telepon lainnya, maka yang dapat berkomunikasi adalah dua telepon tersebut.
2. Multicast Adalah proses komunikasi yang terjadi antar satu alat dengan alat lainnya. Dimana masing-masing alat yang terhubung dapat berkomunikasi dengan alat yang menghubunginya. Contohnya adalah server yang ada pada internet. Dimana server tersebut melayani beberapa komputer yang menghubunginya, dan komputer yang dihubungi dapat memberikan respon balik kepada server itu tadi.
3. Broadcast Adalah proses pengiriman informasi dari satu alat ke alat-alat lainnya. Alat yang menerima informasi tidak dapat (atau tidak perlu) memberikan respon balik terhadap sang pengirim tentang informasi yang diterimanya. Contohnya adalah stasiun pemancar televisi atau pengiriman email melalui mailing list.

2.6 LOS (*Line of Sight*)

Line of sight adalah suatu teknik pentransmisiian sinyal dimana antara dua terminal yang saling berhubungan benar-benar tidak ada *obstacle* yang menghalanginya (bebas pandang) sehingga sinyal dari pengirim dapat langsung mengarah dan diterima di sisi penerima. Sistem LOS biasanya digunakan pada sistem transmisi gelombang mikro, yaitu sistem radio yang mentransmisikan informasi dalam kapasitas kanal yang cukup besar. Sebelum dikirimkan sinyal biasanya diubah dulu ke frekuensi tinggi melalui proses modulasi. Dalam proses pentransmisiian sinyal, faktor-faktor yang mempengaruhi propagasi sinyal dalam sistem LOS ini adalah : redaman, refleksi, refraksi atmosfer, fading, dan difraksi sepanjang permukaan bumi. Sistem modulasi pada sistem radio gelombang mikro

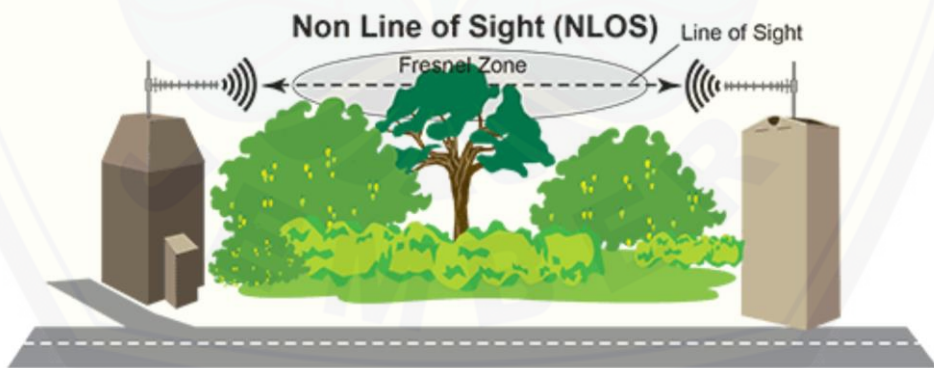
ini dilakukan dengan cara mengubah sinyal informasi menjadi bentuk sinyal RF dengan memperhatikan parameter BER (bit error rate).



Gambar 2.9 Transmisi Line of Sight
(sumber : Cecchetti, G., et al, 2016.)

2.7 NLOS (Non Line of Sight)

Non-line-of-sight adalah transmisi radio di jalur yang sebagian terhalang, biasanya oleh objek fisik di zona *Fresnel* terdalam. Banyak jenis transmisi radio bergantung, pada berbagai tingkat, pada garis pandang antara pemancar dan penerima.



Gambar 2.10 Non Line of Sight
(sumber : <http://www.l-com.com/>)

2.8 Quality of Service (QoS)

QoS (*Quality of Service*) merupakan kualitas pelayanan yang mengacu pada kemampuan jaringan untuk memberikan layanan yang lebih baik dalam lalu lintas jaringan yang dipilih dari berbagai protokol dan teknologi yang beroperasi. Tujuan akhir dari QoS adalah memberikan pelayanan jaringan yang lebih baik dan terencana dengan *dedicated bandwidth*, *jitter* dan *latency* yang terkendali dan meningkatkan *loss characteristic* pada sistem jaringan komputer. Pengukuran QoS merupakan dasar dalam membangun dan memperbaiki suatu kualitas jaringan komunikasi.

QoS (*Quality of Service*) adalah kemampuan suatu jaringan untuk menyediakan layanan yang baik dengan menyediakan bandwidth, mengatasi jitter dan delay. Parameter QoS adalah latency, jitter, packet loss, dan throughput. Terdapat beberapa alasan mengapa perlu adanya pengimplementasian QoS yaitu untuk memberikan prioritas terhadap aplikasi-aplikasi yang kritis pada jaringan dan juga untuk merespon terhadap adanya perubahan-perubahan pada aliran *traffic* pada jaringan.

2.8.1 Packet Loss

Packet loss adalah banyaknya paket yang hilang selama proses transmisi ke tujuan. Paket hilang terjadi ketika satu atau lebih paket data yang melewati suatu jaringan gagal mencapai tujuannya.

$$\text{Packet Loss} = \left(\frac{P_d}{P_s} \right) \times 100\% \quad (2.1)$$

Dimana :

P_d = Paket yang mengalami *drop*

P_s = Paket yang dikirim

2.8.2 Delay

Delay adalah waktu yang dibutuhkan oleh sebuah paket data terhitung dari saat pengiriman oleh transmitter sampai saat diterima oleh receiver.

$$Delay = (T_r - T_s) \quad (2.2)$$

Dimana :

T_r = Waktu penerimaan paket

T_s = Waktu pengiriman paket

2.9 LoRa (Long-Range)

LoRa (Long Range) adalah suatu format modulasi yang dibuat oleh Semtech modulasi yang dihasilkan menggunakan modulasi FM. Inti pada pemrosesan menghasilkan nilai frekuensi yang stabil. metode transmisi juga bisa menggunakan PSK (Phase Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) dan lainnya. Nilai frekuensi pada LoRa bermacam-macam sesuai daerahnya, jika di Asia frekuensi yang digunakan yaitu 433 MHZ, di Eropa nilai frekuensi yang digunakan yaitu 868 MHZ, sedangkan di Amerika Utara frekuensi yang digunakan yaitu 915 MHZ.

2.9.1 Fitur-fitur LoRa

Fitur-fitur yang tersedia di LoRa adalah

1. Geolocation, fungsi ini memungkinkan kita dapat mendeteksi lokasi keberadaan suatu benda tanpa biaya alias gratis.
2. Biaya Rendah, dapat mengurangi biaya dengan 3 cara : mengurangi biaya infrastruktur, biaya operasional dan sensor-sensor yang mempunyai jaringannya sendiri.
3. Terstandar, dibuat agar dapat berinteraksi dan berfungsi dengan produk atau sistem lain, sehingga dapat cepat beradaptasi dengan jaringan dan aplikasi IoT.
4. Daya Rendah, dengan konsumsi daya yang dibutuhkan hanya berkisar dari 13Ma hingga 15Ma. Sehingga baterai dapat bertahan dari 10 hingga 20 tahun.
5. Jarak Jauh, satu unit LoRa dapat memancarkan hingga 100KM.
6. Aman, Tertanam end-to-end enkripsi AES128.

7. Kapasitas Tinggi, Mendukung jutaan pesan per base station, ideal untuk operator jaringan publik yang melayani banyak pelanggan.

2.9.2 Modul LoRa

Modul Lora SX1278 ini adalah salah satu modul LoRa yang cukup simple yang bisa digunakan untuk mengaplikasikan platform LoRa, dan sudah dilengkapi dengan antenna external dan adapter USB. Menggunakan chip SX1278 dengan frekuensi transmit 433 Mhz.



Gambar 2.11 *LoRa Shield* dengan modul *SX1278*

Spesifikasi *LoRa Module SX1278*

- 168 dB maximum linkbudget.
- +20 dBm - 100 mW constant RF outputvs.
- +14 dBm high efficiencyPA.
- Programmable bit rate up to 300 kbps.
- High sensitivity: down to -148dBm.
- Bullet-proof front end: IIP3 = -12.5dBm.
- Excellent blockingimmunity.
- Low RX current of 10.3 mA, 200 nA registerretention.
- Fully integrated synthesizer with a resolution of 61Hz.
- FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM and OOKmodulation.
- Built-in bit synchronizer for clockrecovery.

- Preamble detection.
- 127 dB Dynamic Range RSSI.
- Automatic RF Sense and CAD with ultra-fast AFC.
- Packet engine up to 256 bytes with CRC.
- Built-in temperature sensor and low battery indicator.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini dijelaskan beberapa hal pokok yaitu objek penelitian, tahap penelitian, tempat dan waktu penelitian, alat dan bahan yang digunakan serta mekanisme perancangan sistem yang meliputi desain mekanik dan desain monitoring turbin angin. Pada desain mekanik deskripsi desain dilengkapi dengan sketsa gambar manual. Pada subbab desain sistem monitoring dijelaskan tahap-tahap mulai merancang dan memodifikasi sistem *monitoring* agar dapat hasil yang diinginkan.

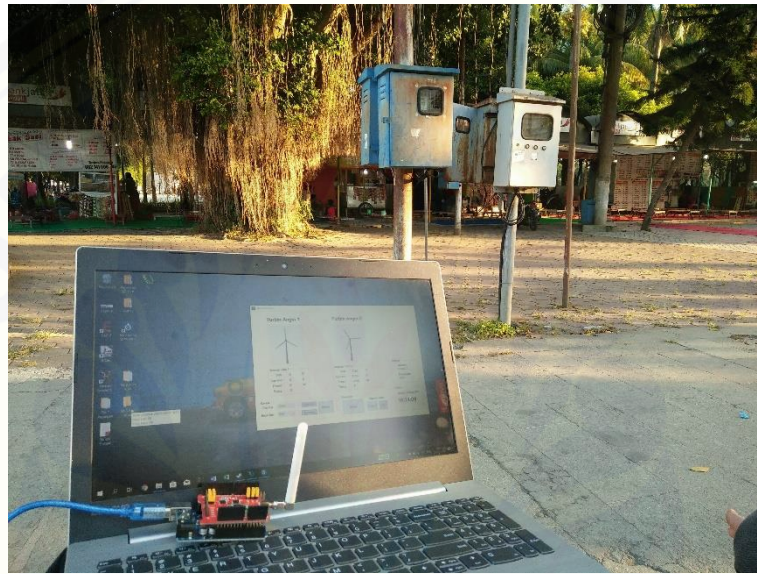
3.1 Tempat Penelitian

Pelaksanaan pengujian sistem monitoring turbin angin otomatis pada kondisi *Line-of-sight (LOS)* dilakukan di pantai Payangan, Ambulu, Kabupaten Jember. Pengujian dilakukan pada jarak 300 meter sampai dengan jarak maksimum dimana *server* tidak mampu menerima data dari *node sensor*.



Gambar 3.1 Lokasi pengujian pada kondisi *LOS*

Pengujian pada kondisi *Non-Line-of-Sight* dilakukan di Alun-alun kota, Kabupaten Jember. Pengujian dilakukan pada jarak 50 meter sampai dengan jarak maksimum dari alat. Di lokasi ini juga dilakukan pengujian pengaruh jumlah *node sensor* terhadap kinerja komunikasi dari alat, dimana pada pengujian pengaruh jumlah node, kedua *node sensor* diletakkan hanya pada jarak 5 meter untuk menghindari pengaruh jarak pada hasil pengujian.



Gambar 3.2 Lokasi Pengujian pada kondisi *NLOS*

3.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini menggunakan alat dan bahan baik berupa *software* maupun *hardware* untuk dapat bekerja. Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

3.2.1 *Hardware*

1. Modul Sensor Arus ACS 712
2. Modul Sensor Tegangan
3. Modul Relay
4. Arduino Uno
5. Modul LoRa (Longe Range) wireless
6. Baterai 5V

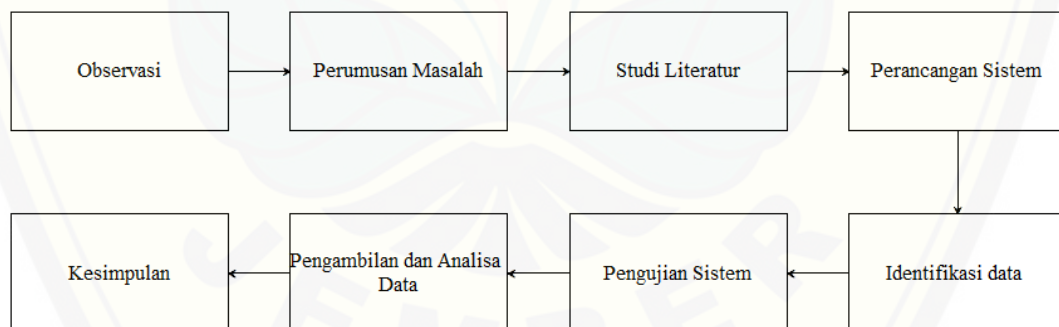
7. PC / Laptop
8. Kabel USB
9. Motor DC
10. Kincir Angin

3.2.2 Software

1. Visual Studio 2019
2. Android GPS ruler
3. Microsoft Excel

3.3 Tahap penelitian

Tahap penelitian “Analisa Sistem Monitoring Turbin Angin Otomatis Berbasis *Long-Range (LoRa) Wireless*” dimulai dengan proses observasi yang dilanjutkan dengan perumusan masalah, studi literatur, identifikasi data, pengujian sistem, pengambilan dan analisa data kemudian ditarik kesimpulan. Secara sederhana tahapan penelitian yang akan dilakukan dapat digambarkan seperti pada Gambar 3.3



Gambar 3.3 Blok Diagram Tahap Penelitian

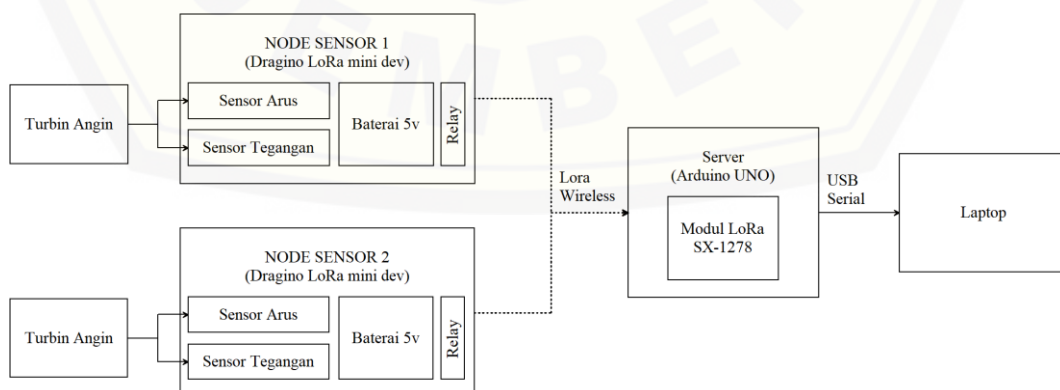
Proses penelitian dimulai dengan observasi untuk mengetahui serta menentukan tema yang akan diangkat dalam penelitian. Pada penelitian ini penulis memilih mengangkat tema sistem monitoring turbin angin dengan Transmisi LoRa (*Long-Range Wireless*). Kemudian tahap selanjutnya yaitu menyusun rumusan masalah yang berdasarkan tema yang diambil, dimana rumusan masalah

berdasarkan tema yang diambil yaitu bagaimana cara membangun sistem *monitoring* kincir angin otomatis dan bagaimana kinerja sistem monitoring Turbin Angin yang diaplikasikan menggunakan teknologi *LoRa Wireless*. Selanjutnya, dilakukan studi literatur pada teknologi yang akan digunakan pada sistem yang akan dibangun.

Setelah melakukan studi literatur, dilakukan perancangan sistem menggunakan komponen-komponen yang telah ditentukan. Kemudian alat diuji serta dilakukan identifikasi data yang akan dianalisa. Pada penelitian ini, parameter yang dianalisa adalah besar dari *delay* dan *packet loss*. Setelah sistem diuji, dilakukan pengambilan data pada beberapa scenario percobaan. Setelah seluruh rangkaian pengujian dilakukan, data yang diperoleh kemudian dianalisa untuk selanjutnya dilakukan pengambilan kesimpulan.

3.4 Perancangan Alat

Salah satu tahap penelitian “Analisa Sistem Monitoring Turbin Angin Otomatis Menggunakan Transmisi LoRa (*Long-Range*) *Wireless*” adalah perancangan sistem. Perancangan sistem dilakukan dengan menentukan alat dan bahan, cara kerja alat, dan rangkaian dari komponen yang digunakan. Alat dan bahan ditentukan dan dibangun berdasarkan hasil studi literatur yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Blok diagram sistem yang akan dibangun dapat dilihat pada Gambar 3.4

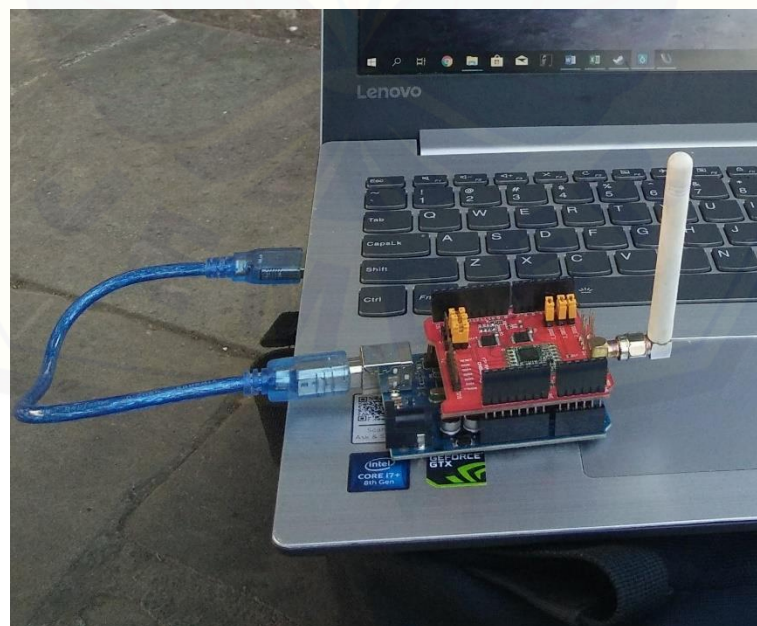


Gambar 3.4 Blok Diagram Alat



Gambar 3.6 Hasil Perancangan *node sensor* dan turbin angin

Perangkat yang selanjutnya adalah perangkat *server* atau penerima data sensor yang terdiri dari board *Arduino UNO*, yang dilengkapi dengan modul *LoRa SX-1278* yang berfungsi untuk menerima data dari *node sensor* melalui transmisi *LoRa Wireless*. Perangkat *server* ini terhubung langsung dengan laptop menggunakan *interface USB serial* dimana data yang diterima oleh *server* akan disimpan di laptop untuk dianalisa pada tahap selanjutnya.

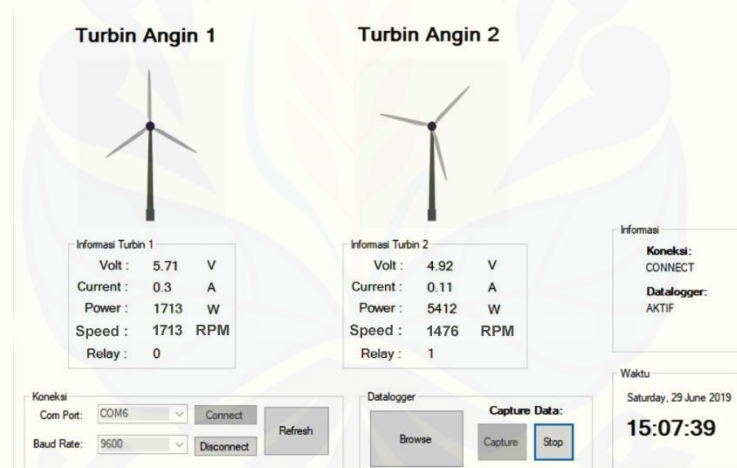


Gambar 3.7 Hasil Perancangan *node coordinator*

3.5 Perancangan Program

Perancangan *program* pada *node sensor* dilakukan dengan menggunakan *Arduino IDE*. *Node sensor* deprogram untuk membaca data arus dan tegangan, serta mengontrol *relay* yang terhubung ketika tegangan input melebihi nilai *setpoint* yang telah diatur sebelumnya. Selain membaca dan mengontrol *relay*, *node sensor* juga deprogram untuk mengirimkan kondisi *relay*, tegangan dan arus yang terbaca oleh sensor ke *server* menggunakan *modul LoRa* yang telah terintegrasi di dalamnya.

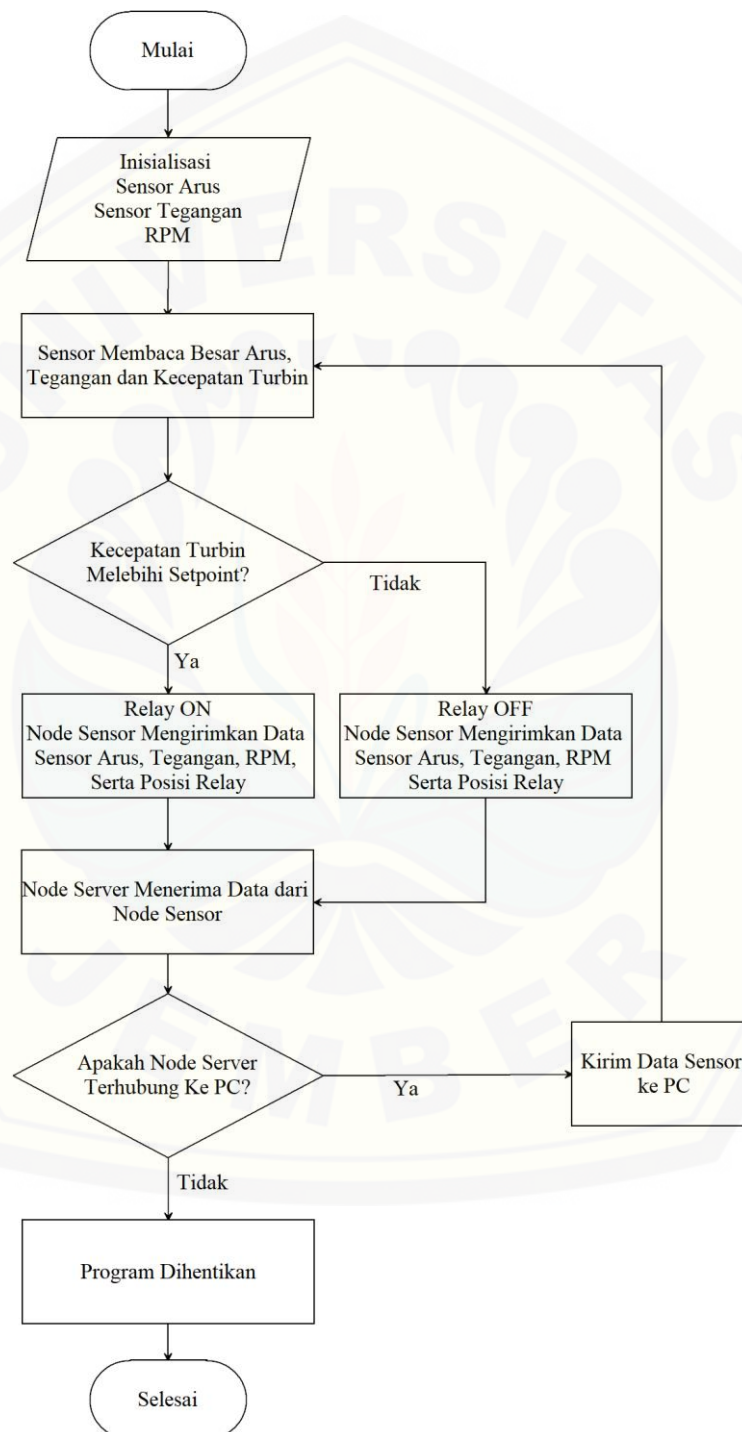
Pemrograman sistem monitoring pada PC dilakukan dengan menggunakan *Visual Studio 2019*. Pemrograman dilakukan untuk menampilkan data yang diterima oleh *server* yang terhubung melalui *port USB*. Pada program *monitoring*, *user* dapat memantau besar arus dan tegangan serta kondisi *relay* yang ada pada *node sensor*.



Gambar 3.8 Tampilan program *monitoring* pada PC

3.6 Flowchart Sistem

Didalam prosesnya, sistem *monitoring* turbin angin otomatis bekerja berdasarkan *flowchart* berikut:



Gambar 3.9 Flowchart Sistem

Berdasarkan sistem kerja perangkat *monitoring* turbin angin yang ditunjukkan pada *flowchart* di Gambar 3.9, sistem monitoring bekerja dimulai dengan proses inisialisasi sensor arus, tegangan, RPM dan relay. Setelah proses inisialisasi, *node sensor* melakukan proses pembacaan nilai arus, tegangan dan RPM. Ketika nilai RPM yang terbaca oleh sensor melebihi nilai *setpoint* yang telah ditentukan, maka sistem akan mengaktifkan *relay* atau menonaktifkan *relay* apabila nilai RPM yang terbaca oleh sensor lebih rendah dari nilai *setpoint* yang telah ditentukan. Kemudian, proses dilanjutkan dengan mengirimkan nilai pembacaan sensor serta posisi *relay* ke *node server* melalui modul *LoRa Wireless*. Apabila *server* menerima data ketika dan terhubung dengan PC, data sensor akan ditampilkan ke PC kemudian proses akan berulang secara terus menerus sampai program monitoring dihentikan.

3.7 Rencana Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan beberapa skenario diantaranya menguji pengaruh kondisi *LOS (Line-of-Sight)* dan kondisi *NLOS (Non-Line-of-Sight)* terhadap jarak maksimum, besar *delay* dan *packet loss*, dan menguji pengaruh jumlah *node sensor* yang digunakan terhadap besar *delay* dan *packet loss*. Nilai dari *sensor* dan kondisi *relay* juga akan diuji untuk memastikan sistem proteksi *overspeed* pada turbin angin dapat bekerja dengan baik.

3.7.1 Pengujian Sistem Turbin Angin Otomatis

Pengujian ini dilakukan untuk menguji apakah sistem proteksi dari kincir angin dapat berjalan dengan baik. Pengujian dilakukan dengan mengamati nilai dari arus dan tegangan yang terlihat pada sisi server dan posisi dari *relay* apakah sesuai dimana akan menyala pada saat tegangan yang terbaca oleh sensor melebihi nilai *setpoint* yang telah ditentukan. Output yang dihasilkan oleh pengujian ini adalah besar dari tegangan, arus, daya serta posisi dari *relay*.

3.7.2 Pengujian Transmisi pada Pada kondisi *LOS* (*Line-of-Sight*)

Pengujian pada kondisi *LOS* dilakukan untuk menguji jarak maksimum dari transmisi *LoRa* serta mengetahui besarnya *delay* dan *packet loss* yang terjadi pada tiap tiap jarak pengujian. Pengujian pada kondisi *LOS* dimulai pada jarak 300 m dan ditingkatkan sampai dengan batas jarak maksimum dimana *server* tidak dapat menerima data dari *node sensor* pada jarak tersebut. Rencana hasil pengujian pada kondisi *LOS* dapat dilihat seperti pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Rencana Pengujian pada Kondisi *LOS*

| Jarak | 300 m | 500 m | 700 m | 900 m | 1100 m | 1300 m |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Delay rata-rata (ms) | | | | | | |
| Packet Loss (%) | | | | | | |

3.7.3 Pengujian Transmisi Data pada kondisi *NLOS* (*Non-Line-of-Sight*)

Pengujian pada kondisi *NLOS* dilakukan dengan skenario yang sama dengan pengujian pada kondisi *LOS*. Tetapi, pada kondisi *NLOS* pengujian dilakukan pada lokasi dimana *server* dan *node sensor* terhalang oleh objek. Pengujian ini dilakukan untuk menguji pengaruh penghalang terhadap transmisi dari komunikasi *LoRa*. Pada pengujian di kondisi *LOS*, peningkatan jarak yang dilakukan pada tiap percobaan dilakukan dengan jarak yang lebih pendek karena pada umumnya, pada kondisi *NLOS* jarak transmisi dari komunikasi *wireless* termasuk *LoRa* mengalami penurunan kinerja secara signifikan. Hasil pengujian pada kondisi *NLOS* akan dicatat seperti pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Rencana pengujian pada kondisi *NLOS*

| Jarak | 50 m | 100 m | 150 m | 200 m | 250 m | 300 m |
|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Rata Rata Delay (ms) | | | | | | |
| Packet Loss (%) | | | | | | |

3.7.4 Pengujian Transmisi Data Berdasarkan Jumlah *Node Sensor* yang Digunakan.

Pada umumnya sistem monitoring dan kontrol menggunakan banyak *node sensor* yang terhubung pada sebuah *server* agar dapat bekerja secara efisien. Untuk memastikan bahwa alat dapat bekerja dengan baik pada kondisi ini, dilakukan pengujian dengan menggunakan 2 buah *node sensor*. Kedua *node sensor* dihubungkan dengan sebuah *server* dengan jarak berdekatan sehingga perubahan kualitas pengiriman data tidak dipengaruhi oleh jarak dan hanya dipengaruhi oleh jumlah *node sensor* yang terhubung. Hasil pengujian pengaruh jumlah *node sensor* dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Rencana Pengujian Pengaruh Jumlah *Node*

| Parameter | Jumlah <i>Node</i> | Percobaan ke - | | | | |
|---------------|-----------------------|----------------|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <i>Delay</i> | 1 | | | | | |
| Rata-Rata | 2 | | | | | |
| <i>Packet</i> | 1 | | | | | |
| <i>Loss</i> | 2 | | | | | |

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian mengenai Analisa sistem monitoring turbin angin otomatis berbasis *Long-Range (LoRa) Wireless* yang telah dilakukan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem monitoring turbin angin dapat diaplikasikan menggunakan transmisi LoRa wireless dengan jarak jangkauan mencapai 250 meter pada kondisi NLOS dan mencapai 1800 meter pada kondisi LOS.
2. Kondisi LOS dan NLOS mempengaruhi kinerja pengiriman data baik pada delay maupun packet loss, dimana pada kondisi NLOS, delay dan packet loss pada jarak 250 meter sebesar 42.78 ms dan 32% lebih besar dibandingkan pada jarak 300 meter di kondisi LOS yang hanya sebesar 27.81 ms dan packet loss sebesar 1%.
3. Jumlah *node sensor* mempengaruhi delay dan tidak selalu mempengaruhi packet loss dimana dari lima percobaan, delay pada saat menggunakan dua sensor selalu lebih besar dibandingkan ketika menggunakan satu sensor sedangkan peningkatan packet loss ketika dua node digunakan terjadi sebanyak dua percobaan dari lima percobaan yang dilakukan.

5.2 Saran

Dari hasil pengujian pada sistem monitoring turbin angin yang dilakukan, peneliti memiliki beberapa saran agar penelitian ini dapat dikembangkan

1. Perlu diteliti metode untuk menghubungkan lebih dari satu *node sensor* tanpa menurunkan kinerja dari transmisi data
2. Perlu diuji faktor-faktor lain yang mempengaruhi kinerja dari transmisi *LoRa* seperti pengaruh cuaca, suhu dan kelembaban atau arah dari antena.

DAFTAR PUSTAKA

Vangelista, Lorenzo, Andrea Zanella, and Michele Zorzi. "Long-range IoT technologies: The dawn of LoRa™." *Future Access Enablers of Ubiquitous and Intelligent Infrastructures*. Springer, Cham, 2015.

Fajri Digital. (2016, Oktober 08) Pengertian Transmisi Data dan Media Transmisi. Dipetik Nopember 04, 2019, dari Berbagai Ilmu, Tips dan Trik, Berbagai Pengetahuan di Bidang Sains dan Teknologi.

Muchlisin Riadi (2019, Mei 26) Pengertian, Layanan dan Parameter Quality of Service (QoS). Dipetik Nopember 04, 2019, dari Kajian Pustaka: <https://kajianpustaka.com/2019/05/pengertian-layanan-dan-parameter-quality-of-service-qos.html>

Nanda Rifki Alif. 2019. Skripsi: “ Rancang Bangun Sistem Monitoring Cuaca Menggunakan Standart Komunikasi *LoRa (long Range) Wireless*” Universitas Jember.

Mashar Ali and Ichsan Ramadhan. "Kontrol Kecepatan Turbin Angin Dengan Daya Sendiri." *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*. Vol. 2. 2011.

Rizky, Tiberian, Petrus. 2019 “ Pemberi Pakan Hewan Peliharaan dengan Kendali Jarak Jauh LoRa.” Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Aroeboesman N. Fathia, H. Ichsan2 Hannats Mochammad, Primananda Rakhmadhany: “Analisis Kinerja LoRa SX1278 Menggunakan Topologi Star Berdasarkan Jarak dan Besar Data Pada WSN.” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*. Vol.3.2019.

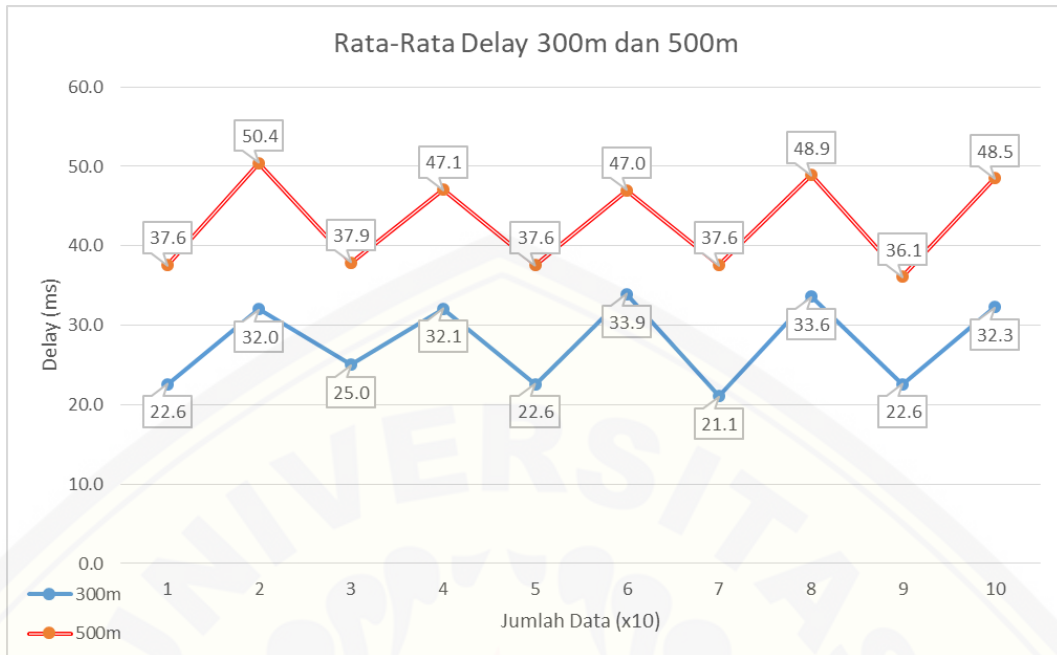
LAMPIRAN

Rata Rata Delay Pada kondisi Line of Sight

1. Rata Rata delay pada jarak 300 meter dan 500 meter Line of Sight

| Jarak 300 Meter (10 Data) | | | | | | |
|---------------------------|---------------|----------|------|------|------|-------|
| No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | RPM | Delay |
| 1 | 1561283080511 | 7.59 | 0.7 | 5313 | 2277 | 0 |
| 2 | 1561283081511 | 7.59 | 0.6 | 4554 | 2277 | 1 |
| 3 | 1561283082512 | 7.59 | 0.6 | 4554 | 2277 | 110 |
| 4 | 1561283083622 | 7.59 | 0.7 | 5313 | 2277 | 1 |
| 5 | 1561283084623 | 7.60 | 0.6 | 4560 | 2280 | 1 |
| 6 | 1561283085624 | 6.22 | 0.7 | 4354 | 1866 | 1 |
| 7 | 1561283086625 | 5.5 | 0.6 | 330 | 1650 | 94 |
| 8 | 1561283087719 | 4.11 | 0.5 | 2055 | 1233 | 16 |
| 9 | 1561283088735 | 4.0 | 0.5 | 200 | 1200 | 1 |
| 10 | 1561283089736 | 4.0 | 0.4 | 160 | 1200 | 1 |
| Rata-Rata | | | | | | 22.6 |

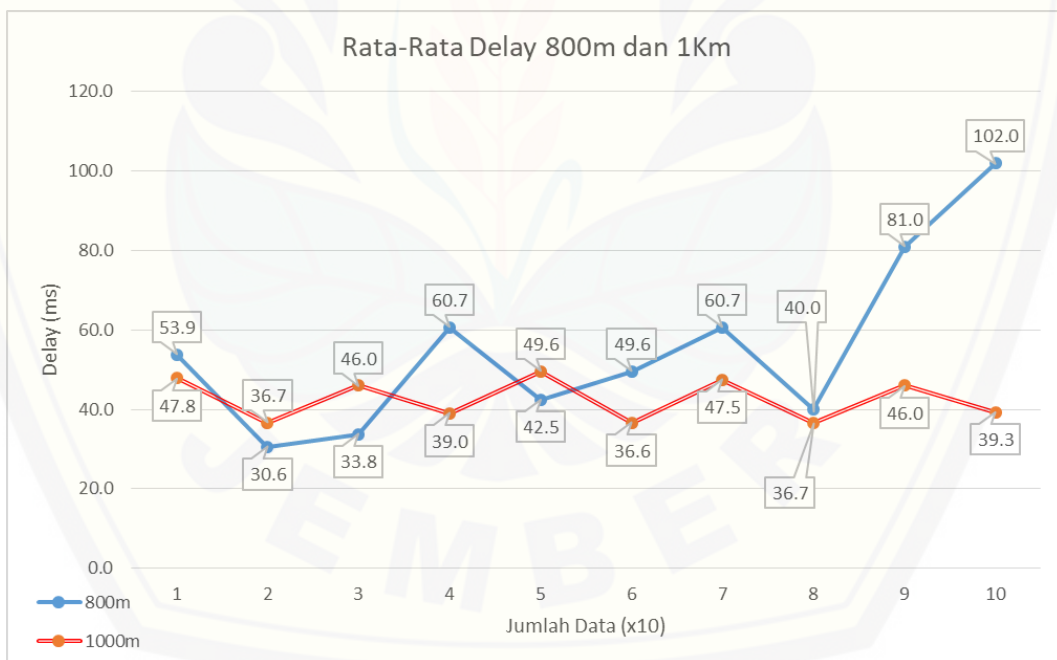
| Jarak 500 Meter (10 Data) | | | | | | |
|---------------------------|---------------|----------|------|------|------|-------|
| No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | RPM | Delay |
| 1 | 1561284096910 | 0.43 | 0.3 | 129 | 129 | 15 |
| 2 | 1561284097925 | 0.85 | 0.3 | 255 | 255 | 16 |
| 3 | 1561284098941 | 1.33 | 0.4 | 532 | 399 | 16 |
| 4 | 1561284099957 | 2.95 | 0.3 | 885 | 885 | 109 |
| 5 | 1561284101066 | 4.67 | 0.3 | 1401 | 1401 | 32 |
| 6 | 1561284102098 | 7.46 | 0.4 | 2984 | 2238 | 16 |
| 7 | 1561284103114 | 7.92 | 0.5 | 3960 | 2376 | 15 |
| 8 | 1561284104129 | 8.0 | 0.5 | 400 | 2400 | 110 |
| 9 | 1561284105239 | 7.52 | 0.5 | 3760 | 2256 | 16 |
| 10 | 1561284106255 | 7.73 | 0.5 | 3865 | 2319 | 31 |
| Rata-Rata | | | | | | 37.6 |



2. Rata Rata delay pada jarak 800 meter dan 1000 meter Line of Sight

| Jarak 800 Meter (10 Data) | | | | | | |
|---------------------------|---------------|----------|------|------|------|-------|
| No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | RPM | Delay |
| 1 | 1561284752904 | 3.98 | 0.5 | 1990 | 1194 | 9 |
| 2 | 1561284753913 | 3.98 | 0.5 | 1990 | 1194 | 103 |
| 3 | 1561284755016 | 3.68 | 0.5 | 1840 | 1104 | 24 |
| 4 | 1561284756040 | 3.91 | 0.5 | 1955 | 1173 | 9 |
| 5 | 1561284757049 | 3.98 | 0.5 | 1990 | 1194 | 9 |
| 6 | 1561284758058 | 4.50 | 0.6 | 2700 | 1350 | 118 |
| 7 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 8 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 9 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 10 | 1561284762176 | 7.7 | 0.6 | 462 | 2310 | 105 |
| Rata-Rata | | | | | | 53.9 |

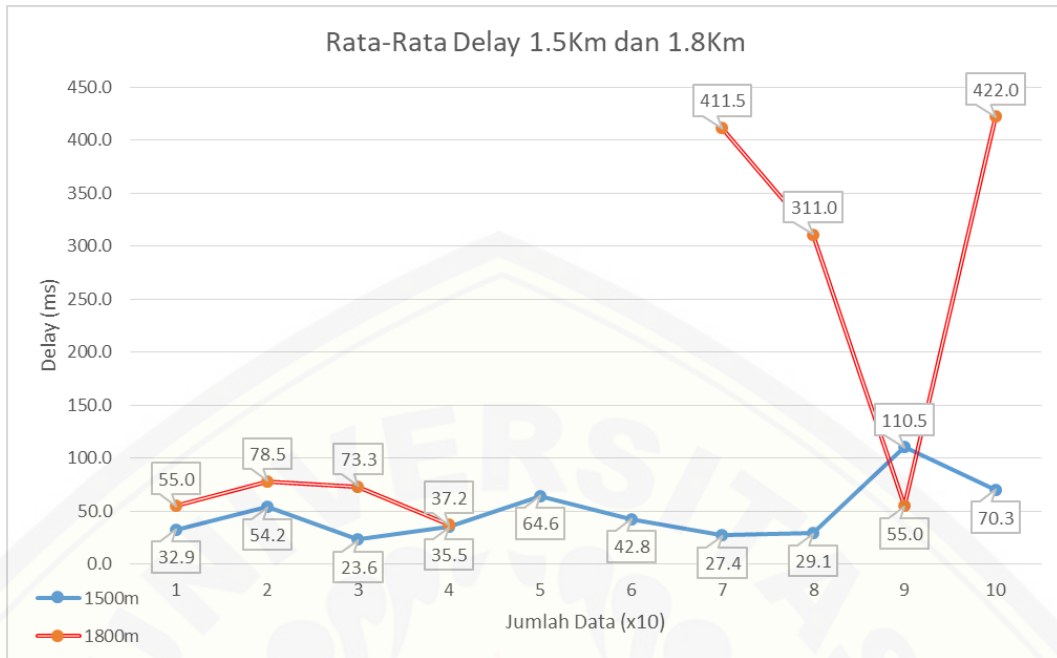
| Jarak 1000 Meter (10 Data) | | | | | |
|----------------------------|---------------|----------|------|------|-------|
| No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | Delay |
| 1 | 1561285231332 | 2.19 | 0.3 | 657 | 124 |
| 2 | 1561285232456 | 2.19 | 0.3 | 657 | 15 |
| 3 | 1561285233471 | 2.19 | 0.4 | 876 | 14 |
| 4 | 1561285234485 | 2.19 | 0.3 | 657 | 18 |
| 5 | 1561285235503 | 2.19 | 0.4 | 876 | 124 |
| 6 | 1561285236627 | 2.19 | 0.4 | 876 | 15 |
| 7 | 1561285237642 | 2.19 | 0.4 | 876 | 15 |
| 8 | 1561285238657 | 3.63 | 0.4 | 1452 | 14 |
| 9 | 1561285239671 | 6.18 | 0.4 | 2472 | 125 |
| 10 | 1561285240796 | 8.42 | 0.5 | 4210 | 14 |
| Rata-Rata | | | | | 47.8 |



3. Rata Rata delay pada jarak 1500 meter dan 1800 meter Line of Sight

| Jarak 1500 Meter (10 Data) | | | | | | |
|----------------------------|---------------|----------|------|------|------|-------|
| No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | RPM | Delay |
| 1 | 1561286107958 | 2.77 | 0.3 | 831 | 831 | 2 |
| 2 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 3 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 4 | 1561286110960 | 2.77 | 0.3 | 831 | 831 | 95 |
| 5 | 1561286112055 | 2.77 | 0.3 | 831 | 831 | 2 |
| 6 | 1561286113057 | 2.77 | 0.3 | 831 | 831 | 18 |
| 7 | 1561286114075 | 2.77 | 0.4 | 1108 | 831 | 0 |
| 8 | 1561286115075 | 2.77 | 0.4 | 1108 | 831 | 95 |
| 9 | 1561286116170 | 2.77 | 0.3 | 831 | 831 | 18 |
| 10 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| Rata-Rata | | | | | | 32.86 |

| Jarak 1800 Meter (10 Data) | | | | | | |
|----------------------------|---------------|----------|------|------|------|-------|
| No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | RPM | Delay |
| 1 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 2 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 3 | 1561286480857 | 3.54 | 0.4 | 1416 | 1062 | 109 |
| 4 | 1561286481966 | 3.53 | 0.4 | 1412 | 1059 | 1 |
| 5 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 6 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 7 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 8 | 1561286485967 | 3.54 | 0.3 | 1062 | 1062 | 110 |
| 9 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 10 | 1561286488077 | 3.35 | 0.3 | 1005 | 1005 | 0 |
| Rata-Rata | | | | | | 55.00 |

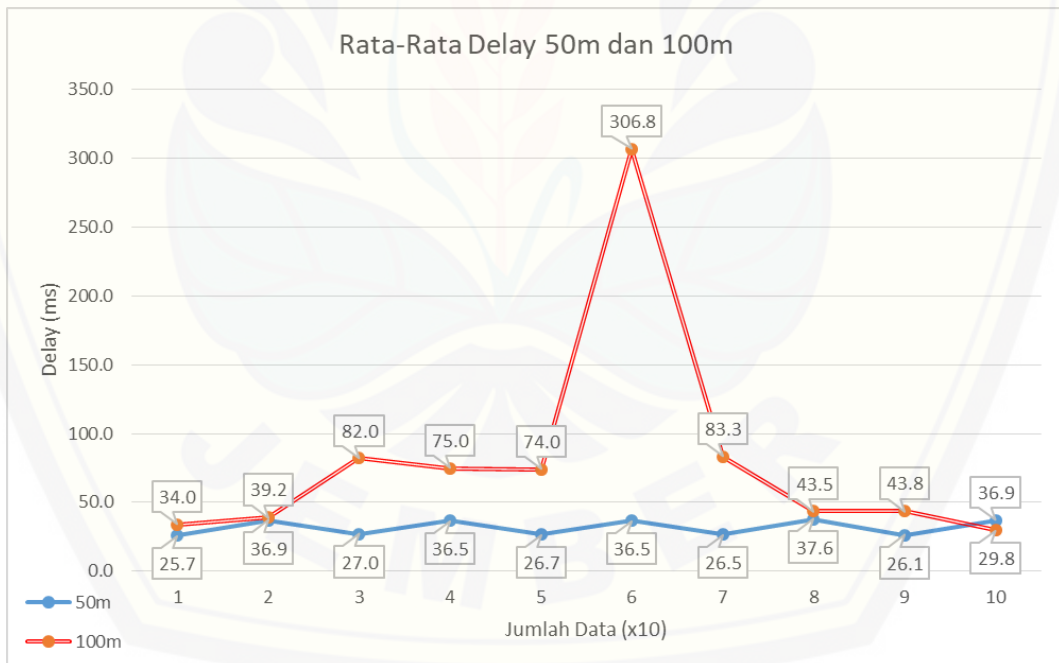


Rata Rata Delay Pada kondisi Non Line of Sight

1. Rata Rata delay pada jarak 50 meter dan 100 meter Non Line of Sight

| Jarak 50 Meter (10 Data) | | | | | | |
|--------------------------|---------------|----------|------|-------|------|-------|
| No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | RPM | Delay |
| 1 | 1561803544621 | 6.40 | 0.15 | 9600 | 1920 | 0 |
| 2 | 1561803545621 | 6.40 | 0.21 | 13440 | 1920 | 8 |
| 3 | 1561803546629 | 6.40 | 0.15 | 9600 | 1920 | 6 |
| 4 | 1561803547635 | 6.40 | 0.22 | 14080 | 1920 | 103 |
| 5 | 1561803548738 | 5.66 | 0.19 | 10754 | 1698 | 8 |
| 6 | 1561803549746 | 6.40 | 0.8 | 5120 | 1920 | 9 |
| 7 | 1561803550755 | 6.38 | 0.10 | 6380 | 1914 | 5 |
| 8 | 1561803551760 | 6.34 | 0.14 | 8876 | 1902 | 106 |
| 9 | 1561803552866 | 6.35 | 0.15 | 9525 | 1905 | 7 |
| 10 | 1561803553873 | 6.40 | 0.15 | 9600 | 1920 | 5 |
| Rata-Rata | | | | | | 25.7 |

| Jarak 100 Meter (10 Data) | | | | | | |
|---------------------------|---------------|----------|------|-------|------|-------|
| No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | RPM | Delay |
| 1 | 1561800387100 | 10.11 | 0.27 | 27297 | 3033 | 4 |
| 2 | 1561800388104 | 10.3 | 0.32 | 3296 | 3090 | 2 |
| 3 | 1561800389106 | 10.4 | 0.28 | 2912 | 3120 | 4 |
| 4 | 1561800390110 | 10.3 | 0.27 | 2781 | 3090 | 3 |
| 5 | 1561800391113 | 10.3 | 0.27 | 2781 | 3090 | 106 |
| 6 | 1561800392219 | 0.0 | 0.27 | 0 | 0 | 8 |
| 7 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 8 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 9 | 1561800395227 | 10.3 | 0.31 | 3193 | 3090 | 111 |
| 10 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| Rata-Rata | | | | | | 34 |

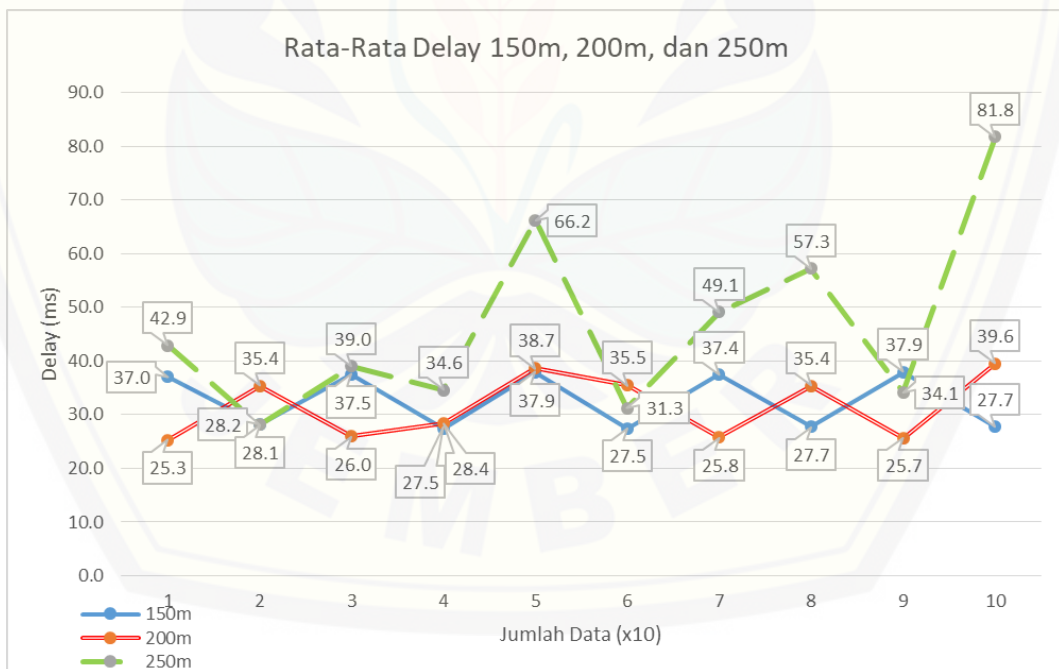


2. Rata Rata delay pada jarak 100 meter, 200 meter dan 250 meter Non Line of Sight

| Jarak 150 Meter (10 Data) | | | | | | |
|---------------------------|---------------|----------|------|-------|------|-------|
| No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | RPM | Delay |
| 1 | 1561803236438 | 10.5 | 0.13 | 1365 | 3150 | 4 |
| 2 | 1561803237442 | 10.5 | 0.13 | 1365 | 3150 | 105 |
| 3 | 1561803238547 | 10.5 | 0.13 | 1365 | 3150 | 7 |
| 4 | 1561803239554 | 10.5 | 0.13 | 1365 | 3150 | 9 |
| 5 | 1561803240563 | 10.5 | 0.13 | 1365 | 3150 | 8 |
| 6 | 1561803241571 | 10.5 | 0.13 | 1365 | 3150 | 106 |
| 7 | 1561803242677 | 10.5 | 0.13 | 1365 | 3150 | 7 |
| 8 | 1561803243684 | 10.5 | 0.12 | 1260 | 3150 | 7 |
| 9 | 1561803244691 | 9.45 | 0.13 | 12285 | 2835 | 10 |
| 10 | 1561803245701 | 7.60 | 0.13 | 9880 | 2280 | 107 |
| Rata-Rata | | | | | | 37 |

| Jarak 200 Meter (10 Data) | | | | | | |
|---------------------------|---------------|----------|------|------|------|-------|
| No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | RPM | Delay |
| 1 | 1561801011722 | 10.3 | 0.28 | 2884 | 3090 | 4 |
| 2 | 1561801012726 | 10.3 | 0.28 | 2884 | 3090 | 4 |
| 3 | 1561801013730 | 10.3 | 0.28 | 2884 | 3090 | 4 |
| 4 | 1561801014734 | 10.3 | 0.27 | 2781 | 3090 | 106 |
| 5 | 1561801015840 | 10.3 | 0.27 | 2781 | 3090 | 3 |
| 6 | 1561801016843 | 10.3 | 0.28 | 2884 | 3090 | 8 |
| 7 | 1561801017851 | 10.3 | 0.28 | 2884 | 3090 | 4 |
| 8 | 1561801018855 | 10.3 | 0.28 | 2884 | 3090 | 106 |
| 9 | 1561801019961 | 10.3 | 0.29 | 2987 | 3090 | 8 |
| 10 | 1561801020969 | 10.3 | 0.30 | 3090 | 3090 | 6 |
| Rata-Rata | | | | | | 25.3 |

| Jarak 250 Meter (10 Data) | | | | | | |
|---------------------------|---------------|----------|------|-------|------|--------|
| No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | RPM | Delay |
| 1 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 2 | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS | LOSS |
| 3 | 1561802788526 | 7.98 | 0.22 | 17556 | 2394 | 101 |
| 4 | 1561802789627 | 8.12 | 0.22 | 17864 | 2436 | 5 |
| 5 | 1561802790632 | 4.14 | 0.23 | 9522 | 1242 | 106 |
| 6 | 1561802791738 | 9.53 | 0.21 | 20013 | 2859 | 10 |
| 7 | 1561802792748 | 10.3 | 0.22 | 2266 | 3090 | 3 |
| 8 | 1561802793751 | 10.2 | 0.23 | 2346 | 3060 | 7 |
| 9 | 1561802794758 | 10.3 | 0.23 | 2369 | 3090 | 106 |
| 10 | 1561802795864 | 10.3 | 0.22 | 2266 | 3090 | 5 |
| Rata-Rata | | | | | | 42.875 |

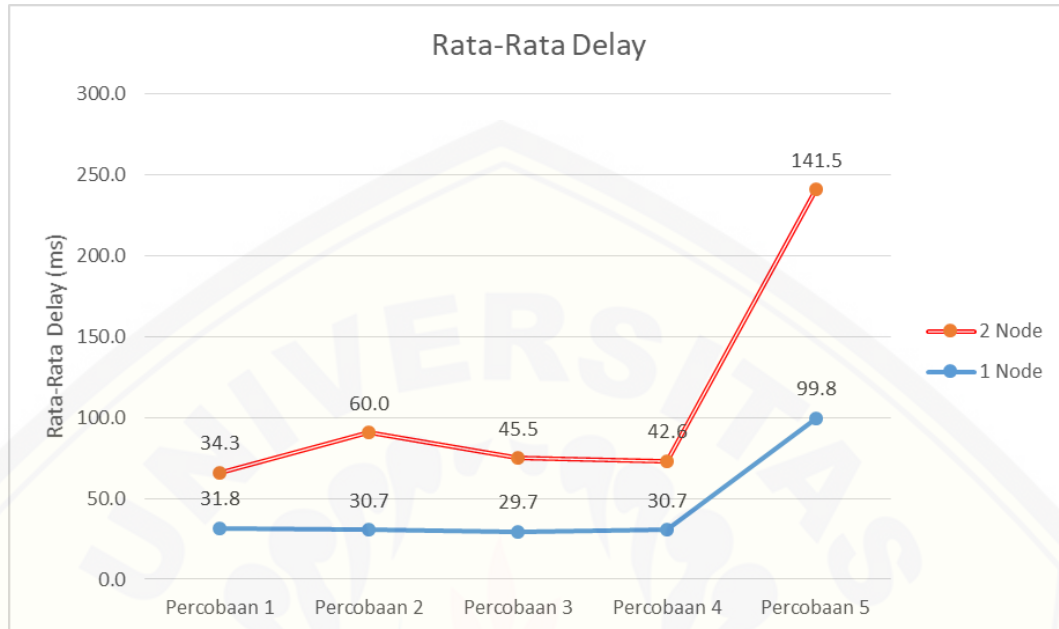


Rata Rata Delay dan Packet Loss Berdasarkan Jumlah Node

1. Rata Rata delay pada percobaan pertama menggunakan 1 node dan 2 node

| Percobaan 1 | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|---------------|----------|------|------|------|-------|----------------------|---------------|----------|------|-------|------|-------|
| 1 Node | | | | | | | 2Node | | | | | | |
| No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | RPM | Delay | No | Waktu | Tegangan | Arus | Daya | RPM | Delay |
| 1 | 1561794681104 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 1 | 1561794732387 | 4.8 | 0 | 0 | 1440 | 107 |
| 2 | 1561794682104 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 2 | 1561794733407 | 5.38 | 0 | 0 | 1614 | 28 |
| 3 | 1561794683106 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 3 | 1561794734399 | 5.89 | 0.11 | 6479 | 1767 | 0 |
| 4 | 1561794684208 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 | 4 | 1561794735399 | 6.5 | 0.11 | 715 | 1950 | 8 |
| 5 | 1561794685208 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 5 | 1561794736496 | 6.6 | 0.1 | 660 | 1980 | 105 |
| 6 | 1561794686217 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 | 6 | 1561794737499 | 6.6 | 0.11 | 726 | 1980 | 11 |
| 7 | 1561794687217 | 0.22 | 0 | 0 | 66 | 8 | 7 | 1561794738505 | 6.5 | 0.12 | 780 | 1950 | 14 |
| 8 | 1561794688314 | 0.49 | 0 | 0 | 147 | 105 | 8 | 1561794739508 | 6.24 | 0.11 | 6864 | 1872 | 11 |
| 9 | 1561794689316 | 0.84 | 0 | 0 | 252 | 10 | 9 | 1561794740609 | 3.58 | 0.12 | 4296 | 1074 | 109 |
| 10 | 1561794690320 | 1.37 | 0 | 0 | 411 | 12 | 10 | 1561794741610 | 2.57 | 0 | 0 | 771 | 9 |
| 11 | 1561794691324 | 1.75 | 0 | 0 | 525 | 12 | 11 | 1561794742610 | 1.94 | 0 | 0 | 582 | 8 |
| 12 | 1561794692426 | 3.4 | 0 | 0 | 1020 | 110 | 12 | 1561794743613 | 1.57 | 0 | 0 | 471 | 11 |
| 13 | 1561794693424 | 5.68 | 0 | 0 | 1704 | 6 | 13 | 1561794744614 | 1.57 | 0 | 0 | 471 | 9 |
| 14 | 1561794694430 | 7.18 | 0.11 | 7898 | 2154 | 14 | 14 | 1561794745725 | 1.57 | 0 | 0 | 471 | 119 |
| 15 | 1561794695428 | 7.4 | 0.12 | 8880 | 2220 | 6 | 15 | 1561794746718 | 1.57 | 0 | 0 | 471 | 1 |
| 16 | 1561794696434 | 6.96 | 0.11 | 7656 | 2088 | 14 | 16 | 1561794747722 | 1.57 | 0 | 0 | 471 | 12 |
| 17 | 1561794697530 | 6.87 | 0.11 | 7557 | 2061 | 104 | 17 | 1561794748726 | 1.57 | 0 | 0 | 471 | 12 |
| 18 | 1561794698534 | 6.61 | 0.11 | 7271 | 1983 | 12 | 18 | 1561794749826 | 1.58 | 0 | 0 | 474 | 108 |
| 19 | 1561794699536 | 6.26 | 0.12 | 7512 | 1878 | 10 | 19 | 1561794750832 | 1.58 | 0 | 0 | 474 | 14 |
| 20 | 1561794700540 | 5.88 | 0.11 | 6468 | 1764 | 12 | 20 | 1561794751830 | 1.59 | 0 | 0 | 477 | 6 |
| 21 | 1561794701639 | 5.54 | 0.11 | 6094 | 1662 | 107 | 21 | 1561794752838 | 1.58 | 0 | 0 | 474 | 16 |
| 22 | 1561794702642 | 5.4 | 0.11 | 594 | 1620 | 11 | 22 | 1561794753839 | 1.21 | 0 | 0 | 363 | 9 |
| 23 | 1561794703646 | 4.67 | 0.12 | 5604 | 1401 | 12 | 23 | 1561794754949 | 1.2 | 0 | 0 | 360 | 118 |
| 24 | 1561794704645 | 4.46 | 0 | 0 | 1338 | 7 | 24 | 1561794755941 | 0.75 | 0 | 0 | 225 | 0 |
| 25 | 1561794705745 | 4.46 | 0 | 0 | 1338 | 108 | 25 | 1561794756942 | 1.11 | 0 | 0 | 333 | 9 |
| 26 | 1561794706748 | 4.28 | 0 | 0 | 1284 | 11 | 26 | 1561794757947 | 1.89 | 0 | 0 | 567 | 13 |
| 27 | 1561794707747 | 4.26 | 0 | 0 | 1278 | 7 | 27 | 1561794759046 | 2.47 | 0 | 0 | 741 | 107 |
| 28 | 1561794708750 | 4.26 | 0 | 0 | 1278 | 11 | 28 | 1561794760048 | 3.7 | 0 | 0 | 1110 | 10 |
| 29 | 1561794709850 | 4.26 | 0 | 0 | 1278 | 108 | 29 | 1561794761053 | 3.6 | 0 | 0 | 1080 | 13 |
| 30 | 1561794710853 | 4.25 | 0 | 0 | 1275 | 11 | 30 | 1561794762057 | 4.3 | 0 | 0 | 1290 | 12 |
| 31 | 1561794711856 | 4.27 | 0 | 0 | 1281 | 11 | 31 | 1561794763062 | 5.33 | 0 | 0 | 1599 | 13 |
| 32 | 1561794712856 | 4.8 | 0 | 0 | 1440 | 8 | 32 | 1561794764163 | 6.17 | 0.11 | 6787 | 1851 | 109 |
| 33 | 1561794713860 | 5.94 | 0 | 0 | 1782 | 12 | 33 | 1561794765162 | 7.11 | 0.12 | 8532 | 2133 | 7 |
| 34 | 1561794714963 | 6.52 | 0.11 | 7172 | 1956 | 111 | 34 | 1561794766166 | 7.64 | 0.12 | 9168 | 2292 | 12 |
| 35 | 1561794715963 | 6.66 | 0.11 | 7326 | 1998 | 8 | 35 | 1561794767166 | 7.39 | 0.12 | 8868 | 2217 | 8 |
| 36 | 1561794716961 | 6.7 | 0.12 | 8040 | 2010 | 6 | 36 | 1561794768272 | 6.7 | 0.11 | 737 | 2010 | 114 |
| 37 | 1561794717970 | 6.7 | 0.11 | 7370 | 2010 | 17 | 37 | 1561794769277 | 5.19 | 0.12 | 6228 | 1557 | 13 |
| 38 | 1561794719069 | 6.3 | 0.11 | 6930 | 1890 | 107 | 38 | 1561794770277 | 4.55 | 0.11 | 5005 | 1365 | 8 |
| 39 | 1561794720069 | 5.85 | 0.12 | 7020 | 1755 | 8 | 39 | 1561794771277 | 4.1 | 0 | 0 | 1230 | 8 |
| 40 | 1561794721072 | 5.12 | 0.12 | 6144 | 1536 | 11 | 40 | 1561794772384 | 3.75 | 0 | 0 | 1125 | 115 |
| 41 | 1561794722077 | 4.56 | 0.11 | 5016 | 1368 | 13 | 41 | 1561794773377 | 3.38 | 0 | 0 | 1014 | 1 |
| 42 | 1561794723174 | 4.2 | 0 | 0 | 1260 | 105 | 42 | 1561794774384 | 3.9 | 0 | 0 | 1170 | 15 |
| 43 | 1561794724177 | 4 | 0 | 0 | 1200 | 11 | 43 | 1561794775387 | 4.2 | 0 | 0 | 1260 | 11 |
| 44 | 1561794725177 | 3.97 | 0 | 0 | 1191 | 8 | 44 | 1561794776388 | 4.99 | 0 | 0 | 1497 | 9 |
| 45 | 1561794726179 | 3.98 | 0 | 0 | 1194 | 10 | 45 | 1561794777491 | 6.32 | 0 | 0 | 1896 | 111 |
| 46 | 1561794727278 | 3.97 | 0 | 0 | 1191 | 107 | 46 | 1561794778493 | 8.45 | 0.11 | 9295 | 2535 | 10 |
| 47 | 1561794728278 | 3.96 | 0 | 0 | 1188 | 8 | 47 | 1561794779494 | 8.45 | 0.12 | 10140 | 2535 | 9 |
| 48 | 1561794729281 | 3.98 | 0 | 0 | 1194 | 11 | 48 | 1561794780498 | 8.45 | 0.11 | 9295 | 2535 | 12 |
| 49 | 1561794730284 | 4.7 | 0 | 0 | 1410 | 11 | 49 | 1561794781599 | 8.37 | 0.11 | 9207 | 2511 | 109 |
| 50 | 1561794731288 | 4.36 | 0 | 0 | 1308 | 12 | 50 | 1561794782601 | 7.93 | 0.11 | 8723 | 2379 | 10 |
| Delay Rata Rata (ms) | | | | | | 31.76 | Delay Rata Rata (ms) | | | | | | 34.26 |
| Packet Loss (%) | | | | | | 0 | Packet Loss (%) | | | | | | 0 |

2. Rata Rata delay dari 5 percobaan Ketika menggunakan 1 node dan 2 node



3. Packet Loss pada dari 5 percobaan Ketika menggunakan 1 node

| 1 Node | | | | | |
|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| No | Percobaan 1 | Percobaan 2 | Percobaan 3 | Percobaan 4 | Percobaan 5 |
| | Waktu | Waktu | Waktu | Waktu | Waktu |
| 1 | 1561794681104 | 1561794873294 | 1561795264964 | 1561795565407 | 1561796851177 |
| 2 | 1561794682104 | 1561794874287 | 1561795265964 | 1561795566509 | 1561796852180 |
| 3 | 1561794683106 | 1561794875290 | 1561795266968 | 1561795567512 | 1561796853180 |
| 4 | 1561794684208 | 1561794876392 | 1561795268070 | 1561795568512 | 1561796854184 |
| 5 | 1561794685208 | 1561794877391 | 1561795269081 | 1561795569515 | 1561796855283 |
| 6 | 1561794686217 | 1561794878397 | 1561795270078 | 1561795570617 | 1561796856286 |
| 7 | 1561794687217 | 1561794879498 | 1561795271072 | 1561795571616 | 1561796857287 |
| 8 | 1561794688314 | 1561794880498 | 1561795272174 | 1561795572621 | 1561796858289 |
| 9 | 1561794689316 | 1561794881500 | 1561795273177 | 1561795573623 | 1561796859289 |
| 10 | 1561794690320 | 1561794882505 | 1561795274182 | 1561795574623 | 1561796860394 |
| 11 | 1561794691324 | 1561794883509 | 1561795275181 | 1561795575732 | 1561796861393 |
| 12 | 1561794692426 | 1561794884614 | 1561795276180 | 1561795576728 | 1561796862397 |
| 13 | 1561794693424 | 1561794885609 | 1561795277286 | 1561795577734 | 1561796863402 |
| 14 | 1561794694430 | 1561794886611 | 1561795278286 | 1561795578731 | 1561796864503 |
| 15 | 1561794695428 | 1561794887611 | 1561795279291 | 1561795579833 | 1561796865501 |
| 16 | 1561794696434 | 1561794888616 | 1561795280292 | 1561795580838 | 1561796866505 |
| 17 | 1561794697530 | 1561794889716 | 1561795281394 | 1561795581836 | 1561796867504 |
| 18 | 1561794698534 | 1561794890715 | 1561795282396 | 1561795582840 | 1561796868610 |
| 19 | 1561794699536 | 1561794891718 | 1561795283399 | 1561795583944 | 1561796869609 |
| 20 | 1561794700540 | 1561794892718 | 1561795284397 | 1561795584940 | 1561796870609 |
| 21 | 1561794701639 | 1561794893827 | 1561795285502 | 1561795585944 | 1561796871609 |
| 22 | 1561794702642 | 1561794894823 | 1561795286506 | 1561795586946 | 1561796872713 |
| 23 | 1561794703646 | 1561794895827 | 1561795287502 | 1561795588045 | 1561796873720 |
| 24 | 1561794704645 | 1561794896826 | 1561795288506 | 1561795589050 | 1561796874718 |
| 25 | 1561794705745 | 1561794897929 | 1561795289607 | 1561795590051 | 1561796875721 |
| 26 | 1561794706748 | 1561794898935 | 1561795290605 | 1561795591053 | 1561796876718 |
| 27 | 1561794707747 | 1561794899936 | 1561795291611 | 1561795592060 | 1561796877821 |
| 28 | 1561794708750 | 1561794900935 | 1561795292608 | 1561795593157 | 1561796878826 |
| 29 | 1561794709850 | 1561794902038 | 1561795293612 | 1561795594156 | 1561796879824 |
| 30 | 1561794710853 | 1561794903037 | 1561795294713 | 1561795595159 | 1561796880827 |
| 31 | 1561794711856 | 1561794904040 | 1561795295717 | 1561795596159 | 1561796881928 |
| 32 | 1561794712856 | 1561794905040 | 1561795296716 | 1561795597260 | 1561796882929 |
| 33 | 1561794713860 | 1561794906042 | 1561795297719 | 1561795598266 | 1561796883931 |
| 34 | 1561794714963 | 1561794907144 | 1561795298820 | 1561795599263 | 1561796885035 |
| 35 | 1561794715963 | 1561794908151 | 1561795299825 | 1561795600268 | 1561796886035 |

| | | | | | |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 36 | 1561794716961 | 1561794909147 | 1561795300825 | 1561795601373 | 1561796887038 |
| 37 | 1561794717970 | 1561794910252 | 1561795301826 | 1561795602369 | 1561796888039 |
| 38 | 1561794719069 | 1561794911252 | 1561795302928 | 1561795603373 | 1561796889041 |
| 39 | 1561794720069 | 1561794912252 | 1561795303929 | 1561795604375 | 1561796890140 |
| 40 | 1561794721072 | 1561794913256 | 1561795304929 | 1561795605475 | 1561796891144 |
| 41 | 1561794722077 | 1561794914254 | 1561795305937 | 1561795606479 | 1561796892148 |
| 42 | 1561794723174 | 1561794915356 | 1561795307036 | 1561795607479 | 1561796893151 |
| 43 | 1561794724177 | 1561794916360 | 1561795308041 | 1561795608481 | 1561796894148 |
| 44 | 1561794725177 | 1561794917359 | 1561795309037 | 1561795609486 | 1561796895247 |
| 45 | 1561794726179 | 1561794918365 | 1561795310037 | 1561795610584 | 1561796896250 |
| 46 | 1561794727278 | 1561794919466 | 1561795311040 | 1561795611588 | 1561796897249 |
| 47 | 1561794728278 | 1561794920465 | 1561795312142 | 1561795612585 | 1561796898256 |
| 48 | 1561794729281 | 1561794921470 | 1561795313142 | 1561795613588 | 1561796899357 |
| 49 | 1561794730284 | 1561794922471 | 1561795314144 | 1561795614688 | 1561796900362 |
| 50 | 1561794731288 | 1561794923471 | 1561795315147 | 1561795615692 | 1561796901363 |
| Packet Loss | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Perhitungan packet loss saat menggunakan 1 node

$$\begin{aligned}
 \text{Packet Loss (1)} &= \left(\frac{Pd}{Ps}\right) \times 100\% & \text{Packet Loss (2)} &= \left(\frac{Pd}{Ps}\right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{0}{50}\right) \times 100\% & &= \left(\frac{0}{50}\right) \times 100\% \\
 &= 0\% & &= 0\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Packet Loss (3)} &= \left(\frac{Pd}{Ps}\right) \times 100\% & \text{Packet Loss (4)} &= \left(\frac{Pd}{Ps}\right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{0}{50}\right) \times 100\% & &= \left(\frac{0}{50}\right) \times 100\% \\
 &= 0\% & &= 0\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Packet Loss (5)} &= \left(\frac{Pd}{Ps}\right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{0}{50}\right) \times 100\% \\
 &= 0\%
 \end{aligned}$$

4. Packet Loss pada dari 5 percobaan Ketika menggunakan 2 node

| 2 Node | | | | | |
|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| No | Percobaan 1 | Percobaan 2 | Percobaan 3 | Percobaan 4 | Percobaan 5 |
| | Waktu | Waktu | Waktu | Waktu | Waktu |
| 1 | 1561794732387 | LOSS | 1561795316250 | 1561795616692 | 1561796902362 |
| 2 | 1561794733407 | LOSS | 1561795317250 | 1561795617695 | LOSS |
| 3 | 1561794734399 | LOSS | 1561795318252 | 1561795618797 | LOSS |
| 4 | 1561794735399 | LOSS | 1561795319256 | 1561795619804 | 1561796905470 |
| 5 | 1561794736496 | LOSS | 1561795320358 | 1561795620805 | 1561796906473 |
| 6 | 1561794737499 | LOSS | 1561795321361 | 1561795621804 | LOSS |
| 7 | 1561794738505 | LOSS | 1561795322361 | 1561795622806 | LOSS |
| 8 | 1561794739508 | LOSS | 1561795323365 | 1561795623910 | 1561796909652 |
| 9 | 1561794740609 | LOSS | 1561795324368 | 1561795624918 | 1561796910578 |
| 10 | 1561794741610 | LOSS | 1561795325469 | 1561795625913 | LOSS |
| 11 | 1561794742610 | LOSS | 1561795326473 | 1561795626915 | LOSS |
| 12 | 1561794743613 | LOSS | 1561795327478 | 1561795628017 | LOSS |
| 13 | 1561794744614 | LOSS | 1561795328478 | 1561795629019 | 1561796914689 |
| 14 | 1561794745725 | LOSS | 1561795329583 | 1561795630023 | LOSS |
| 15 | 1561794746718 | LOSS | 1561795330583 | 1561795631023 | LOSS |
| 16 | 1561794747722 | LOSS | 1561795331582 | 1561795632129 | LOSS |
| 17 | 1561794748726 | LOSS | 1561795332591 | 1561795633135 | 1561796918791 |
| 18 | 1561794749826 | LOSS | 1561795333686 | 1561795634133 | LOSS |
| 19 | 1561794750832 | LOSS | 1561795334689 | 1561795635136 | LOSS |
| 20 | 1561794751830 | LOSS | 1561795335693 | 1561795636137 | LOSS |
| 21 | 1561794752838 | LOSS | 1561795336692 | 1561795637242 | 1561796922903 |
| 22 | 1561794753839 | LOSS | 1561795337696 | 1561795638240 | LOSS |
| 23 | 1561794754949 | LOSS | 1561795338800 | 1561795639245 | LOSS |
| 24 | 1561794755941 | LOSS | 1561795339802 | 1561795640247 | LOSS |
| 25 | 1561794756942 | LOSS | 1561795340805 | 1561795641350 | LOSS |
| 26 | 1561794757947 | LOSS | 1561795341804 | 1561795642353 | LOSS |
| 27 | 1561794759046 | 1561794951204 | 1561795342906 | 1561795643354 | LOSS |
| 28 | 1561794760048 | 1561794952202 | 1561795343914 | 1561795644355 | LOSS |
| 29 | 1561794761053 | 1561794953206 | 1561795344914 | 1561795645358 | LOSS |
| 30 | 1561794762057 | 1561794954311 | 1561795345913 | 1561795646461 | LOSS |
| 31 | 1561794763062 | 1561794955308 | 1561795347015 | 1561795647465 | LOSS |
| 32 | 1561794764163 | 1561794956313 | 1561795348019 | 1561795648463 | LOSS |
| 33 | 1561794765162 | 1561794957310 | 1561795349021 | 1561795649467 | LOSS |
| 34 | 1561794766166 | 1561794958416 | 1561795350021 | 1561795650574 | LOSS |
| 35 | 1561794767166 | 1561794959416 | 1561795351024 | 1561795651572 | LOSS |

| | | | | | |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------|
| 36 | 1561794768272 | 1561794960413 | 1561795352126 | 1561795652577 | LOSS |
| 37 | 1561794769277 | 1561794961419 | 1561795353131 | 1561795653575 | LOSS |
| 38 | 1561794770277 | 1561794962423 | 1561795354132 | 1561795654677 | LOSS |
| 39 | 1561794771277 | 1561794963528 | 1561795355137 | 1561795655684 | LOSS |
| 40 | 1561794772384 | 1561794964524 | 1561795356238 | 1561795656685 | LOSS |
| 41 | 1561794773377 | 1561794965527 | 1561795357237 | 1561795657688 | LOSS |
| 42 | 1561794774384 | 1561794966532 | 1561795358241 | 1561795658687 | LOSS |
| 43 | 1561794775387 | 1561794967629 | 1561795359245 | 1561795659789 | LOSS |
| 44 | 1561794776388 | 1561794968631 | 1561795360347 | 1561795660793 | LOSS |
| 45 | 1561794777491 | 1561794969637 | 1561795361347 | 1561795661797 | LOSS |
| 46 | 1561794778493 | 1561794970634 | 1561795362351 | 1561795662800 | LOSS |
| 47 | 1561794779494 | 1561794971740 | 1561795363355 | 1561795663902 | LOSS |
| 48 | 1561794780498 | 1561794972739 | 1561795364357 | 1561795664900 | LOSS |
| 49 | 1561794781599 | 1561794973740 | 1561795365459 | 1561795665904 | LOSS |
| 50 | 1561794782601 | 1561794974743 | 1561795366465 | 1561795666909 | LOSS |
| Packet Loss | 0 | 26 | 0 | 0 | 42 |

Perhitungan packet loss saat menggunakan 2 node

$$\begin{aligned}
 \text{Packet Loss (1)} &= \left(\frac{Pd}{Ps}\right) \times 100\% & \text{Packet Loss (2)} &= \left(\frac{Pd}{Ps}\right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{0}{50}\right) \times 100\% & &= \left(\frac{26}{50}\right) \times 100\% \\
 &= 0\% & &= 52\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Packet Loss (3)} &= \left(\frac{Pd}{Ps}\right) \times 100\% & \text{Packet Loss (4)} &= \left(\frac{Pd}{Ps}\right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{0}{50}\right) \times 100\% & &= \left(\frac{0}{50}\right) \times 100\% \\
 &= 0\% & &= 0\%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Packet Loss (5)} &= \left(\frac{Pd}{Ps}\right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{42}{50}\right) \times 100\% \\
 &= 84\%
 \end{aligned}$$

Perbandingan packet loss saat menggunakan 1 node dan 2 node

