

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Pengertian Long Range (LoRa)

LoRa (*Long Range*) merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang dirancang untuk aplikasi Internet of Things (IoT) dengan fokus pada jangkauan yang luas dan efisiensi energi. Teknologi ini menggunakan teknik modulasi yang dikenal sebagai chirp spread spectrum (CSS), yang memungkinkan transmisi data dengan kecepatan yang lebih rendah tetapi dengan jangkauan yang lebih jauh dibandingkan dengan teknologi komunikasi nirkabel lainnya. LoRa beroperasi di frekuensi sub-giga Hertz, seperti 433 MHz, 868 MHz, dan 915 MHz, yang memberikan keuntungan signifikan dalam penetrasi sinyal, memungkinkan perangkat untuk berkomunikasi dengan baik meskipun terdapat hambatan fisik seperti bangunan dan pepohonan (Kurniawan D. Irianto, 2022).

2.1.2 Kelebihan dan kekurangan Long Range (LoRa)

Long Range (LoRa) memiliki beberapa kelebihan yang membuatnya cocok untuk dalam banya aplikasi Internet of Things (IoT), berikut merupakan kelebihan dari *Long Range (LoRa)* :

a. Jangkauan Luas:

LoRa dapat mentransmisikan daya dengan jarak yang sangat jauh dalam kondisi ideal, yang sangat bermanfaat untuk aplikasi yang memerlukan komunikasi jarak jauh antara perangkat yang terpisah (Leap, 2024).

b. Konsumsi Daya Rendah:

Teknologi *Long Range (LoRa)* dapat bertahan dengan baterai selama bertahun-tahun, membuatnya ideal untuk aplikasi yang

memerlukan pemantauan berkelanjutan tanpa sering mengganti baterai (Leap, 2024).

c. Kemampuan Menghubungkan Banyak Perangkat:

LoRa dapat mendukung ribuan perangkat dalam satu jaringan, memungkinkan pengumpulan data dari banyak sensor secara simultan (Leap, 2024).

Namun, ada beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan seperti :

a. Keterbatasan Bandwidth

LoRa memiliki kecepatan data yang lebih rendah dibandingkan dengan teknologi komunikasi lainnya, sehingga mungkin tidak cocok untuk aplikasi yang memerlukan transfer data besar dalam waktu singkat (Indobot, 2022).

b. Interferensi Sinyal

Dalam lingkungan yang sangat padat dengan banyak perangkat nirkabel, kualitas sinyal dapat terpengaruh, yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas komunikasi dan keandalan sistem (Indobot, 2022).

c. Regulasi Frekuensi

Penggunaan frekuensi tertentu untuk LoRa dapat dibatasi oleh regulasi pemerintah di berbagai negara, yang bisa membatasi penerapan teknologi ini di beberapa wilayah (Indobot, 2022).

2.1.3 Aplikasi Long Range (LoRa)

Long Range (LoRa) sangat fleksibel dan efektif, sehingga dapat dengan mudah diaplikasikan ke dalam banyak teknologi modern seperti :

2.1.3.1 Monitoring Lingkungan

LoRa digunakan untuk mengumpulkan data dari sensor yang memantau kualitas udara, suhu, kelembapan, dan parameter lingkungan lainnya, yang penting untuk analisis dampak lingkungan (Hishine, 2024).

2.1.3.2 Pertanian Cerdas

Long Range (LoRa) memainkan peran penting dalam penerapan pertanian cerdas, memungkinkan petani untuk memantau kondisi tanah dan tanaman secara real-time (Zakhwan, 2023).

2.1.3.3 Kota Pintar

LoRa berkontribusi pada sistem manajemen lalu lintas, pengelolaan limbah, dan pengawasan infrastruktur, memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik berdasarkan informasi yang akurat (Hishine, 2024).

2.1.3.4 Sistem Peringatan Dini

Long Range (LoRa) juga digunakan dalam sistem peringatan dini untuk bencana alam, seperti banjir dan gempa bumi, meningkatkan kesiapsiagaan dan mengurangi kerugian (Faishal, F. d., 2019).



Gambar 2. 1 LoRa Ra 02 SX1278

Sumber : Ichibot, n.d.

LoRa Ra 02 SX1278 merupakan modul komunikasi nirkabel yang memanfaatkan teknologi LoRa (*Long Range*) dan dirancang khusus untuk aplikasi Internet of Things (IoT). Modul ini menawarkan kombinasi jangkauan yang luas, efisiensi energi tinggi, dan kemudahan integrasi, menjadikannya pilihan ideal untuk berbagai penggunaan, termasuk pemantauan jarak jauh dan komunikasi data. LoRa Ra 02 SX 1278 beroperasi pada frekuensi antara 862 MHz hingga 930 MHz, yang memberikan fleksibilitas untuk berbagai aplikasi di berbagai wilayah. Modul ini memiliki daya transmisi maksimum sebesar 30 dBm (1W), yang memungkinkan jangkauan transmisi hingga 8 km dalam kondisi ideal, seperti di area terbuka tanpa halangan (Ichibot.id). Modul ini juga beroperasi pada rentang tegangan 3.3V hingga 5.5V DC, sehingga kompatibel dengan berbagai mikrokontroler (Darmawan & Krisnadi, 2019). Selain itu, RA 02 SX1278 dilengkapi dengan antarmuka UART (TTL), yang memudahkan komunikasi data antara modul dan mikrokontroler seperti Arduino dan Raspberry Pi (Ichibot.id). LoRa RA 02 SX1278 juga memiliki sejumlah fitur unggulan, termasuk penggunaan teknik modulasi LoRa yang meningkatkan jangkauan dan efisiensi penggunaan daya (Ichibot.id). Modul ini mendukung beberapa mode operasi, seperti mode normal untuk transmisi data reguler, mode hemat daya untuk mengurangi konsumsi daya saat tidak ada data yang ditransmisikan, dan mode tidur untuk mengoptimalkan daya (Ichibot.id). Desain modul yang sederhana memungkinkan integrasi yang mudah dengan berbagai platform dan perangkat keras, menjadikannya ideal untuk prototyping dan aplikasi nyata (Ichibot.id).

2.1.4 Pathloss

Daya yang hilang saat transmisi sinyal dari pengirim ke penerima disebut *Pathloss*. Parameter yang mempengaruhi besarnya kehilangan jalur pada ruang bebas pada kondisi LOS (Line of Sight) adalah frekuensi dan jarak antara pengirim dan penerima (Bengawan Alfaresi et al., 2020).

Dalam situasi N-LOS (Non-Line of Sight), besarnya kehilangan jalur dipengaruhi oleh parameter antenna pemancar yang tinggi, parameter antenna penerima yang tinggi, dan karakteristik wilayah. Kehilangan daya dalam pengiriman gelombang radio dalam satuan decibel dapat dihitung dengan menggunakan model kehilangan jalur statistik. Perhitungan prediksi melibatkan kondisi LOS, medan, dan lingkungan non-LOS, dan biasanya menggunakan parameter yang lebih rumit tergantung pada pemodelan yang digunakan (Bengawan Alfaresi et al., 2020).

2.1.5 Model Propagasi Okumura-Hata

Model propagasi ini adalah salah satu model propagasi yang umum digunakan untuk menghitung *Link Budget*. Hal ini dikarenakan model ini dapat menghitung propagasi secara spesifik di daerah-daerah tertentu seperti perkotaan, pinggiran kota, dan desa. Model propagasi ini digunakan pada frekuensi rentang 150 MHz sampai 1500 MHz (Bengawan Alfaresi et al., 2020). Model ini juga digunakan pada antenna transmitter di rentang ketinggian 10 meter sampai 200 meter dan antenna penerima di rentang 1 meter sampai 10 meter. Berikut persamaan 2.1 sampai 2.4 yang dijelaskan oleh Bengawan Alfaresi yang digunakan untuk menghitung propagasi dari masing-masing area :

Urban :

$$L_u(\text{dB}) = 69.55 + 26.16\log_{10}(F_c) - 13.82\log_{10}(H_{te}) - a(H_{re}) + (44.9 - 6.55\log_{10}(H_{te}))\log_{10}(d) \quad (2.1)$$

$$L_{su}(\text{dB}) = L_u(\text{dB}) - (1.1 \log(F_c) - 0.7)H_r - (1.56\log(F_c) - 0.8) \quad (2.2)$$

Rural area:

$$L_r(\text{dB}) = L_u - 4,78 (\log_{10} F_c)^2 + 18,33 \log_{10} f_c - 40,9 \quad (2.3)$$

$$a(\text{hre})[\text{dB}] = (3,2(\log_{10} (11,75 \text{ hre}))^2 - 4,97 \text{ untuk } f_c \geq 400 \text{ Mhz} \quad (2.4)$$

Dengan keterangan :

F_c : Sinyal Transmitter

L_{su} : Loss Suburban

L_u : Loss Urban

2.1.6 Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)

Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) merupakan nilai total daya yang dipancarkan oleh antena dalam arah tertentu. *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)* memberikan cara standar untuk membandingkan berbagai sistem transmisi, baik untuk jaringan sederhana maupun komunikasi satelit yang kompleks. Berikut merupakan parameter-parameter yang dipertimbangkan saat penghitungan nilai *EIRP* :

$$EIRP(\text{dBm}) = P_{tx}(\text{dBm}) + G_{tx}(\text{dBi}) - L_s(\text{dB}) \quad (2.5)$$

Dengan keterangan sebagai berikut :

a) P_{tx} (Daya Transmitter)

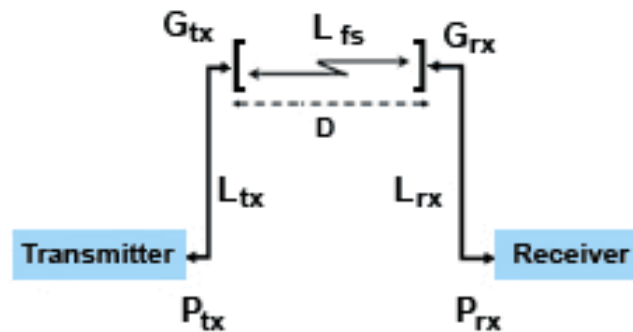
Daya Transmitter merupakan daya keluaran dari pemancar untuk mendukung transmisi sinyal, biasanya diukur dalam *decibel-milliwatts (dBm)*.

b) G_{tx} (Gain Antenna)

Gain antenna merupakan ukuran seberapa efektif sebuah antena memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik dibandingkan dengan antena referensi yang ideal, biasanya antena isotropik. Gain antena diukur dalam satuan *decibel isotropic (dBi)*, yang menunjukkan peningkatan daya dalam arah tertentu dibandingkan dengan antena yang memancarkan daya secara merata ke semua arah.

c) L_s / Loss System (Kerugian Kabel / Cable Loss)

Merupakan kerugian atau hilangnya daya yang terjadi saat sinyal bergerak melalui kabel, konektor, dan komponen lainnya, diukur dalam dB.



Gambar 2. 2 Konsep *Link Budget*

Sumber : Miguel Macia, 2023

Link Budget adalah perhitungan yang dilakukan untuk memperkirakan anggaran daya yang perlu diperhitungkan untuk memastikan bahwa level penerima lebih besar sama dengan level daya. Perhitungannya meliputi kehilangan yang terjadi pada kabel atau serat optic, serta komponen lain dalam jalur transmisi dan penerimaan. Selain itu, juga memperhitungkan penguatan dari antena dan amplifier, serta kehilangan yang terjadi saat sinyal bergerak melalui udara atau medium lainnya (everything RF).

Berdasarkan gambar 3, rumus perhitungan P_{rx} (daya yang diterima oleh antenna penerima) adalah sebagai berikut:

$$Pr = EIRP - Pathloss + Grx - Lrx \quad (2.6)$$

Dengan keterangan sebagai berikut :

a) P_r = Daya pada antenna Penerima

Merupakan daya total antena pemancar yang dapat diterima oleh antena penerima setelah melewati medium rambat dan menerima kerugian-kerugian daya yang disebabkan oleh kabel, udara, dan lain-lain.

b) EIRP

Merupakan daya total yang dapat dipancarkan oleh antena pemancar yang dipengaruhi oleh *Gain antenna* pemancar, loss system pada antena pemancar, juga daya awal pancar.

c) G_{rx} (Gain receive antenna)

Merupakan level penguat daya pada antena penerima yang berfungsi untuk memperbesar nilai daya yang diterima.

d) L_{rx}

Merupakan Loss yang terjadi pada system penerima, kerugian ini bisa disebabkan oleh kabel dan konektor.

2.1.7 Rx Sensitivity

Rx Sensitivity / Noise merupakan sensitivitas dari antena penerima (Rx) dalam hal menangkap sinyal WiFi dari antena pemancar (Tx), semakin besar gangguan pada jaringan wireless baik itu karena interferensi, difraksi, refleksi, dan absorpsi akan membuat nilai *Rx Sensitivity* semakin besar. *Rx Sensitivity* yang semakin besar akan berpengaruh pada kualitas sinyal yang didapat (Wang et al., 2020)

Rx Sensitivity ini berfungsi untuk mengetahui apakah sinyal yang dikirim dari antena pemancar dapat diterima dengan baik oleh antena penerima. Semakin besar *Rx Sensitivity*, maka kemungkinan daya dapat diterima oleh antena juga akan semakin besar. Begitu juga sebaliknya, jika semakin kecil *Rx Sensitivity minimum* pada antena penerima, maka akan

semakin kecil pula kemungkinan daya dapat diterima oleh antenna penerima. Hal ini dapat diketahui dengan perbandingan sebagai berikut :

Jika ***Level Daya > Rx Sensitivity***, maka daya dapat ditransmisikan dan diterima dengan baik oleh antenna penerima

Jika ***Level Daya < Rx Sensitivity***, maka daya yang dipancarkan oleh antenna pemancar tidak dapat diterima dengan baik oleh antenna penerima.

2.1.8 Area Coverage Dalam Sistem Komunikasi

Area Coverage dalam konteks komunikasi nirkabel merupakan area fisik di mana sinyal dari pemancar dapat mencapai perangkat penerima dengan kualitas yang dapat diterima. Jangkauan ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kekuatan sinyal, frekuensi yang digunakan, dan kondisi lingkungan seperti hambatan fisik.

Area Coverage juga banyak diaplikasikan dalam sistem komunikasi, karena memegang peran penting dalam efektivitas pengiriman data komunikasi, beberapa aplikasi *Area Coverage* dalam sistem komunikasi merupakan sebagai berikut :

- **Telekomunikasi Seluler**

Dalam jaringan seluler, *Area Coverage* menentukan jumlah pengguna yang dapat terhubung ke jaringan pada waktu yang sama dan kualitas layanan yang mereka terima (Mishra & Tiwari, 2020).

- **Internet of Things (IoT)**

Dalam aplikasi IoT, *Area Coverage* penting untuk memastikan bahwa semua perangkat dapat terhubung dan berfungsi dengan baik dalam jaringan yang ada.

- **Sistem Peringatan Dini**

Dalam sistem peringatan dini, *Area Coverage* memastikan bahwa sinyal dapat menjangkau semua daerah yang berisiko, sehingga informasi dapat disampaikan dengan cepat kepada Masyarakat.

2.1.9 Sensor Suhu DHT 22



Gambar 2. 3 Sensor Suhu DHT22

Sumber : arduitech.com, 2019

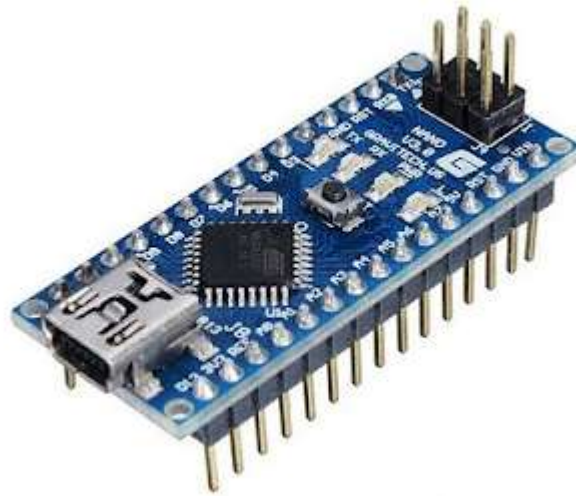
Sensor DHT 22 merupakan sensor yang dapat mendeteksi suhu dan kelembaban pada suatu area, sensor ini merupakan hasil *upgrade* dari sensor DHT11, dimana mempunyai spesifikasi dan keunggulan yang lebih dari pendahulunya yakni DHT11 (ardutech.com, 2019). Berikut merupakan spesifikasi lengkap dari sensor ini :

- Tegangan input : 3,3 – 6 VDC
- Sistem komunikasi : Serial (single – Wire Two way)
- Range suhu : -40°C – 80°C
- Range kelembaban : 0% – 100% RH
- Akurasi : $\pm 2^{\circ}\text{C}$ (temperature) $\pm 5\%$ RH (humidity)

Kemudian beriku merupakan pin yang dipakai oleh sensor DHT22 :

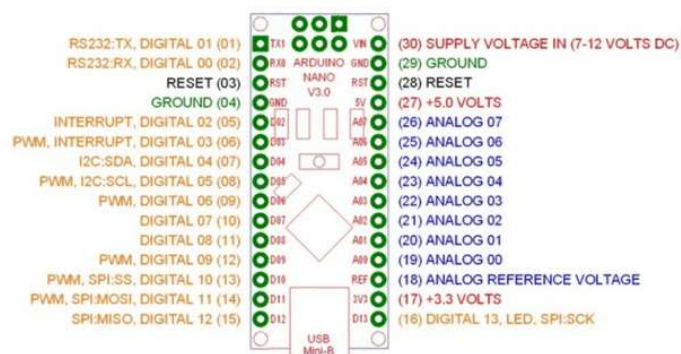
- VCC(+) : tegangan input (5V)
- GND(-) : Ground
- Data : Data output serial

2.1.10 Arduino nano V3



Gambar 2.6 : Arduino nano V3
Sumber : Arduino.Biz.Id, 2023

Board Arduino nano V3 adalah sebuah Board Arduino yang menggunakan ic Mikrokontroler ATmega 328. Board ini berukuran kecil yang di dalamnya sudah memuat IC microcontroller dan pheriperall yang dibutuhkan didalamnya (Arduino.Biz.Id, 2023). Sehingga membuatnya layak untuk menjadi otak dari sistem telemetri *Long Range (LoRa)* yang akan kami buat. Berikut merupakan Pin Out dari Arduino nano V3 :



Gambar 2.9 : Pin Out Arduino nano V3
Sumber : Arduino.Biz.Id, 2023

2.1.11 Sensor Tekanan BMP180

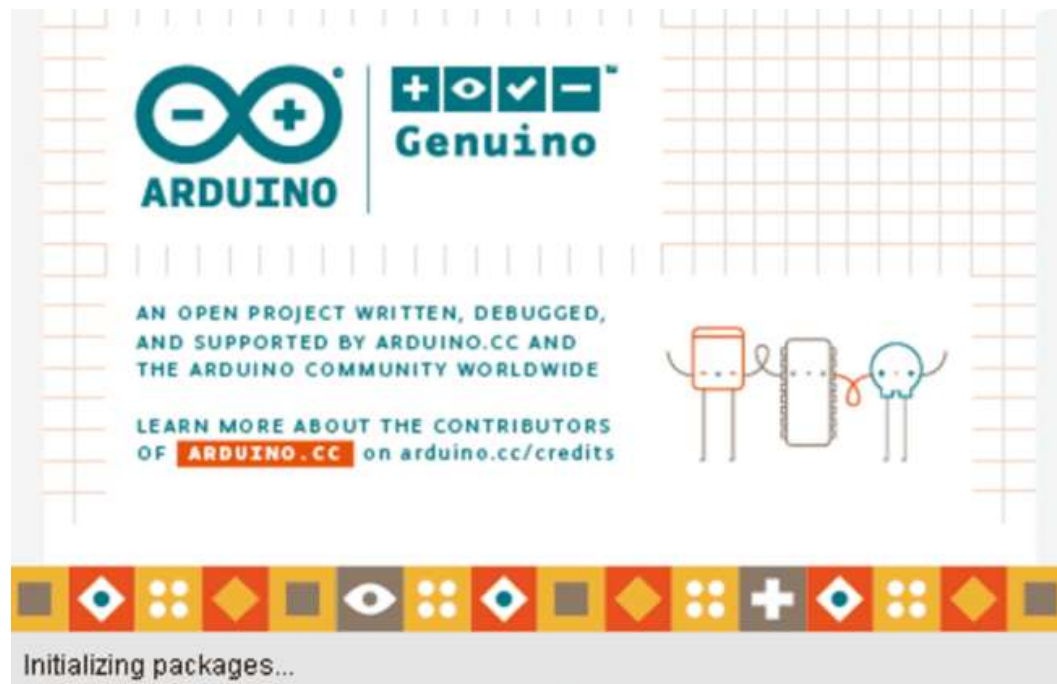


Gambar 2. 4 *Sensor tekanan barometrik BMP180*

Sumber : Fitroh Amaluddin, 2019

BMP180 adalah sensor tekanan barometrik (digital barometric pressure sensor) dapat diaplikasikan pada berbagai perangkat bergerak seperti smart phone, komputer tablet, dan peralatan olah raga portabel. Sensor ini bekerja dengan menggunakan tegangan 3.3 volt, sensor ini dapat berkomunikasi dengan cara menghubungkan antara mikro dengan sensor melalui jalur komunikasi serial yaitu SCL (Clock) dan SDA (Data). Berikut adalah contoh gambar sensor tekanan barometrik BMP180. Sensor INA219 merupakan sensor yang berfungsi untuk mengukur 2 parameter sekaligus yaitu tegangan (volt) dan arus (ampere). Tegangan yang dapat diukur yaitu sampai 26v sedangkan untuk arusnya sampai 3,2 A. Untuk komunikasinya sensor ini menggunakan I2C yaitu SDA dan SCL. Tampilan sensor INA (Fitroh Amaluddin, 2019).

2.1.12 Software Arduino IDE



Gambar 2. 5 Software Arduino IDE

Sumber : Algoblog.com, N.D.

Arduino IDE adalah perangkat lunak untuk membuat sketsa pemrograman. Dengan kata lain, Arduino IDE adalah media untuk pemrograman pada papan yang akan Anda program. IDE Arduino ini membantu Anda mengedit, membuat, mengunggah, dan mengkodekan program tertentu ke papan tertentu. Arduino IDE didasarkan pada bahasa pemrograman JAVA dan memiliki pustaka C/C++ (Wiring) untuk memfasilitasi operasi input dan output (erintafifah, 2021).

2.1.13 Baterai Li-Ion 18650



Gambar 2. 6 Baterai Li-Ion 18650

Sumber : Algoblog.com, N.D.

Baterai lithium 18650 adalah jenis baterai yang umum dan umumnya digunakan dalam berbagai aplikasi elektronik, termasuk perangkat seluler, laptop, senter, vaporizer, perangkat bertenaga surya, dan perangkat elektronik portabel. Nama "18650" mengacu pada ukuran baterai ini. Dimensinya silinder, dengan diameter sekitar 18 mm dan panjang sekitar 65 mm (lectro.asia, 2023).

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Tabel 2. 1 Hasil Penelitian Terdahulu

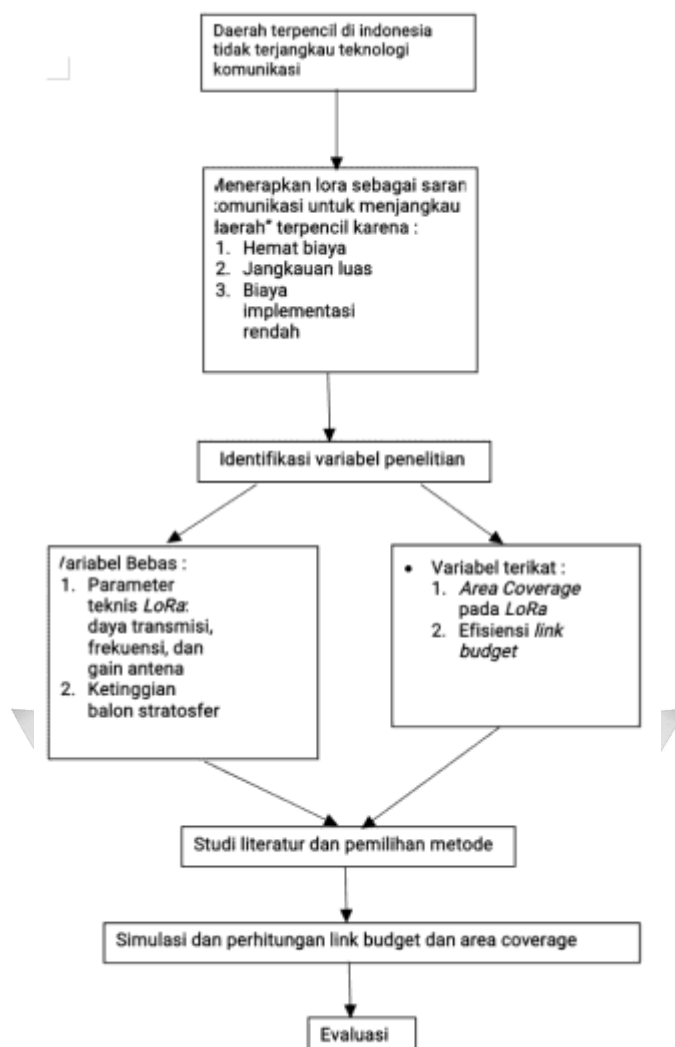
No.	Penulis, Tanggal	Judul	Deskripsi	Metode
1	Wetchaphat Pa-in et al., 1 Juli 2021	Calculation of <i>Link Budget</i> from LoRa ground sensor to IoTs satellite	Jurnal ini membahas teknologi LoRa untuk komunikasi IoT dan menghitung <i>Link Budget</i> untuk komunikasi antara sensor LoRa dan satelit, menunjukkan jarak komunikasi hingga 2302 km yang memungkinkan.	Menggunakan prinsip geometri, perhitungan sensitivitas penerima, dan Free Space Path Loss (FSPL).
2	Ratih Hikmah Puspita et al., 2021	Perhitungan <i>Link Budget</i> pada Komunikasi GSM di Daerah Urban Cluster	Jurnal ini membahas pentingnya perhitungan <i>Link Budget</i> dalam perencanaan jaringan	Menggunakan model Okumura-Hata untuk menghitung pathloss dan Two Ray Model untuk

		Central Business District (CBD), Residences, dan Perkantoran	komunikasi wireless, khususnya untuk komunikasi GSM di daerah urban. Software visualisasi dibuat untuk menghitung pathloss dan coverage area berdasarkan data drive test.	menentukan coverage area. Data diperoleh melalui metode drive test.
3	Juan Misael Gongora et al., 31 Januari 2022	<i>Link Budget Analysis for LEO Satellites Based on the Statistics of the Elevation Angle</i>	Jurnal ini membahas metodologi baru untuk mengevaluasi <i>Link Budget</i> satelit LEO dengan mempertimbangkan variasi sudut elevasi. Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki perhitungan daya yang diterima dari satelit dengan menggunakan statistik jangka panjang dari sudut elevasi.	Karakterisasi sudut elevasi sebagai variabel acak. Simulasi untuk mendapatkan distribusi sudut elevasi. Penggunaan model distribusi gamma untuk analisis statistik daya yang diterima.

4	I Ketut Agung Enriko et al., 31 Maret 2023	Perencanaan Jaringan LoRaWAN Untuk Smart Meter di Kabupaten Gresik	Penelitian tentang perancangan jaringan LoRaWAN untuk smart meter di Gresik, fokus pada kebutuhan listrik dan pemantauan energi.	Simulasi menggunakan software Atoll versi 3.40, analisis kekuatan dan kualitas sinyal berdasarkan berbagai parameter.
5	Petrus Kerowe Goran et al., Agustus 2024	Simulasi Perancangan Jaringan Komunikasi Long Range (LoRa) Untuk Mendukung Desa Wisata Melung	Penelitian ini melakukan simulasi perancangan jaringan LoRa untuk mendukung pengelolaan dan pengembangan Desa Wisata Melung, dengan fokus pada lokasi Wisata Pagubugan.	Menggunakan simulasi dengan software Atoll untuk menentukan cakupan sinyal, serta analisis parameter RSRP dan SINR untuk menilai kinerja jaringan.

Dari lima penelitian yang ditampilkan pada tabel 2.1 diatas, hanya membahas satu metode perhitungan matematis *Link Budget* seperti metode *Free Space Pathloss* atau metode Okumura Hatta pada satu kondisi lingkungan saja tanpa adanya rancang bangun perangkat keras. Dalam penelitian ini, kami akan melakukan rancang bangun perangkat keras dan pembuatan simulasi pengiriman data menggunakan *Long Range (LoRa)* pada kondisi lingkungan urban, suburban, dan rural yang kemudian kedua data yang didapat akan dibandingkan. Melalui dua jenis data tersebut akan dilakukan analisis dan evaluasi.

2.2 Kerangka berpikir



Gambar 2. 7 Kerangka Berpikir

Sumber : Diolah oleh peneliti

Indonesia sebagai negara kepulauan, memiliki banyak daerah terpencil yang hingga saat ini belum terjangkau oleh infrastruktur komunikasi modern. Kondisi geografis yang sulit, keterbatasan sumber daya, serta biaya implementasi yang tinggi menjadi tantangan utama dalam menyediakan akses komunikasi di wilayah tersebut. Ketiadaan teknologi komunikasi ini menyebabkan masyarakat di daerah terpencil kesulitan dalam mengakses informasi, layanan publik, dan komunikasi jarak jauh.

Solusi yang diusulkan dalam permasalahan ini adalah menggunakan teknologi *Long Range (LoRa)*, karena memiliki keunggulan sebagai berikut:

a) Hemat biaya

LoRa memanfaatkan teknologi modulasi yang sederhana sehingga tidak membutuhkan perangkat mahal untuk operasionalnya.

b) Jangkauan luas

Teknologi ini mampu menjangkau area yang sangat luas, bahkan pada kondisi medan yang menantang.

c) Biaya implementasi rendah

Dibandingkan dengan infrastruktur konvensional seperti menara BTS, LoRa jauh lebih mudah dan murah untuk diterapkan. Dalam penelitian ini, LoRa akan ditaruh pada ketinggian untuk merepresentasikan penggunaannya dalam balon stratosfer