

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor peternakan menjadi bagian integral dalam pembangunan ekonomi nasional, terutama dalam mendukung ketahanan pangan dan peningkatan kesejahteraan masyarakat. Menurut Hartati et al. (2024), subsektor peternakan memberikan kontribusi yang signifikan terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia, yang mencapai Rp178,1 triliun pada tahun 2022 atas dasar harga konstan, meningkat 6,24% dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Selain itu, realisasi investasi dalam negeri (PMDN) di subsektor ini juga meningkat sebesar 82,74%, mencapai Rp3,9 triliun. Data menunjukkan bahwa peternakan tidak hanya penting dalam menyediakan sumber protein hewani, tetapi juga mampu memberikan nilai strategis dalam menciptakan lapangan kerja dan mendorong pertumbuhan ekonomi di wilayah tersebut. Hal ini sejalan dengan pernyataan Herrero et al. (2013) yang menegaskan bahwa sektor peternakan memiliki peran signifikan dalam perekonomian negara berkembang, tidak hanya sebagai penyedia pendapatan dan lapangan kerja, tetapi juga sebagai aset penting dan jaring pengaman bagi masyarakat pedesaan, khususnya bagi kelompok miskin dan perempuan.

Namun, di tengah peranan tersebut, keamanan hewan ternak menjadi masalah penting yang belum sepenuhnya teratasi, terutama di daerah pedesaan dan terpencil. Di zaman sekarang, angka kehilangan hewan ternak terus meningkat sehingga menimbulkan kerugian finansial bagi para peternak. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2020), ribuan kasus kehilangan ternak terjadi setiap tahunnya di berbagai wilayah Indonesia. Hal ini diperkuat oleh laporan dari Kepolisian Republik Indonesia (Polri, 2022), yang menyatakan bahwa tren pencurian ternak telah meningkat sekitar 15% dalam beberapa tahun terakhir. Penelitian oleh Hermawan (2023) juga menegaskan bahwa keterbatasan pengawasan di lapangan sering kali menyebabkan keterlambatan dalam menangani kondisi darurat serta kehilangan hewan secara permanen. Secara global, permasalahan serupa juga terjadi di negara lain, seperti yang dilaporkan oleh Ojo et al. (2021), bahwa sistem pemantauan ternak tradisional belum mampu memberikan informasi lokasi secara real time, sehingga risiko kehilangan ternak di daerah pedesaan tetap tinggi. Oleh karena itu, diperlukan sistem pelacakan hewan yang andal dan efisien untuk memberikan perlindungan serta mengurangi risiko kerugian bagi peternak.

Seiring dengan perkembangan teknologi digital, sistem peternakan juga mulai mengadopsi pendekatan modern melalui pemanfaatan perangkat berbasis komunikasi nirkabel. Salah satu inovasi yang ditawarkan adalah teknologi LoRa (Long Range). LoRa merupakan teknologi komunikasi nirkabel berbasis *Low Power Wide Area Network* (LPWAN) yang dikenal memiliki jangkauan transmisi luas, konsumsi daya rendah, serta kemampuan transmisi data yang stabil dan aman.

Teknologi ini memungkinkan peternak untuk memantau posisi dan pergerakan hewan secara terus-menerus melalui jaringan LoRa, sehingga respons terhadap potensi kehilangan atau pencurian hewan dapat dilakukan lebih cepat dan tepat. Menurut Augustin et al. (2016), LoRa dirancang untuk menyediakan konektivitas jarak jauh dengan konsumsi daya yang sangat rendah, menjadikannya teknologi ideal untuk sistem Internet of Things (IoT) di bidang pertanian dan peternakan.

Dalam sistem pelacakan hewan berbasis LoRa, antenna memainkan peran penting karena berfungsi sebagai penghubung antara perangkat pelacak dan jaringan komunikasi. Antena mikrostrip merupakan jenis antena yang banyak digunakan untuk aplikasi ini karena bentuknya yang kecil, ringan, mudah diproduksi, serta dapat diintegrasikan ke berbagai perangkat elektronik lainnya. Selain itu, antena ini memiliki kemampuan untuk bekerja pada frekuensi tertentu dengan efisiensi radiasi yang baik, yang sangat mendukung kualitas transmisi sinyal dalam sistem LoRa (Balanis, 2016; Stutzman & Thiele, 1998). Penelitian oleh Kurniawan et al. (2021) juga menambahkan bahwa antena mikrostrip sangat cocok untuk perangkat pelacak portabel yang dipasang pada tubuh hewan karena tidak mengganggu kenyamanan hewan itu sendiri. Kajian yang dilakukan oleh Yahya et al. (2024) juga menunjukkan bahwa antena mikrostrip berbasis LoRa memiliki efisiensi radiasi yang baik, struktur yang kompak, serta kemudahan integrasi pada perangkat IoT. Desain ini dinilai ideal untuk aplikasi pelacakan jarak jauh yang memerlukan stabilitas sinyal dan konsumsi daya rendah.

Meskipun antena mikrostrip menawarkan banyak keunggulan, dalam proses perancangannya terdapat beberapa tantangan yang perlu diperhatikan. Tantangan tersebut meliputi penyesuaian frekuensi kerja agar sesuai dengan spektrum LoRa (misalnya 915 MHz), pengendalian arah radiasi untuk memperluas jangkauan sinyal, serta optimalisasi *gain* dan polarisasi untuk memastikan kestabilan sinyal meskipun posisi perangkat berubah. Pemilihan material substrat yang tepat juga menjadi faktor krusial karena memengaruhi konstanta dielektrik, efisiensi radiasi, dan kenyamanan hewan (Darmawan & Siregar, 2020). Selain itu, kondisi lingkungan seperti suhu dan gangguan elektromagnetik juga dapat memengaruhi performa antena.

Dalam konteks sistem pelacakan hewan berbasis LoRa, kebutuhan akan antena mikrostrip yang dirancang secara khusus menjadi semakin penting. Antena yang optimal akan meningkatkan keandalan sistem komunikasi, memperluas jangkauan sinyal, serta memberikan data lokasi yang lebih akurat kepada peternak. Hal ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pengawasan terhadap hewan ternak, tetapi juga memberikan rasa aman dan kepercayaan terhadap sistem yang digunakan.

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis tertarik untuk mengusulkan penelitian dengan judul "Rancang Bangun Antena Mikrostrip sebagai Komponen Sistem Pelacak Hewan Berbasis LoRa" agar dapat menghasilkan desain antena yang kompatibel dengan modul LoRa serta memberikan solusi inovatif dalam meningkatkan keamanan dan pengelolaan hewan ternak.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang antena mikrostrip yang efisien dan optimal untuk sistem pelacak hewan berbasis LoRa?
2. Apa faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja antena mikrostrip dalam sistem pelacakan hewan berbasis LoRa?
3. Apakah implementasi antena mikrostrip pada sistem pelacakan berbasis LoRa dapat meningkatkan akurasi dan jangkauan pelacakan hewan ternak?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang antena mikrostrip yang optimal untuk sistem pelacakan hewan berbasis LoRa dengan mempertimbangkan parameter desain yang relevan, seperti frekuensi operasi, ukuran, dan material yang digunakan.
2. Mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja antena mikrostrip dalam sistem pelacak hewan berbasis LoRa.
3. Mengevaluasi pengaruh implementasi antena mikrostrip terhadap akurasi dan jangkauan sistem pelacakan hewan berbasis LoRa.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan analisis antena mikrostrip sebagai komponen utama dalam sistem pelacak hewan berbasis LoRa.
2. Frekuensi operasi antena dibatasi pada standar yang umum digunakan dalam teknologi LoRa.
3. Penelitian ini mencakup pengembangan perangkat keras pelacak hewan, namun tidak membahas secara rinci pengembangan aplikasi monitoring berbasis cloud.
4. Sistem pelacakan yang dikembangkan hanya mencakup pelacakan posisi hewan secara real-time dan pengiriman data lokasi menggunakan modul LoRa.
5. Evaluasi kinerja antena dilakukan berdasarkan hasil simulasi perangkat lunak dan perbandingan terhadap hasil pengukuran menggunakan VNA.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat bagi Penulis

Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan dan keterampilan penulis dalam bidang perancangan antena mikrostrip dan teknologi komunikasi nirkabel berbasis LoRa. Selain itu, penelitian ini memberikan pengalaman praktis dalam menggunakan perangkat lunak simulasi CST Studio Suite 2019 serta alat ukur *Vector Network Analyzer* (VNA) untuk validasi performa antena, sehingga dapat memperdalam pemahaman penulis terhadap aspek teori dan aplikasinya dalam sistem pelacakan hewan ternak.

2. Manfaat bagi Masyarakat

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan solusi yang efektif dalam sistem pelacakan hewan ternak yang berada di daerah pedesaan dan keterbatasan infrastruktur komunikasi. Dengan penerapan antena mikrostrip

yang dirancang untuk sistem pelacakan berbasis LoRa, diharapkan dapat meningkatkan akurasi pelacakan serta mempermudah pengelolaan ternak sehingga berdampak positif pada keamanan ternak.

3. Manfaat bagi Akademisi

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah terhadap akademisi, khususnya dalam pengembangan lab riset antena dan propagasi. Penelitian yang dihasilkan dapat menjadi referensi untuk pengembangan penelitian lanjutan.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi gambaran awal dari penyusunan tugas akhir, meliputi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori dasar yang berkaitan dengan antena mikrostrip, karakteristik sistem komunikasi LoRa, serta konsep pelacakan hewan berbasis teknologi nirkabel. Selain itu, disajikan pula kajian terhadap penelitian terdahulu yang relevan sebagai dasar pengembangan penelitian ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menguraikan metode yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian, termasuk tahapan perancangan antena mikrostrip, pemilihan material, simulasi dengan perangkat lunak, proses fabrikasi, serta metode pengujian dan evaluasi performa antena yang dirancang.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil dari perancangan, simulasi, dan fabrikasi antena mikrostrip. Selanjutnya dilakukan pembahasan terhadap performa antena berdasarkan hasil simulasi dan kesesuaiannya dengan standar spesifikasi frekuensi LoRa. Pembahasan juga mencakup keterkaitan antara desain antena dan efektivitas sistem pelacak hewan di lingkungan nyata.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyimpulkan hasil penelitian yang telah dilakukan, serta memberikan saran-saran untuk pengembangan lebih lanjut, baik dalam hal peningkatan desain antena maupun implementasi sistem pelacak hewan berbasis LoRa secara lebih luas.

1.7 Landasan Teori

1.7.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian oleh Ariessaputra et al. (2023), merancang antena mikrostrip patch E-Shape Array untuk Aplikasi Long Range (LoRa) pada Frekuensi 915 MHz. Berdasarkan hasil simulasi, antena tersebut memiliki gain sebesar 9,72 dBi, return loss sebesar -22,425 dB, nilai VSWR 1,164, dan bandwidth sebesar 20,37 MHz.

Antena ini juga menunjukkan pola radiasi yang direksional dengan polarisasi linier dan dapat beroperasi baik dalam kondisi *Line of Sight* (LOS) maupun *Non-Line of Sight* (NLOS). Namun, kelebihan dari penelitian yang penulis lakukan terletak pada fokus penerapannya yang lebih spesifik, yaitu untuk sistem pelacakan ternak berbasis LoRa. Sistem ini tidak hanya memperlukan antena dengan performa tinggi, tetapi juga mampu mempertahankan kestabilan transmisi data di lingkungan peternakan yang dinamis.

Dalam studi yang dilakukan oleh Kirana & Vauzia (2023), memberikan kontribusi dalam pengembangan antena mikrostrip untuk aplikasi LoRa dengan menekankan pada penggunaan material fleksibel (FR9111) dan menganalisis parameter struktural seperti panjang slot (L_s). Hasil penelitian menunjukkan bahwa parameter L_s memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kinerja antena, terutama dalam hal frekuensi resonansi, *return loss*, *VSWR*, dan *bandwidth*. Penelitian ini memiliki kesamaan, yakni fokus pada perancangan antena mikrostrip untuk sistem komunikasi LoRa. Berbeda dengan pendekatan sebelumnya, penelitian kali ini memfokuskan perancangan antena mikrostrip untuk mendukung sistem pelacakan hewan yang membutuhkan keandalan komunikasi dalam kondisi lingkungan terbuka.

Penelitian selanjutnya oleh Panjaitan & Putra (2021), merancang antena mikrostrip array pada frekuensi kerja 915 MHz untuk mendukung aplikasi *Long Range* (LoRa). Hasil pengujian menunjukkan bahwa antena tersebut memiliki gain sebesar 3,860 dBi, pola radiasi bidirectional, dan nilai *return loss* (-33,16 dB) yang sesuai untuk komunikasi jarak jauh. Melalui optimasi dimensi dan penetapan metode array, performa antena dapat ditingkatkan, terutama pada parameter *gain* dan *return loss*. Meskipun demikian, *gain*, terutama pada parameter *gain* dan *return loss*. Meskipun demikian, *gain* yang diperoleh belum memenuhi target minimum sebesar 7 dB, yang dipengaruhi oleh ketebalan dielektrik. Sementara itu, penelitian ini berfokus pada perancangan antena untuk sistem pelacakan hewan berbasis LoRa, yang menuntut stabilitas komunikasi di lingkungan terbuka dan dinamis, sehingga pendekatan yang digunakan lebih diarahkan pada keandalan transmisi di lokasi.

Sementara itu, Mallikarjun et al. (2019), mengembangkan sebuah sistem pelacakan hewan berbasis teknologi LoRa yang mampu mentransfer data sensor GPS dan suhu lingkungan ke server melalui gateway dengan konsumsi daya rendah. Sistem ini terbukti dapat menjangkau hingga 5 km, dan memungkinkan pengguna memantau Lokasi di sekitar hewan melalui aplikasi Android secara real-time. Akan tetapi, yang membedakan dalam penelitian ini terletak pada aspek desain antena mikrostrip sebagai komponen utama sistem yang dirancang untuk meningkatkan jangkauan dan kestabilan sinyal secara spesifik.

Hasil penelitian dari Angriawan & Anugraha (2019), menunjukkan bahwa sistem pelacak lokasi sapi berbasis LoRa mampu mentransmisikan data lokasi dari *node* ke *gateway* pada jarak yang bervariasi dan dipengaruhi oleh kekuatan sinyal (RSSI). Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada jarak 1 km dengan RSSI -98 dBm, hanya terdapat 2 paket yang hilang. Namun pada jarak yang lebih jauh, yakni

2,5 km dengan RSSI -128 dBm, jumlah paket yang hilang meningkat menjadi 19. Hal ini menunjukkan bahwa semakin jauh jarak antara *node* dan *gateway*, maka semakin besar pula kemungkinan terjadinya kehilangan data selama proses transmisi.

1.7.2 Antena

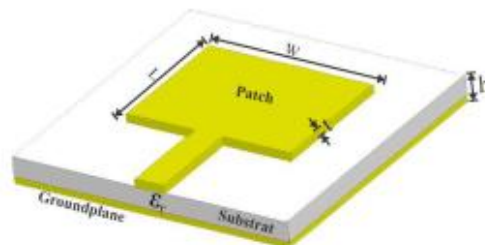
Antena membuat perangkat nirkabel radio menjadi nyata. Sebuah antena pengirim mengambil sinyal dari jalur transmisi, dan dikonversi dalam bentuk gelombang elektromagnetik, dan menyebarkan pada ruangan terbuka. Kemudian pada bagian antena penerima mengumpulkan gelombang elektromagnetik tadi dan diubah kembali menjadi sinyal (Harris, H A. 2022).

Antena sendiri utamanya digunakan sebagai perangkat logam untuk meradiasi atau menerima gelombang radio yang pada dasarnya digunakan untuk transmisi sinyal, antena pemancar digunakan untuk mengirimkan informasi dan untuk menerima sinyal, antena penerima digunakan pada alat penerima akhir untuk menerima sinyal (Li et al., 2018). Untuk sistem komunikasi nirkabel, antena merupakan salah satu komponen penting dan model antena dapat meningkatkan semua sistem performansi.

Antena merupakan salah satu komponen yang mempunyai peranan sangat penting dalam sistem komunikasi. Fungsi antena adalah untuk mengubah gelombang elektromagnetik menjadi listrik atau sebaliknya. Jenis antena bermacam-macam tergantung dari fungsi dan aplikasinya. Salah satu antena yang cocok dipakai untuk aplikasi perangkat kecil adalah antena mikrostrip yang mempunyai sifat *low profile*. Meskipun termasuk dalam antena dengan gain rendah, keberadaannya sangat cocok untuk digunakan pada perangkat-perangkat yang berdimensi kecil. Aplikasi perangkat ini banyak dipakai pada komunikasi seluler hingga satelit nano (Cahyadi & Ardiansyah, 2017).

1.7.3 Antena Mikrostrip

Antena Mikrostrip adalah sebuah antena yang difabrikasi dengan menggunakan teknologi *Printed Circuit Board* (PCB) dan digunakan untuk sinyal frekuensi gelombang mikro (*microwave*). Antena Mikrostrip terdiri atas *conducting strip* sebagai *radiating patch* dan *ground plane* dimana keduanya dipisahkan oleh sebuah bahan *dielectric* (Mutmainnah, et al. 2022). Antena Mikrostrip tunggal umumnya memiliki *gain* dan *directivity* yang rendah. Antena Mikrostrip merupakan antena yang banyak dikembangkan dalam berbagai aplikasi. Salah satunya adalah pada bidang navigasi dengan teknologi satelit atau GPS (*Global Positioning System*) yang bekerja pada frekuensi 1575.42 MHz (L1) (Gilbert, 2007). Antena mikrostrip bekerja pada alokasi frekuensi UHF (300 MHz – 3 GHz) sampai dengan X Band (5,2 GHz – 10,9 GHz) sehingga, antena mikrostrip dapat digunakan untuk antena telepon selular/*wireless* maupun komunikasi satelit. Antena mikrostrip adalah jenis antena dengan banyak keunggulan, sehingga banyak digunakan dalam berbagai komunikasi *wireless*, diantaranya bentuk yang kecil, kompak, dan sederhana (Alam, S. 2015).



Gambar 1 Antena Mikrostrip
(sumber: Ardianto et al. 2019)

Antena mikrostrip bekerja berdasarkan prinsip resonansi. *Patch* bertindak seperti resonator yang mendukung gelombang elektromagnetik pada frekuensi tertentu (frekuensi resonansi). Frekuensi resonansi antena mikrostrip ditentukan oleh dimensi patch, ketebalan substrat, dan konstanta dielektrik substrat (An-Nisa, et al. 2021).

Antena mikrostrip terdiri dari 3 elemen penyusun, yaitu:

1. *Patch*

Patch merupakan bagian antena yang terletak di atas substrat, terbuat dari bahan konduktor serta memiliki berbagai macam bentuk. Bentuk *patch* terdiri dari persegi, lingkaran, persegi Panjang, segitiga, ring, dan bentuk lainnya. Bentuk *patch* berpengaruh pada polarisasi, sedangkan ukuran *patch* berpengaruh pada nilai frekuensi serta ketebalan pada *patch*. Fungsi dari *patch* sendiri ialah untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara (Bisht et al. 2017).

2. Substrat

Substrat berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari catuan menuju daerah dibawah *patch*. Substrat terbuat dari bahan dielektrik. Untuk menghasilkan performa yang baik, umumnya pada substrat dibuat dengan material dielektrik yang tebal dan mempunyai nilai konstanta dielektrik yang rendah. Dengan menggunakan spesifikasi substrat tersebut, akan menghasilkan nilai efisiensi dan radiasi yang lebih baik, serta *bandwidth* yang lebih lebar (D. Zulemei et al. 2017).

3. *Groundplane*

Groundplane merupakan lapisan paling bawah yang ada pada antena mikrostrip. Ukuran yang dimiliki sama seperti substrat. Berfungsi sebagai *reflector* untuk memantulkan radiasi yang dihasilkan dari elemen peradiasi sehingga pola radiasi yang diinginkan dapat tercapai. *Groundplane* biasanya terbuat dari bahan konduktor seperti tembaga atau emas (Susilawati et al. 2018).

Popularitas antena mikrostrip semakin berkembang terutama pada aplikasi mikrostrip yang juga *interoperable* dan dapat diintegrasikan langsung ke dalam rangkaian utama seiring dengan semakin meningkatnya penggunaan antena mikrostrip. Hampir semua perangkat komunikasi nirkabel yang ada tidak memiliki

antena fisik. Hal itu dikarenakan peralatan telekomunikasi menggunakan antena mikrostrip yang dapat langsung diintegrasikan ke dalam MIC (Rahman, D. 2023).

Beberapa kelebihan antena mikrostrip dibandingkan antena konvensional adalah:

1. Ringan, dan dimensi kecil.
2. Harga fabrikasi yang murah, bisa dibuat dalam jumlah banyak.
3. Polarisasi linear dan *circular* mungkin dibuat hanya dengan *feed line* yang sederhana.
4. Bisa dengan mudah diintegrasikan dengan MIC (*MArowave Integrated Circuits*).
5. *Feed line* dan *matching impedance* bisa dibuat secara simultan bersamaan dengan struktur antena.

Namun, antena mikrostrip juga mempunyai kekurangan, yaitu:

1. *Bandwidth* yang sempit.
2. Rendahnya gain yang didapat.
3. Mempunyai kemurnian polarisasi yang rendah.
4. Struktur *feed* yang rumit yang dibutuhkan untuk membuat antena arrays dengan performa tinggi.
5. Munculnya radiasi yang tidak diinginkan pada *feed*

1.7.4 Dimensi Antena

Dimensi antena merupakan sebuah ukuran mikrostrip mulai dari panjang dan lebar *patch*, *groundplane*, substrat serta saluran transmisi untuk diketahui, dalam mengetahui seberapa besar ukuran antena yang ingin dibuat, maka sebelumnya harus mencari tahu terlebih dahulu parameter bahan yang digunakan. seperti tebal dielektrik (h), konstanta dielektrik (ϵ_r), tebal konduktor (t) dan rugi-rugi bahan. Dimensi antena harus disesuaikan, karena apabila panjang antena terlalu pendek maka bandwidth akan menjadi sempit sedangkan apabila terlalu panjang bandwidth akan menjadi lebih lebar tetapi efisiensi radiasi akan menjadi kecil. Dengan mengatur lebar dari antena terutama antena mikrostrip (W) impedansi input juga akan berubah (Iqbal et al., 2023). Adapun persamaan yang dapat digunakan untuk mencari panjang dan lebar antena mikrostrip, yaitu:

1. Lebar *patch*

Rumus mencari lebar *patch* antena mikrostrip

$$w = \frac{c}{2Fr \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad 1$$

2. Panjang *patch*

$$L = L_{eff} - 2\Delta L = \frac{c}{2fr \sqrt{\epsilon_{reff}}} - 2\Delta L \quad 2$$

dimana

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r}{4 \sqrt{\frac{1 + 12h}{a}}} \quad 3$$

$$\Delta L = 0.412h \left| \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} + 0.8 \right)} \right| \quad 4$$

3. Lebar *groundplane* dan substrat

$$Wg = 6h + Wpatch \quad 5$$

4. Panjang *groundplane* dan substrat

$$Lg = 6h + lp + lf \quad 6$$

5. Lebar saluran mikrostrip

$$W = \frac{2h}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right] \quad 7$$

dimana

$$B = \frac{377\pi}{2z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad 8$$

6. Panjang saluran mikrostrip

$$L_f = \frac{1}{4} \lambda_d = \frac{1}{4} \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} = \frac{1}{4} \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{reff}} f} \quad 9$$

7. *Matching* impedansi

Berikut merupakan rumus mencari *matching* impedansi antena mikrostrip

a. Impedansi

$$Z_{0,1} = \sqrt{Z_0 \times Z_1} \quad 10$$

b. Panjang saluran

$$L_t = \frac{1}{4} \lambda_d = \frac{1}{4} \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_{reff}}} = \frac{1}{4} \frac{c}{\sqrt{\epsilon_{reff}} f} \quad 11$$

dimana panjang gelombang udara

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \quad 12$$

c. Lebar Saluran

$$W = \frac{2h}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right) \right] \quad 13$$

dimana

$$B = \frac{60\pi}{z_0\sqrt{\epsilon_r}} \quad 14$$

Keterangan

- h = ketebalan substrat (mm)
- ϵ_r = permitivitas dielektrik substrat
- f = frekuensi kerja/resonansi (MHz)

c	= Kecepatan cahaya di ruang bebas (3×10^8 m/s)
λ_0	= Panjang gelombang di udara (m)
λ_g	= Panjang gelombang pada bahan substrat (m)
W	= lebar saluran transmisi (mm)
Lf	= Panjang saluran transmisi (mm)
Lt	= Panjang saluran <i>impedance matching</i> (mm)
Lg	= Panjang <i>groundplane</i> (mm)
Wg	= lebar <i>groundplane</i> (mm)
L	= panjang <i>patch</i> (mm)

1.7.5 Parameter Antena Mikrostrip

Parameter antena merupakan hal yang perlu diperhatikan untuk mendeskripsikan performansi suatu antena juga dalam proses perancangan dan analisis antena. Adapun parameter-parameter penting yang digunakan dalam mendeskripsikan performansi antena, yaitu:

1.7.5.1 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

VSWR merupakan perbandingan antara tegangan maksimum dan minimum dari suatu gelombang berdiri yang terjadi karena tidakmatchingnya saluran. Secara matematis, VSWR dituliskan sebagai berikut:

$$VSWR = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad 15$$

dimana

$$\Gamma_L = \frac{V_{o-}}{V_{o+}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad 16$$

keterangan:

Γ_L = Kofisien pantul

ZL = Impedansi beban

Zo = Impedansi karakteristik

VSWR bernilai $1 \leq VSWR \leq \infty$, sehingga semakin besar nilai VSWR, maka semakin buruk pula performansi antena. Hal ini disebabkan karena semakin banyaknya gelombang yang dipantulkan oleh antena seiring dengan meningkatnya nilai VSWR.

1.7.5.2 Return Loss

Return Loss merupakan parameter yang digunakan untuk mengetahui jumlah daya yang hilang pada beban dan tidak dikembalikan sebagai pantulan. *Return loss* terjadi akibat adanya percampuran antara gelombang informasi dan gelombang pantulannya. Antena yang memiliki performa yang baik akan memiliki nilai *return loss* di bawah -10 dB, dimana 90% sinyal dapat diserap dan 10% sisanya dipantulkan Kembali. Untuk mengetahui nilai *return loss* dapat dihitung menggunakan persamaan matematis berikut:

$$RL = 20 \log \Gamma = 20 \log \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad 17$$

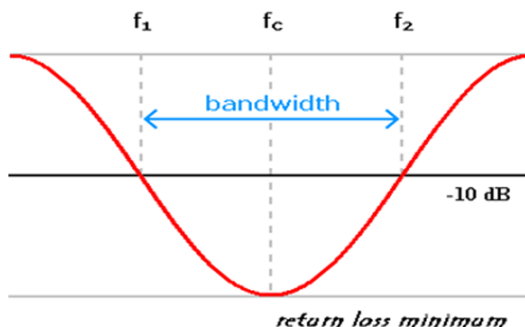
dimana

Γ = Kofisien pantul

Jadi, pada saat keadaan *matching* ($\Gamma = 0$) RL akan bernilai ∞ yang berarti tidak ada sinyal yang di pantulkan kembali. Sedangkan jika saat keadaan ($\Gamma = 1$), maka RL akan bernilai 0 yang berarti semua sinyal dipantulkan Kembali.

1.7.5.3 Bandwidth

Bandwidth dari antenna didefinisikan sebagai "rentang frekuensi kinerja antenna, dengan beberapa karakteristik, sesuai dengan yang ditentukan oleh *standart*" (Balanis, 2005). *Bandwidth* dapat dianggap sebagai rentang frekuensi, dari frekuensi terendah sampai frekuensi tertinggi antenna bisa bekerja, di mana karakteristik antenna (seperti input impedansi, *beamwidth*, polarisasi, gain) berada dalam nilai yang dapat diterima oleh orang-orang di pusat frekuensi. Untuk antenna *broadband*, *bandwidth* biasanya dinyatakan sebagai rasio frekuensi paling atas (*upper*) dengan frekuensi bawah (*lower*). Sedangkan untuk *narrowband* antenna, maka lebar bidang antenna dinyatakan sebagai persentase dari selisih frekuensi di atas frekuensi tengah dari lebar bidang (Balanis, 2005).



Gambar 2 Range frekuensi yang menjadi bandwidth
(sumber: Permatasari, 2015)

Bandwidth dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$B = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\% \quad 18$$

dimana

$$f_c = \frac{f_2 + f_1}{2} \quad 19$$

keterangan:

B = Bandwidth (%)

f₂ = Frekuensi tertinggi (MHz)

f₁ = Frekuensi terendah (MHz)

f_c = Frekuensi tengah (MHz)

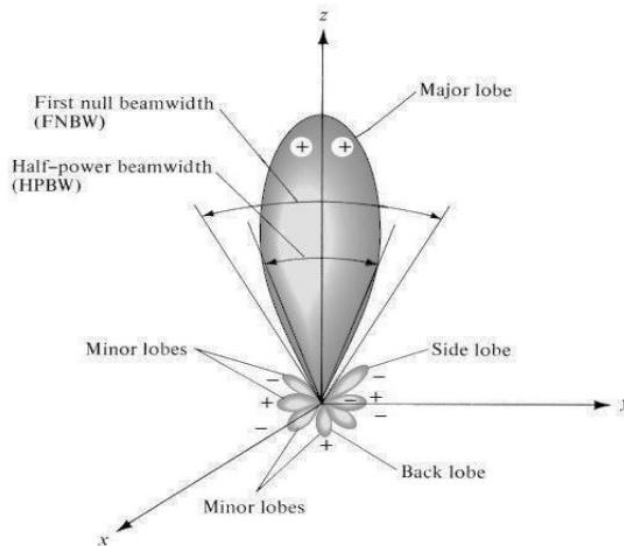
Bandwidth antenna biasanya ditulis dalam bentuk *persentase bandwidth* karena bersifat lebih konstan terhadap frekuensi. Salah satu jenis *bandwidth* adalah *impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi dimana *patch* antenna berada pada keadaan *matching* dengan saluran pencatu. Hal ini terjadi karena impedansi dari

elemen antenna bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *return loss* dan *VSWR*. Nilai *return loss* dan *VSWR* yang masih dianggap baik adalah kurang dari -9,54 dan 2, secara berurutan.

1.7.5.4 Pola Radiasi

Pola radiasi antenna didefinisikan sebagai suatu fungsi matematis atau referensi grafis dari sifat pola radiasi antenna sebagai fungsi koordinat ruang. Dalam banyak kasus pola radiasi ditentukan oleh *far-field region* dan direpresentasikan sebagai koordinat ruang (Balanis, 2005).

Bagian-bagian dari pola radiasi disebut dengan "*lobe*" dan diklasifikasikan sebagai "*main lobe*, *minor lobe*, *back lobe*, dan *side lobe*" (Balanis, 2005). Pada bagian *main lobe* dapat menentukan parameter-parameter *Half Power Beamwidth* (HPBW) dan *First Null Beamwidth* (FNBW). Perhatikan gambar berikut.



Gambar 3 Pola Radiasi Antena
(sumber: Balanis, 2005).

Half Power Beamwidth (HPBW) merupakan sudut yang dibentuk oleh dua arah dimana intensitas radiasi yang terbaca setengah kali lebih kecil dari pada intensitas radiasi maksimum atau -3 dB dari intensitas radiasi maksimum pada suatu bidang pengamatan contohnya bidang *azimuth* atau elevasi. Sedangkan *First Null Beamwidth* (FNBW) merupakan sudut pengamatan dimana intensitas radiasi yang terbaca nol satuan untuk pertama kalinya (Permatasari, 2015).

Adapun bagian-bagian dari radiasi antenna yaitu (Balanis, 2005):

1. *Main lobe* atau *major lobe* atau *main beam* merupakan radiasi *lobe* yang memiliki arah radiasi maksimal.
2. *Minor lobe* adalah sebutan untuk semua *lobe* kecuali *main lobe*.
3. *Side lobe* merupakan radiasi yang terjadi di arah manapun selain dari arah *lobe* yang diinginkan.

4. *Back lobe* merupakan radiasi *lobe* yang sumbuinya membuat sudut 180° dari *main lobe*, biasanya berkenaan dengan *minor lobe* yang menempati arah yang berlawanan dengan *main lobe*.

Pola radiasi terbagi menjadi 3 yaitu:

1. *Isotropik*

Suatu antena yang secara hipotesa bersifat *lossless* dan mempunyai radiasi yang sama ke segala arah (Balanis, 2005). Antena ideal yang secara fisik tidak mungkin direalisasikan ini, tidak jarang digunakan untuk memperlihatkan pola radiasi antena yang sesungguhnya.

2. *Directional*

Antena yang mempunyai radiasi untuk menerima atau memancarkan gelombang elektromagnetik lebih efektif ke beberapa arah tapi tidak ke arah lain. Biasanya digunakan ke antena yang mempunyai direktivitas yang lebih besar dari pada antena dipol setengah gelombang.

3. *Omnidirectional*

Penggabungan pola dari dua bidang saling *orthogonal* dimana tidak berarah di bidang *azimuth* dan pola terarah di bidang elevasi (Balanis, 2005). Pola radiasi *omnidirectional* merupakan pola khusus dari pola *directional*.

1.7.6 Long Range (LoRa)

LoRa (*Long Range*) merupakan modul telekomunikasi *wireless* berdaya rendah. Karakteristik lain dari LoRa adalah daya pancar yang dapat mencakup area relatif luas, terutama di lingkungan perkotaan yang kompleks. Berbagai fitur LoRa membuatnya ideal untuk pekerjaan berskala besar dan komersialisasi dengan biaya minimum. Modul LoRa dipatenkan dan diproduksi tunggal oleh *Semtech Corporation*. Meskipun secara produksi tertutup, namun pengembangan dan implementasinya berstandar terbuka dan standarisasi protokolnya dikeluarkan oleh asosiasi LoRa Alliance (Setyawan & Saleh, 2022).



Gambar 4 Logo Long Range
(sumber: devopedia-org)

CSS telah digunakan dalam komunikasi jarak jauh oleh militer dan badan antariksa karena kemampuannya untuk menahan gangguan. LoRa beroperasi pada pita frekuensi *Industrial, Scientific, and Medical (ISM)* tidak berlisensi seperti pada frekuensi 2,4 GHz, 868MHz, 915MHz, tergantung pada regulasi masing-masing wilayah. Sebelum munculnya teknologi LoRa, ada beberapa teknologi komunikasi nirkabel yang sering digunakan, antara lain adalah Bluetooth, RFID,

Wifi, dan ZigBee. Tabel 1 menunjukkan perbandingan dari beberapa teknologi komunikasi nirkabel yang digunakan secara komersial (Supriyogo et al., 2022).

Tabel 1 Perbandingan Parameter Teknologi Komunikasi

No	Nama	Jarak	Max. Rate	Konsumsi Daya
1	Bluetooth	10 m	2 MB/s	Low
2	Wifi	0 – 60 m	54 MB/s	High
3	RFID	0 – 100 m	10 KB/s	Low
4	Zigbee	0 – 1500 m	250 KB/s	Low
5	LoRa	0 – 15 km	600 KB/s	Low

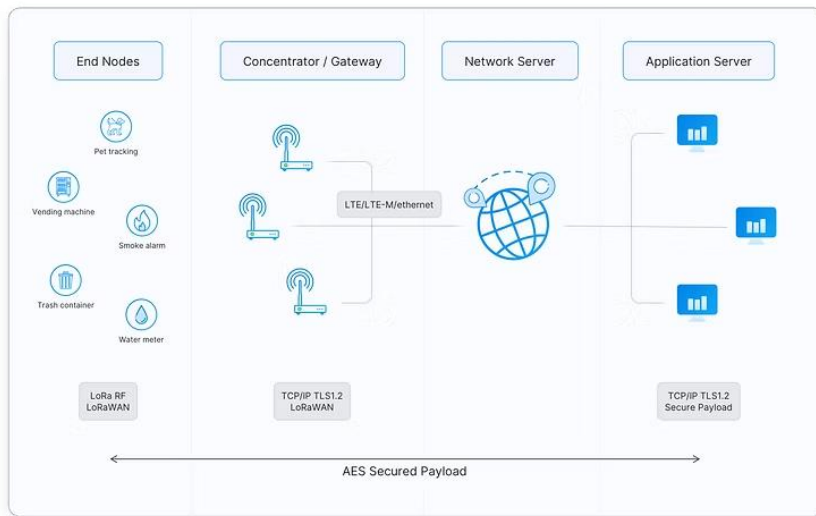
Dapat dilihat bahwa teknologi komunikasi menggunakan LoRa memiliki jarak jangkauan yang cukup jauh dibanding dengan teknologi komunikasi yang lain dan mempunyai konsumsi daya yang rendah. Akan tetapi pada teknologi LoRa memiliki kekurangan yaitu nilai maksimum rate masih jauh dibanding dengan teknologi WiFi. Pada teknologi komunikasi nirkabel memiliki tingkat transmisi dan jangkauan transmisi yang berbeda, perbandingan kecepatan dan jarak jangkauan komunikasi nirkabel ini, bahwa semakin tinggi tingkat transmisi data, semakin jauh jarak komunikasi, dan semakin besar konsumsi daya. Namun, pada teknologi LoRa tidak hanya mencapai komunikasi jarak jauh, tetapi juga membutuhkan konsumsi daya yang rendah, sehingga sangat cocok untuk jaringan berskala besar. Untuk memenuhi kebutuhan dan kondisi dari penelitian dilakukan skema protokol *multi-hop routing* yang bertujuan untuk meningkatkan tingkat efisiensi energi yang digunakan pada perangkat. Jaringan telekomunikasi nirkabel LoRaWAN menggunakan teknik modulasi *long range* (LoRa). Penggunaan LoRa memberikan keunggulan dari menggunakan frekuensi bebas lisensi dan konsumsi energi yang rendah (Ajiesastra et al., 2023).

Di Indonesia, teknologi LoRa digunakan pada 915 MHz, yang merupakan bagian dari spektrum ISM (*Industrial, Scientific, dan Medical*) yang dapat digunakan tanpa lisensi. Perangkat LoRa dapat beroperasi secara efisien dalam jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah dengan memanfaatkan frekuensi ini, yang sangat penting untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT) yang membutuhkan konektivitas yang stabil dan berkelanjutan (LoRa Alliance, 2020). Dengan memanfaatkan frekuensi ini, LoRa dapat menjangkau area yang luas, yang membuatnya pilihan yang sempurna untuk berbagai aplikasi, seperti pertanian pintar dan pemantauan lingkungan atau ternak.

Regulasi yang mengatur penggunaan frekuensi 915 MHz di Indonesia mengikuti pedoman internasional yang ditetapkan oleh ITU (*International Telecommunication Union*). Hal ini memastikan bahwa teknologi LoRa dapat digunakan secara luas tanpa mengganggu layanan komunikasi lainnya yang beroperasi di frekuensi yang sama (Sari et al., 2021).

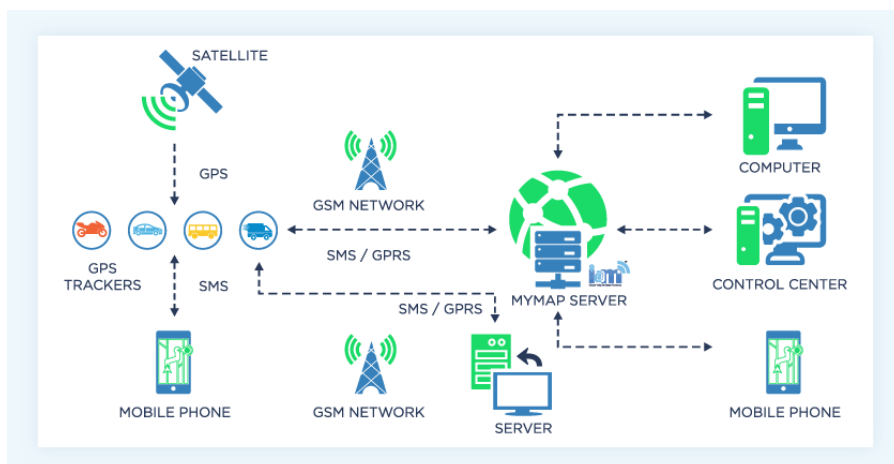
Salah satu keunggulan dari teknologi LoRa terletak pada penerapan topologi jaringan yang sederhana namun efisien, sehingga sangat sesuai untuk berbagai aplikasi pelacakan seperti kendaraan, ternak, maupun aset lainnya. Sebagian

besar sistem pelacakan berbasis LoRa menggunakan topologi bintang (*star topology*). Topologi ini memungkinkan setiap perangkat akhir (*end device*) berkomunikasi langsung dengan satu atau lebih *gateway* melalui gelombang radio LoRa. *Gateway* berfungsi sebagai perantara yang meneruskan data ke *network server* melalui jaringan internet (IP). Menurut Ajjesastra et al. (2023), LoRaWAN mengadopsi topologi bintang untuk menyederhanakan komunikasi perangkat-perangkat dalam jaringan, di mana semua komunikasi bersifat *uplink* (dari perangkat ke *gateway*) dan tidak terjadi komunikasi antar perangkat langsung.



Gambar 5 Topologi Jaringan LoRa
(sumber: www.thethingsnetwork.org)

1.7.7 Sistem Pelacakan Hewan



Gambar 6 Arsitektur sistem pelacakan dengan GPS
(sumber: Arta et al., 2022)

Sistem pelacakan hewan merupakan suatu sistem berbasis teknologi komunikasi dan navigasi yang digunakan untuk memantau lokasi dan pergerakan hewan secara *real-time*. Sistem ini bekerja dengan menggabungkan perangkat GPS dan modul komunikasi nirkabel seperti LoRa (*Long Range*), sehingga sistem ini dapat mengirimkan data posisi berupa koordinat geografis (lintang dan bujur) ke pusat pemantauan. Perangkat pelacak mengumpulkan data dari sinyal satelit GPS yang diterima oleh perangkat (*GPS tracker*) yang dipasang pada tubuh hewan, baik dalam bentuk kalung, gelang, atau implant (Atthari & Fahlivi, 2017).

Sistem pelacakan (*tracking*) dengan GPS banyak digunakan untuk memantau asset yang bergerak, seperti pada bidang transportasi dengan *automated vehicle locstor* (AVL) (Nuchvi et al., 2015). Dengan AVL ini keberadaan dan pergerakan kendaraan dapat dipantau baik melalui control center ataupun aplikasi *mobile* berbasis maps. Arsitektur dari sistem pelacakan ini dapat dilihat pada gambar 6. Prinsip yang sama diterapkan pada penelitian ini sehingga keberadaan hewan ternak juga akan dapat diketahui (Arta et al., 2022).

1.7.8 Ternak (Sapi)

Menurut Undang-undang No.6 Tahun 1976 ternak merupakan hewan peliharaan yang hidupnya yakni meliputi tempat tinggal, makanan, dan berkembang biaknya serta manfaatnya di atur oleh manusia dan dipelihara khusus sebagai penghasil atau jasa yang berguna bagi kepentingan hidup manusia.

Sapi bali (*Bos Sondacius*) merupakan sapi bali asli Indonesia yang berasal dari hasil *domestic* (penjinakan) dari banteng liar. Sebagian ahli yakin bahwa domestikasi tersebut berlangsung di Bali sehingga disebut sapi Bali (Guntoro, 2002). Sapi bali juga dikenal memiliki daya tahan tubuh yang kuat terhadap penyakit dan iklim, sehingga banyak dibudidayakan oleh masyarakat diberbagai daerah, termasuk di kabupaten bone, sulawesi selatan.

1.7.9 Mikrokontroler

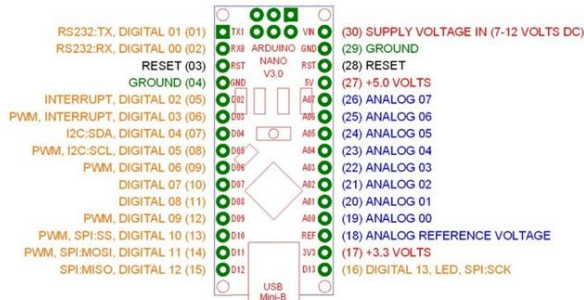
Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer yang sebagian besar atau seluruh elemen-elemen dibuat pada satu chip IC yang disebut dengan *single chip microcomputer*. Mikrokontroler merupakan sistem komputer yang memiliki beberapa perintah sangat spesifik yang berbeda dengan perintah *personal computer* (PC), dimana PC memiliki beragam fungsi dalam perintah-perintahnya (Suryadi et al., 2023).

Mikrokontroler adalah komponen yang sangat umum digunakan dalam sistem elektronika modern. Penggunaannya sangat luas, dalam kehidupan sehari-hari baik di rumah, kantor, rumah sakit, bank, sekolah, industri, dan lainnya. Mikrokontroler digunakan dalam sejumlah besar sistem elektronika seperti sistem manajemen mesin mobil, *keyboard* komputer, alat ukur elektronik (multimeter digital, *synthesizer* frekuensi, dan osilosko), televisi, radio, telepon digital, *mobile phone*, *microwave*, *printer*, *scanner*, kulkas, pendingin ruangan, CD/DVD *player*, kamera, mesin cuci, PLC (*Programmable Logic Controller*), robot, sistem otomasi, sistem

akuisisi data, sistem keamanan, sistem EDC (*Electronic Data Capture*), mesin ATM, modem, *router*, dan lain-lain (Suhaeb et al., 2017).

Mikrokontroler dapat digunakan untuk berbagai aplikasi misalnya untuk pengendalian, otomasi industri, akuisisi data, telekomunikasi, dan lain-lain. Keuntungan menggunakan mikrokontroler yaitu harganya murah, dapat diprogram berulang kali, dan dapat diprogramkan sesuai dengan keinginan (Suhaeb et al., 2017). Beberapa komponen yang termasuk mikrokontroler, yaitu:

1. Arduino Nano



Gambar 7 Pinout Arduino Nano (sumber: arduino.biz.id)

Arduino nano merupakan sebuah perangkat elektronik yang bersifat *open-source*. Arduino nano menggunakan ATmega328 sama halnya dengan Arduino uno (Fajrin & Mauludin, 2020). Sesuai dengan namanya, Arduino nano memiliki ukuran yang jauh lebih kecil dari Arduino uno yaitu panjang 45mm dan lebar 18mm. Ukuran yang sangat kecil membuat Arduino nano menjadi pilihan yang tepat untuk project yang memerlukan perangkat berukuran kecil (Arta et al., 2022). Perbedaan lainnya adalah bahwa tidak ada jack daya DC pada Nano dan didukung menggunakan kabel USB Mini-B, bukan yang standar (Siregar & Rivai, 2019).

2. GPS



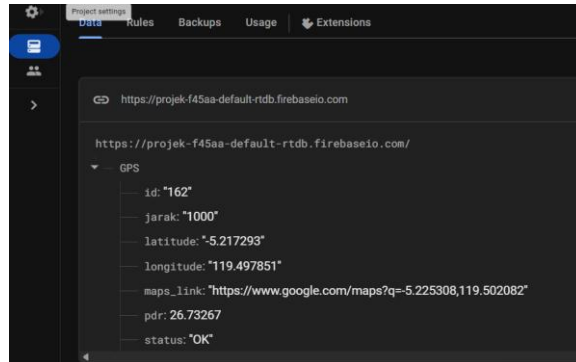
Gambar 8 Pinout Modul GPS Neo-6m (sumber: Arta et al., 2022)

GPS merupakan suatu teknologi yang mampu menentukan lokasi objek pada permukaan bumi. GPS dapat bekerja dengan memanfaatkan sinyal dari setidaknya

3. Uploader

Merupakan sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memori didalam papan Arduino. Sebuah kode program arduino umumnya disebut dengan istilah *sketch*. Kata "*sketch*" digunakan secara bergantian dengan "kode program" dimana keduanya memiliki arti yang sama (Syukhron, 2021).

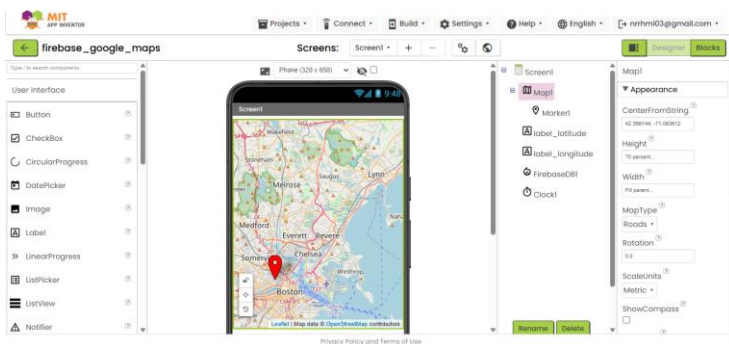
1.7.10 Firebase

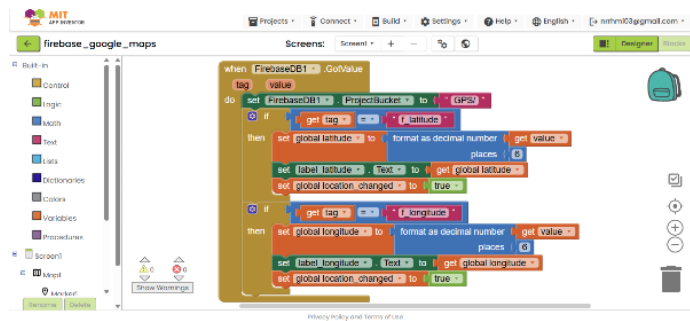


Gambar 11 Tampilan Firebase Realtime Database

Menurut Nadia Firly, dalam buku yang berjudul *Android Application Development for Rookies with Database* (2019:113) penggunaan Firebase diperlukannya akses internet dalam menjalankan aplikasi tersebut. Hal ini dikarenakan data yang ada pada firebase disimpan di penyimpanan berbasis *cloud*, sehingga memerlukan koneksi internet untuk mengakses data tersebut. Penggunaan *onlinemode database* ini, berfungsi untuk mengkoneksikan satu *device* dengan yang lain sehingga dapat berbagi informasi. Firebase sendiri merupakan *Cloud Service Provider* dan *Backend as a Service (BaaS)* yang dimiliki oleh Google. Dengan menggunakan gagasan tersebut, firebase menjadi solusi efektif untuk pengembangan aplikasi *mobile* dan *web* melalui layanan realtime database.

1.7.11 MIT App Inventor





Gambar 12 Tampilan MIT App Inventor

MIT App Inventor merupakan sebuah *platform open-source* yang dikembangkan oleh *Massachusetts Institute of Technology*, dirancang khusus untuk mempermudah proses pembuatan aplikasi *android* bagi pemula (Sari dkk., 2024). *Platform* ini mengadopsi sistem pemrograman visual berbasis blok (*block-based programming*), sehingga pengguna dapat membangun logika program dengan cara yang lebih intuitif, tanpa harus menulis baris kode dalam sintaks yang rumit (Wolber et al., 2014). Dengan demikian, MIT App Inventor menjadi solusi tepat untuk memperkenalkan konsep dasar pemrograman dan pengembangan aplikasi secara menyenangkan, interaktif, dan mudah diakses oleh siswa (Sungkar & Sucipto, 2025).

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Lebbae merupakan salah satu desa yang terletak di Kecamatan Ajangale, Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan, Indonesia. Mayoritas penduduk desa lebbae bermata pencaharian sebagai petani, dan Sebagian diantara itu juga memiliki peternakan skala kecil. Aktivitas pertanian umumnya dilakukan di sawah, sementara ternak (sapi) dilepas secara bebas di lahan terbuka sekitar area persawahan.

Penelitian ini dilaksanakan mulai dari Juni sampai dengan Oktober 2025. Objek penelitian berlokasi di Desa Lebbae. Selanjutnya, untuk analisis data dilaksanakan di Laboratorium Antena dan Propagasi, yang merupakan bagian dari Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.





2.2 Alat dan Bahan





Perancangan antena mikrostrip *patch* untuk sistem pelacakan hewan berbasis LoRa didukung oleh beberapa kebutuhan perangkat lunak dan perangkat keras.

2.2.1 Kebutuhan Perangkat Keras

Perangkat keras yang dimaksud disini yaitu komponen elektronik yang diperlukan untuk membangun sistem dari awal hingga akhir. Untuk penelitian ini, beberapa komponen yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2 Perangkat Keras

Nama	Fungsi	Jumlah
Antena Mikrostrip	Memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik pada frekuensi kerja LoRa.	1
 GPS Neo-6m	sebagai sensor utama untuk menentukan lokasi geografis hewan dalam sistem pelacakan berbasis LoRa.	1
 LoRa E220-900T30D	Mentransmisikan data lokasi dari perangkat pelacak ke penerima melalui jaringan LoRa.	2
 Node MCU ESP32	Menghubungkan modul GPS dan LoRa dalam sistem pelacakan hewan. Modul ini membaca data lokasi dari GPS, lalu mengirimkannya melalui LoRa ke penerima.	2
 Jumper	Sebagai penghubung antar pin pada papan rangkaian atau modul elektronik.	20

Baterai 	Sebagai sumber daya utama yang menyuplai tegangan dan arus listrik ke seluruh komponen dalam sistem pelacakan hewan.	1
Panel Box 	Sebagai wadah pelindung untuk menyimpan dan menyusun semua komponen sistem pelacakan hewan agar tetap rapi, aman, dan terlindung.	2
Konektor SMA 	Sebagai penghubung antara antena mikrostrip dan perangkat pemancar atau penerima sinyal, memungkinkan transmisi sinyal RF dengan impedansi 50 Ω secara efisien dan kerugian minimal.	1
Tali 	Menempatkan dan mengikat box perangkat pelacak pada tubuh hewan ternak, agar perangkat tetap terpasang dengan aman dan tidak mudah lepas saat hewan bergerak.	1

2.2.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

Adapun perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram logika dan mengolah data pada penelitian ini. Untuk kebutuhan perangkat lunak yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 Perangkat Lunak

Nama	Gambar	Fungsi
CST <i>Studio Suite</i> 2019		Perangkat lunak yang digunakan untuk mendesain dan mengoptimasi antena mikrostrip <i>patch</i> .
Arduino IDE		Perangkat lunak yang digunakan untuk menuliskan, mengompilasi, sekaligus mengunggah program ke dalam papan mikrokontroler.
<i>Fritzing</i>		Merancang sebuah sirkuit elektronik untuk komponen seperti ESP32, Lora, dan GPS pada sistem pelacak hewan.
<i>Firebase</i>		Berfungsi sebagai basis data berbasis <i>cloud</i> yang menyimpan dan menyinkronkan data secara langsung (<i>real-time</i>) antar <i>device</i> .

MIT App Inventor



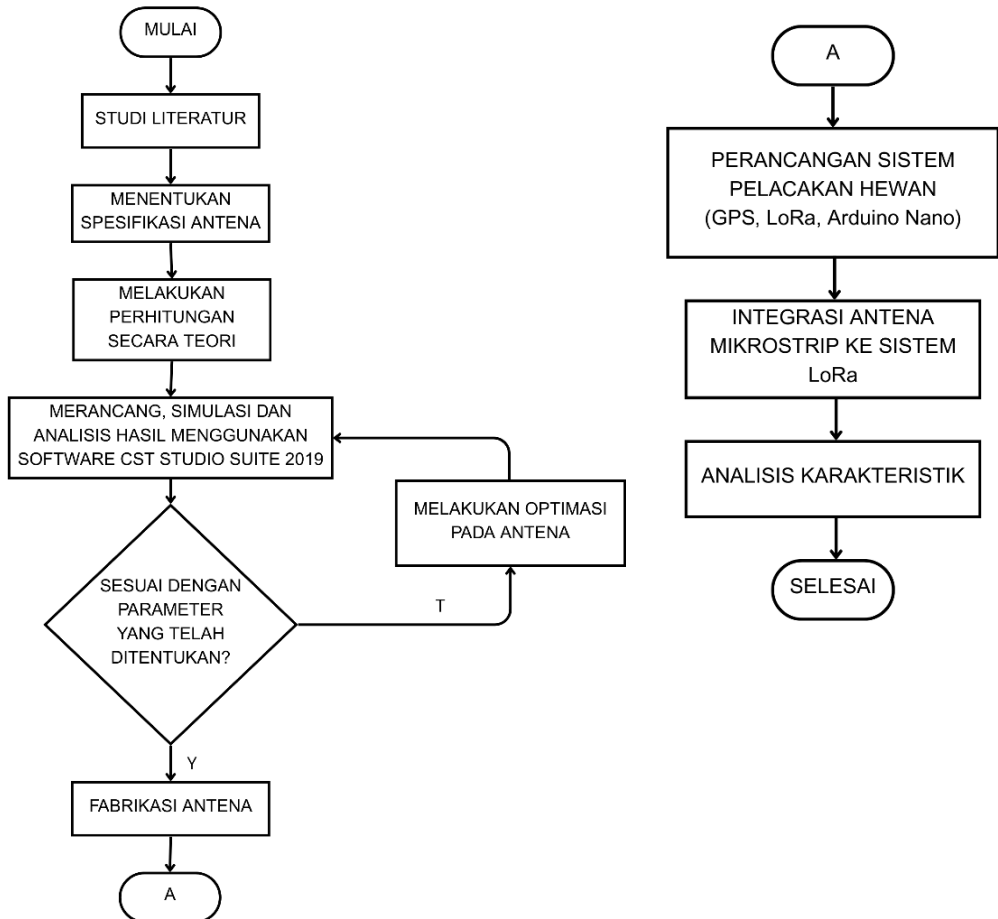
Berperan sebagai platform pengembangan aplikasi Android dengan antarmuka visual *drag-and-drop* yang memudahkan perancangan aplikasi tanpa kode kompleks.

2.3 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan kuantitatif melalui metode eksperimen. Metode R&D diterapkan untuk menghasilkan dan mengembangkan sebuah prototipe melalui tahapan sistematis yang meliputi indentifikasi masalah, perancangan prototipe, pembuatan alat, dan pengujian kinerja.

Pendekatan kuantitatif digunakan karena data yang diperoleh berasal dari hasil pengukuran numerik terhadap kinerja prototipe, sedangkan metode eksperimen dilakukan dengan memberikan perlakuan tertentu pada prototipe dan mengamati pengaruhnya terhadap parameter yang diukur, seperti tingkat akurasi sistem dalam mengirimkan informasi lokasi *real-time*. Melalui proses ini, diperoleh data yang objektif dan terukur sehingga dapat dijadikan dasar dalam menilai efektivitas dan kelayakan prototipe yang dikembangkan.

2.4 Diagram Alir Penelitian



Gambar 13 Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian yang ditampilkan pada gambar 13, proses pelaksanaan penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan yang tersusun secara sistematis mulai dari studi literatur hingga menganalisis. Untuk penjelasan lebih lengkapnya dapat dilihat di bawah ini:

1. Studi Literatur

Melakukan kajian terhadap berbagai sumber ilmiah, seperti buku, jurnal, prosiding, dan artikel terkait antena mikrostrip, sistem pelacakan berbasis GPS dan LoRa, serta perangkat mikrokontroler, untuk memperoleh landasan teori dan arah pengembangan penelitian.

2. Menentukan Spesifikasi Antena

Menetapkan parameter teknis antena, seperti frekuensi kerja, jenis substrat, dimensi, dan pola radiasi yang diinginkan, sesuai kebutuhan sistem pelacakan hewan.

3. Melakukan Perhitungan Secara Teori
Menghitung dimensi dan parameter antena secara matematis menggunakan persamaan dasar antena mikrostrip agar sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan.
4. Merancang, Simulasi, dan Analisis Hasil Menggunakan Software CST Studio Suite 2019.
Membuat desain antena secara digital dan melakukan simulasi menggunakan perangkat lunak CST Studio Suite 2019 untuk memperoleh parameter kinerja, seperti return loss, VSWR, gain, dan pola radiasi.
5. Melakukan Optimasi pada Antena.
Melakukan penyesuaian dan perbaikan desain antena berdasarkan hasil simulasi apabila parameter kinerja belum memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Proses optimasi dilakukan secara iteratif hingga diperoleh hasil yang sesuai sebelum fabrikasi.
6. Fabrikasi Antena.
Membuat antena secara fisik berdasarkan desain akhir yang telah memenuhi spesifikasi kinerja setelah melalui tahap simulasi dan optimasi.
7. Perancangan Sistem Pelacakan Hewan.
Menyusun rancangan sistem pelacakan yang mengintegrasikan GPS, modul LoRa, dan mikrokontroler untuk memantau lokasi hewan secara real-time.
8. Integrasi Antena Mikrostrip ke Sistem LoRa.
Menghubungkan antena mikrostrip yang telah dibuat ke modul LoRa sebagai media transmisi dan penerimaan sinyal dalam sistem pelacakan.
9. Analisis Karakteristik
Melakukan pengujian sistem secara keseluruhan untuk mengukur kinerja antena dan sistem pelacakan, kemudian menganalisis hasil pengukuran untuk menilai efektivitas dan kelayakan prototipe.

2.5 Perancangan Sistem

2.5.1 Perancangan Antena Mikrostrip 915 MHz

Antena Mikrostrip yang dirancang bekerja pada frekuensi 915 MHz sebagai media transmisi sinyal pada sistem pelacak berbasis LoRa. Pemilihan frekuensi 915 MHz didasarkan pada alokasi pita frekuensi ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*) yang bebas lisensi, sehingga dapat digunakan untuk aplikasi komunikasi jarak jauh dengan daya rendah. Substrat yang digunakan adalah FR4 (epoxy) dengan ketebalan 1,6 mm dan tebal konduktor 0,035 mm, yang dipilih karena ketersediaan yang luas, biaya yang relatif rendah, dan sifat dielektrik yang sesuai untuk aplikasi antena.

Perancangan dimensi antena mikrostrip membutuhkan sejumlah parameter dasar yang menjadi acuan dalam perhitungan dimensi *patch* dan *feedline*. Parameter-parameter tersebut disajikan pada tabel 4 sebagai berikut.

Tabel 4 Spesifikasi Antena Mikrostrip

Spesifikasi	Parameter
Frekuensi kerja	915 MHz
Jenis substrat	FR-4 (lossy)
Konstanta dielektrik	4.4
Tebal konduktor	0.035 mm
Ketebalan substrat	1.6 mm
Kecepatan cahaya	3×10^8 m/s
Impedansi catuan	50Ω

2.5.2 Perhitungan Ukuran Dimensi Antena Mikrostrip

Sebelum melakukan perancangan antena, hal pertama yang perlu dilakukan adalah perhitungan dimensi antena mikrostrip yang akan dirancang. Untuk mendapatkan ukuran dimensi yang sesuai dilakukan perhitungan dengan menggunakan beberapa persamaan yang ada di Bab 1 seperti dibawah ini.

1. Panjang gelombang di ruang bebas

Untuk mencari nilai panjang gelombang yang ada di ruang bebas dapat dihitung menggunakan persamaan 12 berikut.

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_r}$$

dimana:

λ_0 = Panjang gelombang (m)

c = Kecepatan cahaya di ruang bebas (3×10^8 m/s)

f_r = Frekuensi kerja antena (MHz)

maka,

$$\begin{aligned} \lambda_0 &= \frac{c}{f_r} \\ \lambda_0 &= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{915 \times 10^6 \text{ Hz}} \\ \lambda_0 &= 0.327 \text{ m} \\ &= 327 \text{ mm} \end{aligned}$$

2. Bagian Patch

Untuk menentukan ukuran dari lebar elemen peradiasi (*patch*) dari antena mikrostrip, dapat dihitung menggunakan persamaan 1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Wp &= \frac{c}{2F_r \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \\ Wp &= \frac{3 \times 10^8}{2 \times 915 \times 10^6 \times \sqrt{\frac{4.4 + 1}{2}}} \\ Wp &= \frac{3 \times 10^8}{(1830 \times 1.643) \times 10^6} \\ Wp &= \frac{3 \times 10^8}{3006.69 \times 10^6} \\ Wp &= 99.777 \text{ mm} \end{aligned}$$

Selanjutnya, untuk menentukan nilai panjang *patch* (L_p), diperlukan parameter ϵ_{reff} dan ΔL . Dimana untuk menghitung nilai ϵ_{reff} dapat menggunakan persamaan 3.

$$\epsilon_{reff} = \frac{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2}}{\sqrt{1 + \frac{12h}{Wp}}}$$

$$\epsilon_{reff} = \frac{\frac{4,4 + 1}{2} + \frac{4,4 - 1}{2}}{\sqrt{1 + \frac{12 \times 1,6}{99,777}}}$$

$$\epsilon_{reff} = 4,029$$

Dan untuk ΔL menggunakan persamaan 4

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{reff}}}$$

$$L_{eff} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 915 \times 10^6 \times \sqrt{4,029}}$$

$$L_{eff} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 915 \times 2,007 \times 10^6}$$

$$L_{eff} = 81,67 \text{ mm}$$

$$\Delta L = 0,412h \left| \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{Wp}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{Wp}{h} + 0,8 \right)} \right|$$

$$\Delta L = 0,412 \times 1,6 \left| \frac{(4,029 + 0,3) \left(\frac{99,7777}{1,6} + 0,264 \right)}{(4,029 - 0,258) \left(\frac{99,777}{1,6} + 0,8 \right)} \right|$$

$$\Delta L = 0,6592 \left| \frac{(4,329)(62,624)}{(3,771)(63,160)} \right|$$

$$\Delta L = 0,6592 \frac{271,009}{238,176}$$

$$\Delta L = 0,75007 \text{ mm}$$

Jadi untuk mendapatkan panjang *patch* dihitung menggunakan persamaan 2.

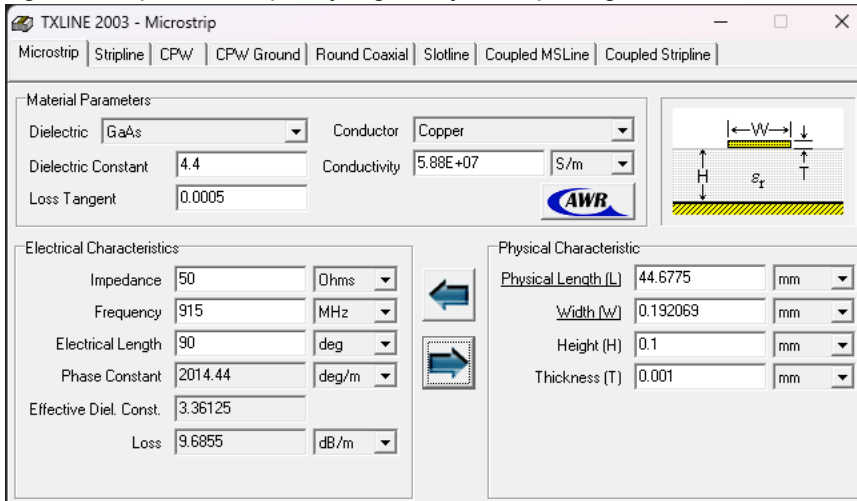
$$L_p = L_{eff} - 2\Delta L$$

$$L_p = 81,67 - 2 \times 0,75007$$

$$L_p = 80,169 \text{ mm}$$

3. Bagian Saluran Pencatu

Pada teknik pencatuan yang digunakan untuk merancang antenna mikrostrip adalah microstrip line. Saluran pencatu dirancang agar memiliki impedansi mendekati 50ohm sebagai nilai standar pencocokan impedansi. Untuk memperoleh nilai tersebut, dilakukan penyesuaian lebar saluran pencatu menggunakan perangkat lunak TxLine, dengan memasukkan parameter berupa frekuensi kerja, ketebalan substrat, serta ketebalan lapisan tembaga. Berdasarkan konstanta dielektrik $\epsilon_r = 4,4$ dan frekuensi kerja 915 MHz, diperoleh dimensi lebar dan panjang saluran pencatu seperti yang ditunjukkan pada gambar 14 berikut.



Gambar 14 Tampilan TXLINE

4. Bagian Substrat Untuk lebar substrat

$$W_s = 6h + W_p$$

$$W_s = 6 \times 1,6 + 99,777$$

$$W_s = 109,377 \text{ mm}$$

dan untuk Panjang substrat

$$L_s = 6h + l_p + l_f$$

$$L_s = 6(1,6) + 80,169 + 63,75$$

$$L_s = 153,519 \text{ mm}$$

5. Bagian *Groundplane*

Groundplane memiliki ukuran yang dengan substrat dari antenna mikrostrip yang dirancang. Maka, lebar dan Panjang *groundplane* dapat ditentukan sebagai berikut:

$$W_g = W_s = 109,377 \text{ mm}$$

$$L_g = L_s = 153,519 \text{ mm}$$

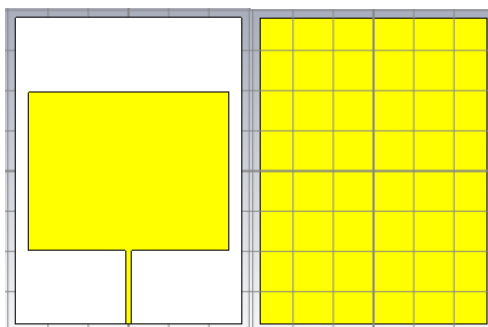
Dari hasil perhitungan teori dari desain antenna yang akan dirancang dapat diuraikan simbol dan ukuran masing-masing bagian sesuai dengan hasil perhitungan yang kemudian dimasukkan ke dalam tabel 5 ini.

Tabel 5 Dimensi Antena Mikrostrip Patch Hasil Perhitungan Secara Teori

Variabel	Ukuran (mm)	Keterangan
Wp	99.777 mm	Lebar Patch
Lp	80.169 mm	Panjang Patch
Wf	0.192 mm	Lebar Feeder
Lf	44.677 mm	Panjang Feeder
Ws	109.377 mm	Lebar Substrat
Ls	153.519 mm	Panjang Substrat
Wg	109.377 mm	Lebar Groundplane
Lg	153.519 mm	Panjang Groundplane

2.5.3 Desain Antena Mikrostrip Pra-Optimasi

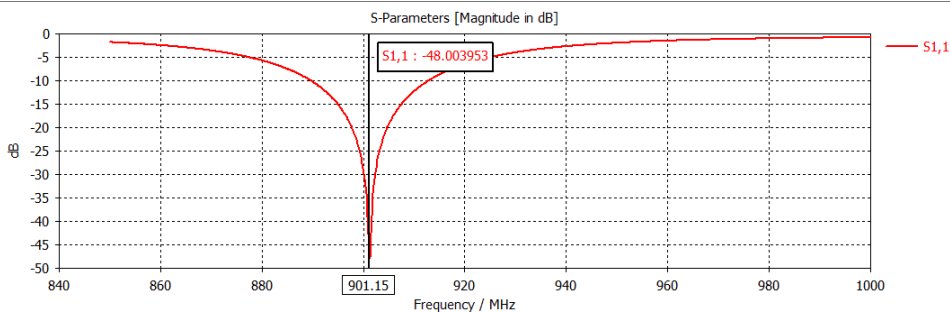
Desain antena mikrostrip patch ini dirancang menggunakan *software* CST Studio 2019. Antena yang dirancang ini tersusun dari bagian patch, groundplane, dan substrat FR-4 yang ketebalannya 1.6 mm. Desain ini memiliki lebar patch 99.77 mm dan panjang patch 80.16 mm



Gambar 15 Rancangan Antena Mikrostrip Pra-Optimasi

Adapun hasil simulasi awal dari beberapa parameter sebelum dilakukan proses optimasi pada antena yang dirancang di *software* CST Studio Suite 2019 sebagai berikut.

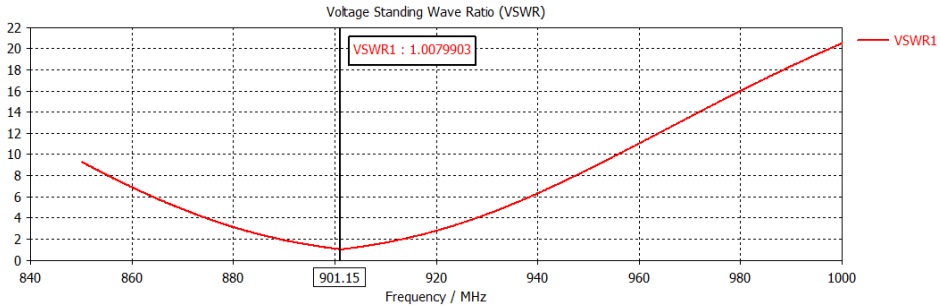
1. Return Loss (S-11) Pra-Optimasi



Gambar 16 Return Loss Pra-Optimasi

Pada gambar 16 diatas, didapatkan nilai *return loss* antenna sebelum optimasi berada di angkat -48.003 dB, dan frekuensi resonansi jauh dari 915 MHz. Namun, jika axis markernya di pindahkan ke angka 915 MHz, nilai *return loss* yang didapatkan -8.677 dB. Maka, dari dua kondisi ini belum bisa dikatakan baik sehingga perlu dilakukan proses optimasi.

2. VSWR Pra-Optimasi



Gambar 17 VSWR Pra-Optimasi

Pada gambar 17 VSWR Pra-Optimasi didapatkan hasil pada frekuensi 915 MHz sebesar 2.17 yang mana nilai kurang baik, dikarenakan melebihi ketentuan nilai VSWR yakni $1 \leq VSWR \leq \infty$.

Tabel 6 Hasil desain antenna Pra-Optimasi

Parameter	Hasil
<i>Return Loss</i>	-48.003 dB
VSWR	2.17
<i>Bandwidth</i>	22,03 MHz

Hasil simulasi yang ada pada tabel 6 menunjukkan bahwa nilai yang didapatkan belum sepenuhnya memenuhi spesifikasi yang diinginkan, sehingga diperlukan optimasi untuk meningkatkan kinerja antenna.

2.5.4 Desain Antena Pasca Optimasi

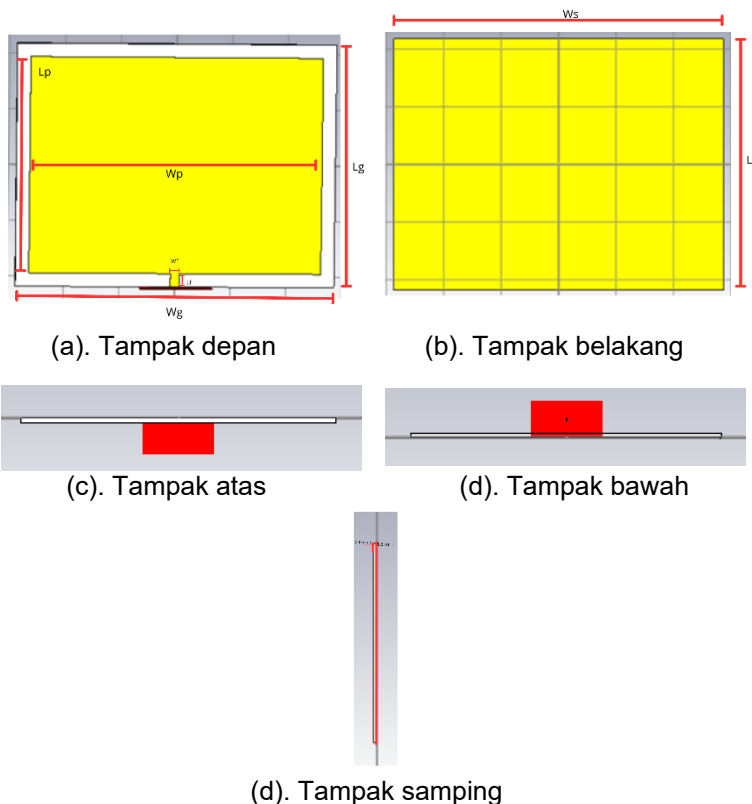
Setelah melakukan optimasi kemudian melakukan simulasi ulang didapatkan perubahan bentuk dimensi antenna sebagai berikut.

Tabel 7 Dimensi Antena Mikrostrip Patch Setelah Optimasi

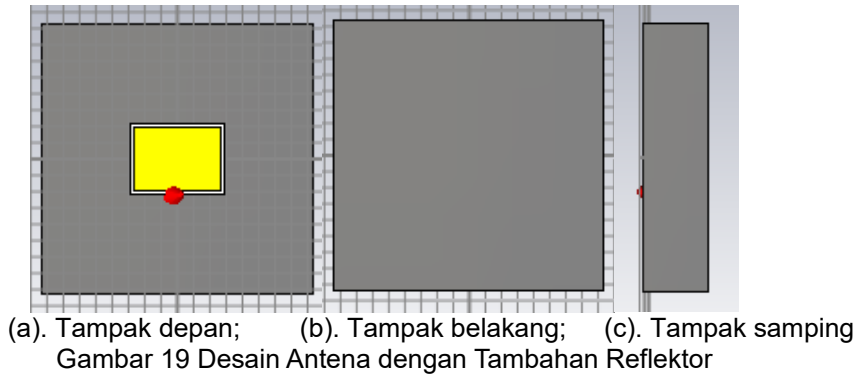
Variabel	Ukuran (mm)	Keterangan
Wp	105 mm	Lebar <i>Patch</i>
Lp	77.65 mm	Panjang <i>Patch</i>
Wf	3.25 mm	Lebar <i>Feeder</i>
Lf	2 mm	Panjang <i>Feeder</i>
Ws	114.6 mm	Lebar Substrat
Ls	87.25 mm	Panjang <i>Substrat</i>

W_g	114.6 mm	Lebar <i>Groundplane</i>
L_g	87.25 mm	Panjang <i>Groundplane</i>
t	0.035 mm	Tebal Substrat
h	1.6 mm	Tebal <i>Groundplane & Patch</i>

Desain antenna mikrostrip patch ini dibuat menggunakan software CST Studio Suite 2019. Pada prosesnya, antenna dirancang dengan bentuk patch persegi panjang yang disesuaikan dengan frekuensi resonansi yaitu 915 MHz. Dalam desain ini, digunakan material substrat FR-4 yang sesuai dengan performa antenna, seperti nilai return loss, gain, dan pola radiasi, dapat memenuhi spesifikasi. Dengan bantuan software CST Studio Suite 2019, simulasi dapat dilakukan untuk melihat hasil kinerja antenna sebelum difabrikasi.



Gambar 18 Desain Antena Pasca Optimasi

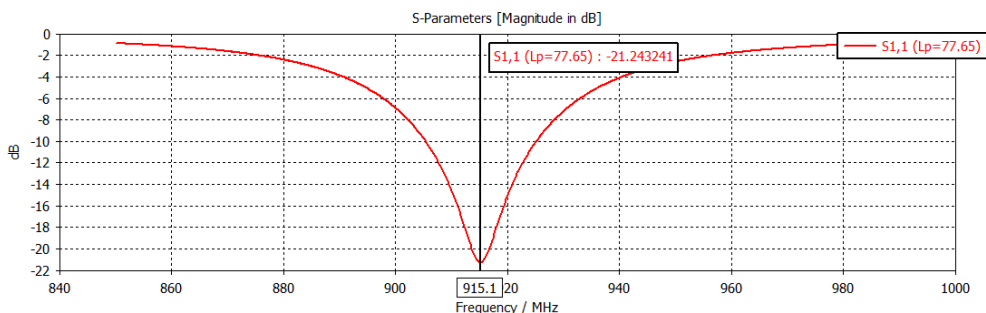


Pada gambar 19 menunjukkan desain antena mikrostrip 915 MHz yang dilengkapi elemen reflektor di bagian belakang *patch*. Reflektor dibuat menggunakan material PEC (*Perfect Electric Conductor*) dan ditempatkan pada posisi simetris terhadap bidang antena. Tujuan utama penambahan reflektor ini adalah untuk meningkatkan kinerja radiasi antena, khususnya dalam meningkatkan nilai gain. Reflektor berfungsi memantulkan energi yang merambat ke arah belakang sehingga pola radiasi menjadi lebih terarah ke depan, menekan radiasi belakang, dan menghasilkan penguatan sinyal yang lebih tinggi.

Parameter	Nilai
Lebar Reflektor	333 mm
Panjang Reflektor	333 mm
Ketebalan Reflektor	80 mmm
Material	PEC

Parameter-parameter hasil dari simulasi kedua (pasca optimasi) antena berupa *return loss*, *VSWR*, *Bandwidth*, Pola Radiasi, dan Gain dapat dilihat sebagai berikut:

1. *Return Loss* Pasca Optimasi

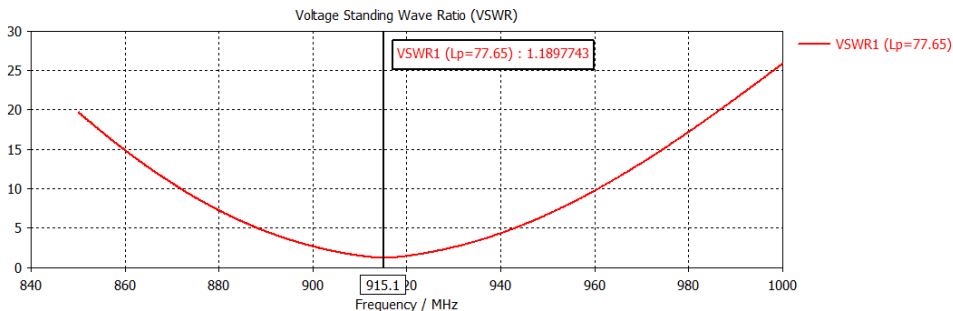


Gambar 20 Return loss Pasca-Optimasi

Berdasarkan gambar 20 terlihat bahwa setelah melakukan optimasi, nilai *return loss* pada frekuensi kerja 915 MHz sebesar -21,24 dB. Nilai ini berada

dibawah -10 dB, sehingga dapat dikatakan cukup baik dan memenuhi spesifikasi antenna yang dirancang.

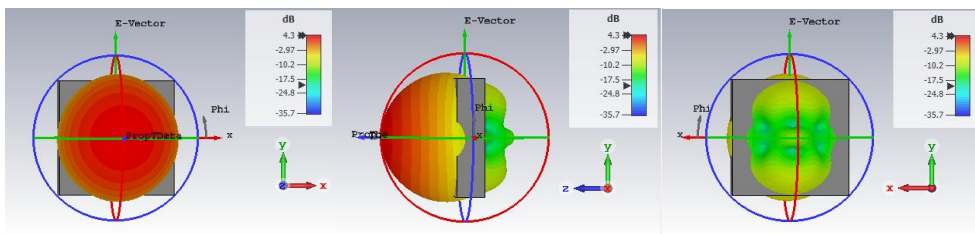
2. VSWR Pasca Optimasi



Gambar 21 VSWR Pasca-Optimasi

Pada gambar 21 di atas, dapat dilihat bahwa pada frekuensi resonansi 915 MHz didapatkan nilai VSWR pasca-optimasi sebesar 1,18 yang mana nilai ini dikatakan baik karena telah memenuhi spesifikasi yaitu $VSWR \text{ bernilai } 1 \leq VSWR \leq \infty$.

3. Pola Radiasi



(a). Tampak depan;

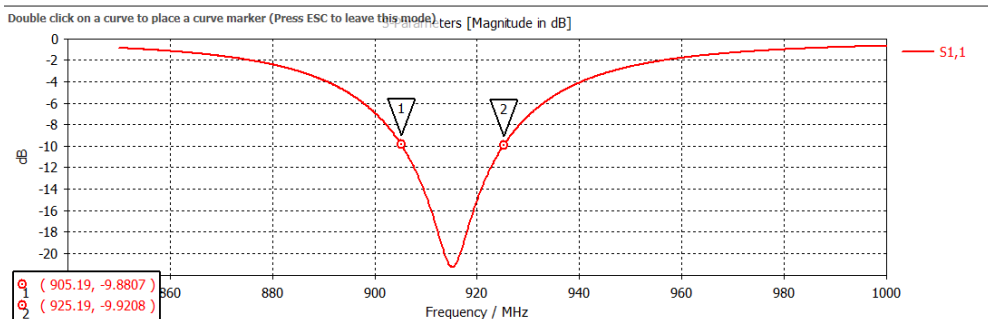
(b). Tampak samping;

(c). Tampak belakang

Gambar 22 Pola Radiasi 3D

Berdasarkan gambar 22 menunjukkan bahwa antenna memancarkan energi terutama ke arah depan (*broadside*). Penambahan reflektor di bagian belakang menekan radiasi ke arah belakang, sehingga pancaran menjadi lebih terarah ke arah depan.

4. Bandwidth



Gambar 23 Bandwidth Pasca-Optimasi

Berdasarkan dari gambar 23 dapat dilihat hasil simulasi dari salah satu parameter yaitu *return loss*, dari parameter ini dapat ditentukan lebar pita *bandwidth* antenna sebesar 20 MHz.

$$Bw = \text{frekuensi bawah} - \text{frekuensi atas}$$

$$Bw = 925 \text{ MHz} - 905 \text{ MHz}$$

$$Bw = 20 \text{ MHz}$$

5. Gain

farfield (f=915) [1]	
Type	Farfield
Approximation	enabled (kR >> 1)
Component	Abs
Output	Gain
Frequency	915 MHz
Rad. Effic.	-7.290 dB
Tot. Effic.	-7.291 dB
Gain	4.301 dB

Gambar 24 Gain Pasca-Optimasi

Gambar 24 menunjukkan peningkatan kemampuan pemfokusan radiasi antenna setelah penambahan reflektor pada sisi belakang patch. Reflektor berperan memantulkan gelombang yang meradiasi ke arah belakang sehingga energi radiasi lebih terarah ke bagian depan antenna. Berdasarkan hasil optimasi, diperoleh nilai gain maksimum pada arah utama radiasi sebesar 4,301 dB, yang menunjukkan peningkatan kinerja dibandingkan kondisi tanpa reflektor.

Nilai gain maksimum tersebut berada pada kisaran yang mendekati karakteristik gain antenna mikrostrip patch secara teori pada frekuensi 915 MHz. Dengan demikian, penambahan reflektor dan proses optimasi yang dilakukan dapat dikatakan berhasil dalam meningkatkan arah dan pemfokusan radiasi antenna.

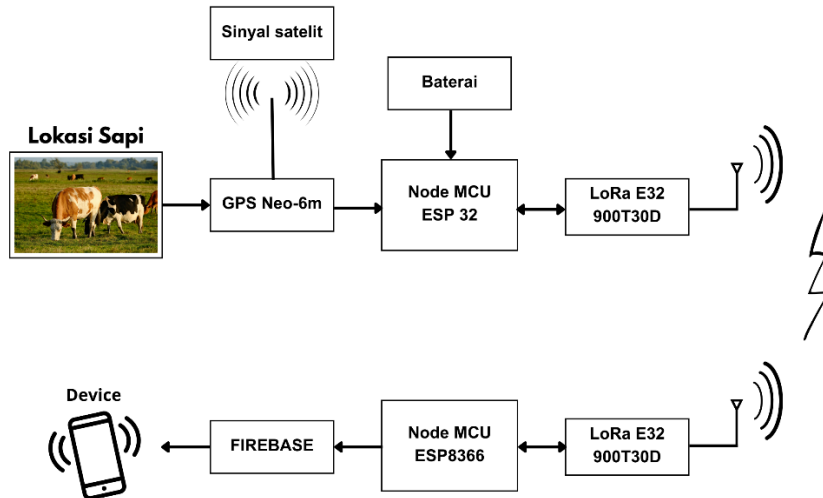
Tabel 9 Hasil desain antenna pasca-optimasi

Parameter	Hasil
<i>Return Loss</i>	-21,24 dB
VSWR	1,18
<i>Bandwidth</i>	20 MHz
Gain	4.301 dB

Hasil yang ditunjukkan pada tabel 9 ini merupakan hasil dari parameter-parameter setelah melakukan proses optimasi. Dari hasil sebelumnya, dapat dilihat terjadi perubahan yang mana sebelum optimasi nilai S-11 (*return loss*) -48.003 dB, VSWR 2.17. Setelah proses optimasi nilai dari parameter tersebut berubah seperti yang ada pada tabel.

2.5.5 Perancangan Sistem Pelacak

Sistem pelacak hewan yang dirancang terdiri dari dua bagian utama, yaitu perangkat pengirim (Tranceiver) dan perangkat penerima (Receiver), yang masing-masing memiliki peran dan proses pelacakan yang ada pada gambar 25.

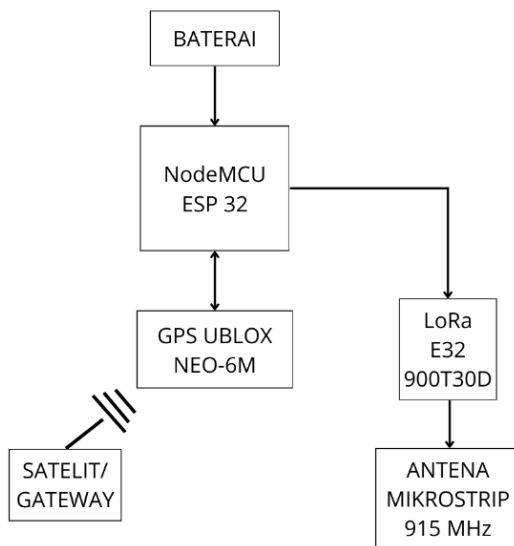


Gambar 25 Alur kerja dari sistem pelacak hewan berbasis LoRa

Gambar 25 menunjukkan alur kerja dari rangkaian sistem pelacak hewan berbasis LoRa yang terdiri dari dua bagian, yaitu perangkat pengirim (Tx) dan perangkat penerima (Rx). Perangkat pengirim dipasang pada leher hewan dan berfungsi mengirim data koordinat dari modul GPS Neo-6M melalui ESP32 dan LoRa E32 900T20D. Data lokasi tersebut diterima oleh perangkat penerima yang terdiri dari LoRa E32 900T20D, NodeMCU ESP8266, dan Firebase, kemudian ditampilkan pada perangkat *device*.

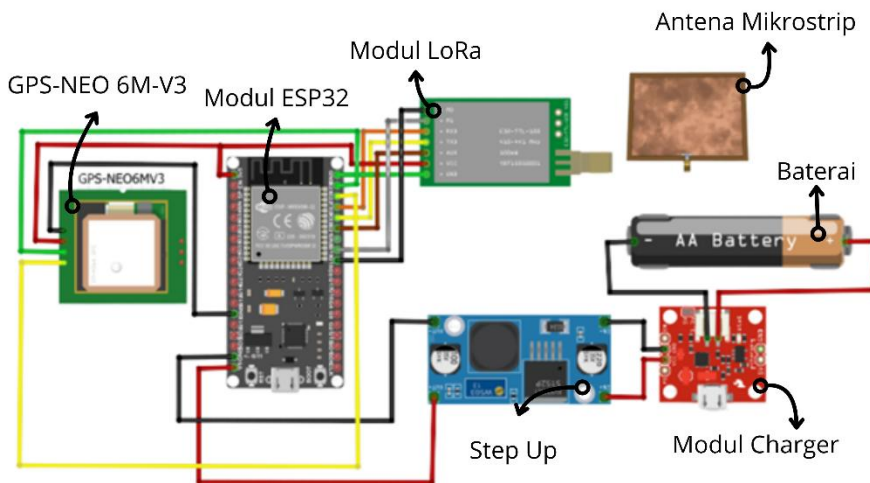
2.5.5.1 Perangkat Pengirim

Perancangan sistem pelacak hewan yang meliputi bagian pengirim (Tx). Diagram blok pada gambar 10 menunjukkan rancangan bagian pengirim (Tx) yang terdiri atas beberapa komponen utama yang saling terhubung dan berfungsi untuk memperoleh data lokasi, mengolah informasi, serta mengirimkannya menuju *gateway* melalui jaringan LoRa.



Gambar 26 Diagram blok perangkat pengirim

Pada gambar 26 dapat dilihat baterai berfungsi untuk menyuplai daya ke NodeMCU ESP32 sebagai pengendali utama. Modul GPS Ublox NEO-6M memberikan data koordinat yang diproses oleh ESP32, kemudian dikirim melalui modul LoRa E32 900T30D dengan antena mikrostrip 915 MHz. Data lokasi diteruskan ke gateway sebagai penerima.

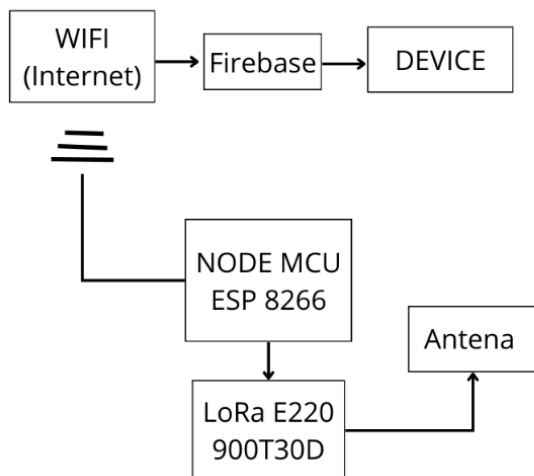


Gambar 27 Fritzing perangkat pengirim

Pada gambar 27 menyajikan pemodelan komponen secara presisi bagaimana setiap kaki komponen terhubung ke komponen lainnya. Skematik ini menggunakan simbol-simbol elektronik standar untuk menggambarkan setiap komponen beserta

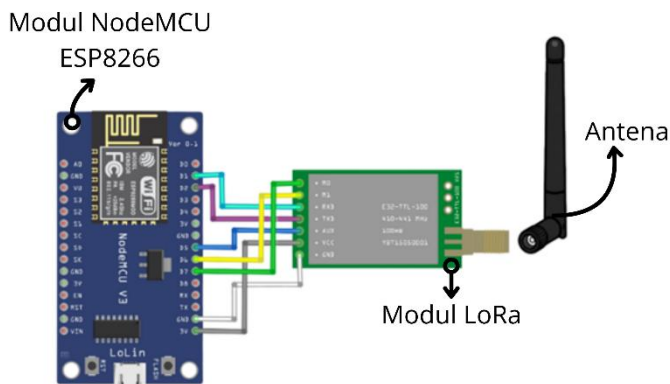
pin-ke-pin secara spesifik. Fungsinya adalah sebagai panduan untuk merakit dan menganalisis sirkuit elektronik dengan benar.

2.5.5.2 Perangkat Penerima



Gambar 28 Diagram blok perangkat penerima

Gambar 28 menunjukkan perangkat penerima yang menggunakan NodeMCU ESP8266 sebagai pengendali utama untuk menerima data lokasi dari modul LoRa E220 900T30D melalui antena. Data yang diterima kemudian dikirimkan ke firebase melalui koneksi wifi agar dapat diakses secara *real-time* oleh pengguna melalui perangkat seperti smartphone atau komputer.



Gambar 29 Fritzing perangkat penerima

Skematik gambar 29 menunjukkan pemodelan detail perangkat penerima untuk implementasi fisik. Skematik ini telah menggunakan simbol-simbol elektronik standar untuk menggambarkan setiap komponen yang terpasang akan saling terhubung satu sama lain.

2.6 Skenario Pengujian

Tahapan pengujian dalam penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai tahapan dan kondisi yang diterapkan dalam proses pengujian. Melalui skenario ini, setiap komponen yang terlibat dalam sistem diuji sesuai dengan fungsinya untuk memastikan kinerja perangkat berjalan sesuai dengan rancangan. Adapun scenario pengujian yang dilakukan adalah:

2.6.1 Skenario Pengujian GPS

- Tujuan: memastikan bahwa modul GPS yang digunakan dapat menerima sinyal satelit dengan baik dan menampilkan koordinat lokasi secara akurat.
- Alat dan bahan: modul GPS Neo-6m, modul ESP32, kabel jumper, kabel charger USB-micro, dan laptop yang terinstall *software* Arduino IDE.
- Langkah-langkah:
 - a. Menghubungkan modul GPS dan ESP32 menggunakan kabel jumper, pastikan setiap pin terhubung dengan benar.
 - b. Setelah modul selesai dirakit, kemudian menyambungkan ke laptop menggunakan kabel charger atau kabel bawaan ESP32.
 - c. Membuka perangkat lunak Arduino IDE, kemudian unggah program pengujian GPS ke modul ESP32.
 - d. Pastikan telah menginstall *library* TinyGPS, dan sesuaikan pengaturan *port* dengan perangkat yang digunakan sebelum melakukan proses unggah (*upload*).
 - e. Setelah program berhasil dijalankan, buka *Serial Monitor* pada Arduino IDE untuk menampilkan hasil pembacaan data dari modul GPS.
- Indikator keberhasilan: pengujian dianggap berhasil apabila modul GPS dapat menerima sinyal satelit dan menampilkan data koordinat berupa nilai *latitude* dan *longitude* yang sesuai dengan lokasi pengujian. Selain itu, indikator berupa LED berwarna merah pada modul akan berkedip-kedip sebagai tanda bahwa modul telah terhubung dengan sinyal satelit.

2.6.2 Skenario Pengujian Aplikasi (MIT App Inventor)

- Tujuan: Memastikan bahwa data lokasi yang ditampilkan pada aplikasi sesuai dengan data yang ada ditampilkan di serial monitor, serta memastikan fungsi notifikasi audio berjalan dengan baik.
- Langkah-langkah:
 - a. Membuka serial monitor pada Arduino IDE dan jalankan aplikasi pada perangkat (*handphone/Laptop*) secara bersamaan.
 - b. Mengamati data koordinat lokasi dan jarak yang muncul pada serial monitor, kemudian bandingkan dengan data yang ditampilkan pada aplikasi untuk melakukan proses validasi kesesuaian.
 - c. Gerakkan objek hingga melewati jarak batas (*radius*) yang telah ditentukan dalam sistem.

- d. Perhatikan apakah aplikasi memberikan notifikasi audio yang menyatakan “Sapi melewati radius yang ditentukan”.
- Indikator keberhasilan: Data yang ditampilkan di serial monitor sama dengan data yang di aplikasi dengan selisih waktu tampilan (jeda) yang minimal, serta notifikasi audio muncul dengan jelas saat objek melewati jarak batas yang telah ditentukan.

2.6.3 Skenario Uji Sistem Pelacak Hewan

- Memvalidasi bahwa seluruh sistem pelacak hewan berbasis LoRa, yang terdiri atas perangkat pengirim (Tx), perangkat penerima (Rx), dan aplikasi pemantau dapat beroperasi secara stabil dan sesuai dengan fungsinya.
- Langkah-langkah:
 - a. Menghubungkan dan menyalakan seluruh komponen sistem, meliputi perangkat pengirim (Tx), perangkat penerima (Rx), serta aplikasi pemantau pada perangkat smartphone atau laptop.
 - b. Menentukan titik koordinat yang sesuai dengan posisi penyimpanan perangkat penerima (Rx) sebagai titik acuan lokasi awal.
 - c. Mengalungkan perangkat pengirim (Tx) pada hewan yang akan dilacak.
 - d. Membiarkan hewan bergerak menjauhi posisi perangkat penerima (Rx) secara bertahap yaitu 100 m, 200 m, hingga 1000 m.
 - e. Mengamati pergerakan hewan pada aplikasi, kemudian catat nilai koordinat lokasi dan jarak yang dihasilkan untuk setiap perubahan posisi.
- Indikator keberhasilan: Seluruh sistem pelacak dapat beroperasi dengan baik tanpa mengalami gangguan, seperti hilangnya sinyal GPS secara tiba-tiba atau kegagalan perangkat penerima (Rx) dalam menerima data dari perangkat pengirim (Tx). Selain itu, jarak hasil pelacakan yang ditampilkan pada aplikasi harus sesuai dengan jarak aktual sesuai target pengujian.

2.7 Metode Analisis Data

Dalam sebuah penelitian, metode analisis data diperlukan untuk mengolah dan menganalisis hasil pengujian secara objektif guna untuk menarik Kesimpulan yang valid dan menjawab rumusan masalah dari penelitian.

2.7.1 Analisis Performa Antena Mikrostrip 915 MHz

Analisis antena dilakukan berdasarkan hasil simulasi dengan CST Studio Suite serta pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). Parameter yang diamati meliputi *return loss* (S11) untuk memastikan antena beresonansi pada frekuensi 915 MHz, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) untuk menilai kesesuaian impedansi dengan sistem transmisi, bandwidth untuk menentukan lebar pita frekuensi kerja, serta pola radiasi dan gain guna mengevaluasi arah pancaran energi dan kemampuan antena memperkuat sinyal.

2.7.2 Analisis Sistem Pelacak Hewan Berbasis Lora

Dalam hal ini, ada beberapa aspek yang dianalisis meliputi:

1. Analisis Akurasi GPS

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tingkat ketepatan perangkat dalam menampilkan koordinat lokasi. Perbandingan dilakukan antara hasil pembacaan modul GPS dengan titik referensi yang diketahui. Selanjutnya nilai hasil pembacaan GPS dan titik referensi akan dibandingkan untuk mendapatkan presentase selisih. Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung presentase selisih yaitu:

$$\text{Selisih (\%)} = \frac{\text{Nilai titik referensi} - \text{Nilai Pengujian GPS}}{\text{Nilai titik referensi}} \times 100\% \quad 20$$

2. Analisis Pengaruh Antena Mikrostrip terhadap Sistem Pelacak

Analisis pengaruh antena mikrostrip terhadap sistem pelacak dilakukan untuk menilai sejauh mana tingkat keandalan komunikasi data selama proses transmisi. Evaluasi kinerja dilakukan berdasarkan nilai *Packet Delivery Ratio* (PDR), yaitu presentase jumlah paket yang berhasil diterima dibandingkan dengan jumlah paket yang dikirim.

Dalam penelitian ini, paket yang dimaksud merupakan unit data (ID) yang dikirim secara periodik. Setiap unit data berisi informasi berupa *latitude*, *longitude*, dan jarak yang dikirim oleh perangkat pengirim. Perhitungan PDR dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{PDR (\%)} = \frac{\text{Jumlah Paket Diterima}}{\text{Jumlah Paket Terkirim}} \times 100\% \quad 21$$

Pengujian dilakukan pada jarak 100 m, 200 m, 300 m, hingga 1000 m menggunakan antena mikrostrip. Pada setiap jarak, perangkat pengirim akan mengirimkan paket berupa unit data (ID) secara periodik dengan penomoran berurutan untuk memudahkan pendataan jumlah paket terkirim dan diterima dengan interval waktu tiga detik.