

**RANCANG BANGUN DAN ANALISIS PERBANDINGAN
ANTENA MIKROSTIP 2,4 GHz DENGAN ANTENA BAWAAN
ESP32**

SKRIPSI



Oleh :

Sukria

2203025024

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF DR HAMKA
JAKARTA**

2026

**RANCANG BANGUN DAN ANALISIS PERBANDINGAN
ANTENA MIKROSTIP 2,4 GHz DENGAN ANTENA BAWAAN
ESP32**

SKRIPSI

Disusun untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Sarjana Teknik Elektro



Oleh :

Sukria

2203025024

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF DR HAMKA
JAKARTA**

2026

HALAMAN PERSETUJUAN

RANCANG BANGUN DAN ANALISIS PERBANDINGAN ANTENA MIKROSTIP 2,4 GHz DENGAN ANTENA BAWAAN ESP32

SKRIPSI

Dibuat untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Sarjana Teknik

Oleh :

Sukria

2203025024

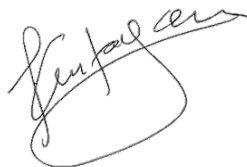
Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan ke Sidang Ujian Skripsi Program

Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri dan Informatika

Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA

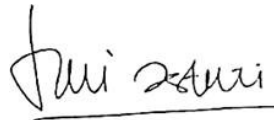
Tanggal, 24 Juli 2026

Pembimbing-1



Ir. Kun Fayakun, S.T., M.T.
NIDN. 0305125701

Pembimbing-2



Dr. Dwi Astuti Cahyasiwi, S.T., M.T.
NIDN. 0323027401

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Ir. Harry Kamza, S.T., M.T., Ph.D.
NIDN. 0303097006

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PENGESAHAN
RANCANG BANGUN DAN ANALISIS PERBANDINGAN
ANTENA MIKROSTIP 2,4 GHz DENGAN ANTENA BAWAAN
ESP32
SKRIPSI
Oleh:
Sukria
2203025024

Telah diuji dan dinyatakan lulus dalam Sidang Ujian Skripsi Program Studi
Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri dan Informatika
Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA
Tanggal, 11 Agustus 2026

Pembimbing-1

Ir. Kun Fayakun, S.T., M.T.
NIDN. 0305125701

Pembimbing-2

Dr. Dwi Astuti Cahyasiwi, S.T., M.T.
NIDN. 0323027401

Penguji-1

M. Mujiudin, S.T., M.T.
NIDN. 0312126705

Penguji-2

Rosalina, S.T., M.T.
NIDN. 0304017001

Mengesahkan,
Dekan
Fakultas Teknologi Industri dan
Informatika UHAMKA



Dr. Ir. Dan Mugisidi, S.T., M.Si., IPP
NIDN. 0301126901

Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Elektro

Ir. Harry Ramza, S.T., M.T., Ph.D.
NIDN. 0303097006

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya, yang membuat pernyataan

Nama : Sukria

NIM : 2203025024

Judul Skripsi : Rancang Bangun Dan Analisis Perbandingan
Antena Mikrostip 2.4 GHz Dengan Antena
Bawaan ESP32

Menyatakan bahwa, skripsi ini merupakan karya saya sendiri (ASLI) dan isi dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademis di suatu institusi pendidikan tinggi mana pun, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis dan/atau diterbitkan oleh orang lain, KECUALI yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Referensi.

Segala sesuatu yang terkait dengan naskah dan karya yang telah dibuat adalah menjadi tanggung jawab saya pribadi.

Jakarta, 17 Juli 2026



Sukria

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul "*Rancang Bangun dan Analisis Perbandingan Antena Mikrostrip 2,4 GHz dengan Antena Bawaan ESP32 pada Sistem Pemantauan Kualitas Air Sumur Galian Berbasis IoT.*" Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya hingga akhir zaman.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S-1) pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. DR. Hamka. Penulis menyadari bahwa penyusunan tugas akhir ini tidak akan terselesaikan tanpa doa, bantuan, bimbingan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Dengan penuh cinta dan rasa syukur, skripsi ini penulis persembahkan kepada Bapak Ardi dan Ibu Eni Sumiati, kedua orang tua tercinta yang menjadi tempat pertama penulis belajar tentang kehidupan, ketulusan, dan perjuangan. Terima kasih atas setiap doa yang tak pernah putus, kasih sayang yang tak mengenal lelah, dukungan yang selalu menguatkan, serta pengorbanan moril maupun materiel yang tidak akan pernah mampu penulis balas dengan apa pun. Di setiap langkah dan pencapaian penulis, selalu ada doa dan perjuangan Bapak dan Ibu yang menjadi bagian terbesarnya. Semoga karya sederhana ini dapat menjadi salah satu bentuk kecil dari rasa terima kasih dan kebanggaan penulis kepada kedua orang tua tercinta.
2. Bapak Dr. Dan Mugisidi, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri dan Informatika Universitas Muhammadiyah Prof. DR. Hamka.
3. Bapak Ir. Harry Ramza, M.T., Ph.D., MIPM selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika Universitas Muhammadiyah Prof. DR. Hamka.

4. Ir. Kun Fauzi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan, bimbingan, ilmu, serta motivasi kepada penulis selama proses penyusunan tugas akhir ini.
5. Dr. Dwi Astuti Cahyasiwi, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang dengan penuh kesabaran telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam memberikan bimbingan, masukan, serta saran sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
6. Segenap Sivitas Akademika Fakultas Teknologi Industri dan Informatika Universitas Muhammadiyah Prof. DR. Hamka yang telah memberikan pelayanan dan dukungan kepada penulis selama menempuh pendidikan.
7. Teruntuk Perempuan yang berada di cikarang/bekasi terimakasih selalu menjadi support system terbaik, memberikan doa, semangat, perhatian, serta menemani penulis baik dalam suka maupun duka selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
8. Talitha Trinity sahabat saya yang sudah membantu dan mensupport dalam penyusunan skripsi ini yang tak bisa ternilai harganya, semoga kebbaikannya di balas oleh allah ta'ala.
9. Dimas Abimanyu Saputra, Jujun Junaedi dan Silmi Nurlaili Sugara, selaku teman seperjuangan yang senantiasa saling mendukung, berbagi semangat, pengalaman, serta motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
10. Sahabat-sahabat penulis, yaitu Faiz Rahmat, Shalahudin Allayubi, Rizka Wirawiharza, serta Almarhum Ahmad Fauzi, yang telah memberikan semangat, dukungan, moril maupun materil yang tidak terhitung dan kenangan berharga selama perjalanan perkuliahan. Semoga Allah SWT melimpahkan rahmat dan tempat terbaik di sisi-Nya kepada Almarhum Ahamad Fauzi.
11. Serta terimakasih pada penulis itu sendiri sudah senantiasa bertahan dan tetap sabar walaupun lika liku penyusunan ini tidak mudah.
12. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan, doa, dan dukungan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis telah berupaya semaksimal mungkin untuk menghasilkan karya yang terbaik. Meskipun demikian, di tengah berbagai keterbatasan dan tantangan yang dihadapi, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan karya ini di masa yang akan datang.

Akhir kata, penulis berharap semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, menambah wawasan, serta menjadi referensi yang berguna bagi pembaca dan pihak-pihak yang memerlukannya.

Wabillahi taufiq wal hidayah, fastabiqul khairat.

Wassalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA (UHAMKA), saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama	: Sukria
NIM	: 2203025024
Program Studi	: Teknik Elektro

Menyetujui, memberikan Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*non-exclusive royalty free right*) kepada Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA (UHAMKA) atas karya ilmiah saya beserta perangkat yang ada (jika diperlukan) yang berjudul:

Rancang Bangun Dan Analisis Perbandingan Antena Mikrostrip

2.4 GHz Dengan Antena Bawaan

ESP32

Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Segala sesuatu yang terkait dengan naskah dan karya yang telah dibuat adalah menjadi tanggung jawab saya pribadi.

Jakarta, 17 Juli 2026


Sukria

ABSTRAK

Perkembangan *teknologi Internet of Things (IoT)* mendorong kebutuhan akan sistem komunikasi nirkabel yang andal, khususnya pada aplikasi pemantauan kualitas air sumur galian yang memerlukan pengiriman data sensor secara *real-time*. Keandalan komunikasi nirkabel dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti teknik modulasi dan kinerja antenna. Dalam penelitian ini, peningkatan kualitas komunikasi difokuskan pada aspek kinerja antenna melalui perancangan antenna mikrostrip sebagai alternatif antenna bawaan ESP32 yang memiliki keterbatasan performa pada pita frekuensi ISM 2,4 GHz. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, merealisasikan, dan menganalisis perbandingan kinerja antenna mikrostrip 2,4 GHz dengan antenna bawaan ESP32 pada sistem pemantauan kualitas air sumur galian berbasis IoT. Antenna mikrostrip berbentuk *rectangular patch* dirancang menggunakan substrat FR4 dengan ketebalan 1,6 mm dan disimulasikan menggunakan CST *Studio Suite*. Parameter antenna yang dianalisis meliputi *return loss*, *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)*, *bandwidth*, *gain*, dan pola radiasi. Antenna hasil perancangan kemudian direalisasikan dan diimplementasikan pada modul ESP32, selanjutnya dibandingkan dengan antenna bawaan ESP32 berdasarkan parameter kualitas komunikasi berupa *Received Signal Strength Indicator (RSSI)*, jangkauan komunikasi, serta keberhasilan pengiriman data sensor secara nirkabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa antenna mikrostrip yang dirancang memiliki nilai *return loss* di bawah -10 dB dan VSWR kurang dari 2 sehingga memenuhi kriteria kinerja antenna untuk aplikasi komunikasi Wi-Fi pada pita frekuensi 2,4 GHz. Selain itu, antenna mikrostrip memberikan kualitas komunikasi yang lebih baik dibandingkan antenna bawaan ESP32, yang ditunjukkan oleh peningkatan nilai RSSI, kestabilan koneksi, dan jangkauan komunikasi pada sistem pemantauan kualitas air sumur galian berbasis IoT.

ABSTRACT

The development of the Internet of Things (IoT) has increased the demand for reliable wireless communication systems, particularly in groundwater quality monitoring applications that require real-time sensor data transmission. Wireless communication reliability is influenced by various factors, including modulation techniques and antenna performance. In this study, communication quality improvement is focused on antenna performance by designing a microstrip antenna as an alternative to the built-in ESP32 antenna, which has performance limitations in the 2.4 GHz ISM frequency band. This research aims to design, fabricate, and analyze the performance comparison between a 2.4 GHz microstrip antenna and the built-in ESP32 antenna in an IoT-based groundwater quality monitoring system. A rectangular patch microstrip antenna was designed using an FR4 Substrate with a thickness of 1.6 mm and simulated using CST Studio Suite. The antenna performance parameters analyzed include return loss, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), bandwidth, gain, and radiation pattern. The fabricated antenna was then implemented on the ESP32 module and compared with the built-in ESP32 antenna based on wireless communication quality parameters, including the Received Signal Strength Indicator (RSSI), communication range, and successful wireless sensor data transmission. The results show that the proposed microstrip antenna achieves a return loss below -10 dB and a VSWR of less than 2, meeting the general performance criteria for Wi-Fi communication in the 2.4 GHz frequency band. Furthermore, the proposed antenna provides better wireless communication performance than the built-in ESP32 antenna, as indicated by improved RSSI, connection stability, and communication range in the IoT-based groundwater quality monitoring system.

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xix
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.3 Rumusan Masalah.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2. LANDASAN TEORI.....	7
2.1 Antena.....	7
2.2 Antena Mikrostrip.....	7
2.3 Parameter Antena.....	8
2.3.1 <i>Return loss</i> atau S_{11}	9
2.3.2 <i>Gain</i>	10
2.4 Parameter Komunikasi Nirkabel.....	11
2.4.1 <i>Received Signal Strength Indicator</i> (RSSI).....	11
2.4.2 <i>Effective Isotropic Radiated Power</i> (EIRP).....	11
2.4.3 <i>Free Space Path Loss</i> (FSPL).....	12
2.4.4 Perhitungan <i>Received Power</i> (P_r).....	13
2.4.4 <i>Receiver Sensitivity</i>	13

2.5 Sistem Komunikasi Nirkabel Pada IoT	14
2.6 Teknik Modulasi <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> (OFDM). ..	15
2.7 ESP32 Sebagai Perangkat IoT	16
2.8 Sistem Pemantauan Kualitas Air Berbasis IoT	17
2.9 Integrasi Antena Mikrostrip Dengan Sistem IoT	17
BAB 3. METODELOGI PENELITIAN.....	19
3.1 Diagram Perancangan	19
3.2 Perangkat yang Digunakan	21
3.2.1 Perangkat Lunak.....	21
3.2.2 Perangkat Keras	22
3.3 Spesifikasi Antena 2.4 GHz Dan ESP	22
3.4 Pemodelan dan Simulasi Antena 2.4 GHz	25
3.6 Fabrikasi Antena Mikrostrip	26
3.7 Pengukuran <i>Return loss</i> (S ₁₁).....	27
3.8 Integrasi Sistem IoT	28
3.9 Metode Pengujian.....	30
3.9.1 Pengujian Berdasarkan Variasi Jarak	31
3.9.2 Pengujian Berdasarkan Variasi Arah	32
3.10 Teknik Pengambilan Data	34
3.10.1 Teknik Pengambilan Data Antena	34
3.10.2 Teknik Pengambilan Data Sistem IoT	34
3.11 Teknik Analisis Data	35
3.11.1 Teknik Analisis Karakteristik Antena.....	36
3.11.2 Teknik Analisis Performa Sistem IoT	36
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	38
4.1 Hasil Fabrikasi Antena	38
4.2 Hasil Implementasi Sistem IoT	39
4.3 Hasil Simulasi <i>Return loss</i> S ₁₁	40
4.4 Hasil Pengukuran Dan Simulasi <i>Return loss</i> S ₁₁	41
4.5 Perbandingan Hasil Pengukuran Dan Simulasi	42
4.6 Hasil simulasi <i>Gain</i>	43

4.7 Perbandingan Simulasi Dan Pengukuran	44
4.8 Hasil Pengukuran Antena Bawaan ESP32 Dan Antena Mikrostrip	45
4.8.1 Pengukuran Jarak 5 Meter.....	45
4.8.2 Pengukuran Jarak 15 Meter.....	47
4.8.3 Pengukuran Jarak 25 Meter.....	48
4.8.4 Pengukuran Jarak 35 Meter.....	50
4.8.5 Pengukuran Jarak 45 Meter.....	51
4.8.6 Pengukuran Jarak 55 Meter.....	53
4.8.7 Pengukuran Jarak 60 Meter.....	54
4.8.8 Pengukuran Jarak 65 Meter.....	56
4.8.9 Pengukuran Jarak 75 Meter.....	57
4.8.10 Pengukuran Jarak 85 Meter.....	59
4.8.11 Pengukuran Jarak 90 Meter.....	60
4.8.12 Pengukuran Jarak 95 Meter.....	62
4.8.13 Hasil Pengukuran Rata-Rata Antena Bawaan ESP32 Dan Antena Mikrostrip	63
4.9 Hasil Pengukuran Antena Berdasarkan Arah (Orientasi).....	67
4.9.1 Pengukuran Berdasarkan Arah Pada Jarak 35 Meter	67
4.9.2 Pengukuran Berdasarkan Arah Pada Jarak 55 Meter	69
4.9.3 Pengukuran Berdasarkan Arah Pada Jarak 90 Meter	71
4.10 Perbandingan Kinerja Antena Mikrostrip dan Antena Bawaan ESP32	73
4.10.1 Perbandingan RSSI	73
4.10.2 Perbandingan Jarak Maksimum Komunikasi.	74
4.10.3 Perbandingan Keberhasilan Pengiriman Data.....	75
4.10.4 Analisis Link Budget.....	76
BAB 5. PENUTUP	85
5.1 Kesimpulan	85
5.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN.....	91

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Antena Mikrostrip Yang Akan Digunakan	22
Tabel 3.2 Spesifikasi Substrat Yang Digunakan.....	23
Tabel 3.3 Spesifikasi SEP32 Yang Digunakan.....	23
Tabel 3.3 Spesifikasi SEP32 Yang Digunakan (Lanjutan)	24
Tabel 3.4 Ukuran Parameter Antena Mikrostrip.....	25
Tabel 4.1 Hasil simulasi dan Pengukuran Antena	44
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip	45
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip	47
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip	48
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip	50
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip	51
Tabel 4.7 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip (Lanjutan).....	52
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip	53
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip	54
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip (Lanjutan).....	55
Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip.....	56
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip	57
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip (Lanjutan).....	58
Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip	59
Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip	60
Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip (Lanjutan).....	61
Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip	62
Tabel 4. 18 Rata-rata Hasil Pengukuran RSSI dan TDS	64
Tabel 4. 19 Tabel Hasil Pengukuran RSSI Dan TDS berdasarkan variasi arah	67
Tabel 4. 20 Tabel Hasil Pengukuran RSSI Dan TDS berdasarkan variasi arah	69

Tabel 4. 21 Tabel Hasil Pengukuran RSSI Dan TDS berdasarkan variasi arah	71
Tabel 4. 22 Perbandingan Nilai RSSI	74
Tabel 4. 23 Perbandingan Jarak Maksimum Komunikasi.....	74
Tabel 4. 24 Perbandingan Keberhasilan Pengiriman Data	75
Tabel 4. 25 Hasil Perhitungan EIRP	77
Tabel 4. 26 Hasil Perhitungan FSPL	78
Tabel 4. 27 Hasil perhitungan Perhitungan Received Power	81
Tabel 4. 28 Hasil Perhitungan <i>Link Margin</i>	83

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Elemen Antena Mikrostrip (Balanis, 2005).....	8
Gambar 3.1 Alur Diagram Perancangan	19
Gambar 3.2 Antena Tampak Depan	26
Gambar 3.3 Antena Tampak Belakang.....	26
Gambar 3.4 Setup Pengukuran Menggunakan VNA	27
Gambar 3. 5 Gambar 3.5 Integrasi Antena Bawaan.....	28
Gambar 3. 6 Integrasi Antena Mikrostrip.....	29
Gambar 3.7 Diagram Alur Pengiriman Data.....	30
Gambar 3.8 Layout Pengujian Sistem Variasi Jarak	31
Gambar 3.9 Layout Pengujian Sistem Variasi Arah.....	33
Gambar 4.1 Hasil Fabrikasi Antena	38
Gambar 4.2 Implementasi sistem menggunakan antena bawaan ESP32.....	39
Gambar 4.3 Implementasi sistem menggunakan antena filter mikrostrip.....	40
Gambar 4.4 Hasil Simulasi S11	41
Gambar 4.5 Hasil Pengukuran S11	41
Gambar 4.6 Perbandingan Hasil Pengukuran Dan Simulasi.....	42
Gambar 4.7 Hasil Simulasi <i>Gain</i>	43
Gambar 4.8 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	46
Gambar 4.9 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	46
Gambar 4.10 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32 ...	47
Gambar 4.11 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	47
Gambar 4.12 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32 ...	49
Gambar 4.13 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	49
Gambar 4.14 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32 ...	50
Gambar 4.15 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	51
Gambar 4.16 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32 ...	52
Gambar 4.17 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32 ...	52
Gambar 4.18 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32 ...	53
Gambar 4. 19 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	54

Gambar 4. 20 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32 ...	55
Gambar 4. 21 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	55
Gambar 4. 22 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32 ...	57
Gambar 4. 23 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	57
Gambar 4. 24 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32 ...	58
Gambar 4. 25 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	58
Gambar 4. 26 Grafik Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	59
Gambar 4. 27 Grafik Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	60
Gambar 4. 28 Grafik Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	61
Gambar 4. 29 Grafik Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	61
Gambar 4. 30 Grafik Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	62
Gambar 4. 31 Grafik Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32	63
Gambar 4. 32 Perbandingan Rata-Rata RSSI Pada Jarak 5-90 Meter	65
Gambar 4. 33 Perbandingan Rata-Rata RSSI Pada Jarak 5-90 Mete.....	66
Gambar 4. 34 Perbandingan RSSI berdasarkan arah pada jarak 35 m (Antena Mikrostrip vs Antena Bawaan).....	68
Gambar 4. 35 Perbandingan TDS berdasarkan arah pada jarak 35 m (Antena Mikrostrip vs Antena Bawaan).....	68
Gambar 4. 36 Perbandingan RSSI berdasarkan arah pada jarak 55 m (Antena Mikrostrip vs Antena Bawaan).....	69
Gambar 4. 37 Perbandingan TDS berdasarkan arah pada jarak 55 m (Antena Mikrostrip vs Antena Bawaan).....	70
Gambar 4. 38 Perbandingan RSSI berdasarkan arah pada jarak 90 m (Antena Mikrostrip vs Antena Bawaan).....	72

Gambar 4. 39 Perbandingan TDS berdasarkan arah pada jarak 90 m (Antena Mikrostrip vs Antena Bawaan).....	72
--	----

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A Program Yang Digunakan	91
Lampiran B Dokumentasi	92
Lampiran C Data Sheet	95
Lampiran D Lembar Bimbingan	96
Lampiran E Halaman Persetujuan	97
Lampiran F Surat-Surat.....	98
Lampiran G Lembar Hasil Turnitin.....	100
Lampiran H Perhitungan	101

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) dalam beberapa tahun terakhir mengalami peningkatan yang sangat pesat dan telah diterapkan pada berbagai bidang, seperti industri, pertanian, kesehatan, transportasi, serta pemantauan lingkungan. *Internet of Things* merupakan konsep yang memungkinkan berbagai perangkat saling terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu melakukan proses pengumpulan, pengiriman, dan pertukaran data secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung. Penerapan teknologi ini memungkinkan proses pemantauan dilakukan secara *real-time*, sehingga dapat meningkatkan efisiensi, efektivitas, dan kecepatan dalam pengambilan keputusan (Al-Fuqaha et al., 2015; Rai et al., 2023).

Salah satu penerapan *Internet of Things* yang berkembang pesat adalah pada sistem pemantauan kualitas air. Air merupakan kebutuhan dasar yang harus memenuhi standar kualitas agar aman digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Di Indonesia, air sumur galian masih menjadi salah satu sumber air bersih bagi masyarakat, terutama di wilayah yang belum terjangkau jaringan air perpipaan. Namun, kualitas air sumur galian dapat mengalami perubahan akibat pencemaran limbah domestik maupun kondisi lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan yang mampu memberikan informasi kondisi kualitas air secara cepat dan berkelanjutan sehingga perubahan kualitas air dapat segera diketahui (Singh & Walingo, 2024).

Pemanfaatan teknologi IoT memungkinkan proses pemantauan kualitas air dilakukan secara otomatis menggunakan berbagai sensor, seperti sensor pH, Total *Dissolved Solids* (TDS), suhu, dan kekeruhan. Data hasil pembacaan sensor kemudian dikirim melalui jaringan komunikasi nirkabel menuju sistem monitoring sehingga dapat ditampilkan secara *real-time* kepada pengguna. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring kualitas air berbasis IoT mampu meningkatkan efektivitas pemantauan sekaligus mempermudah proses pengawasan

tanpa harus melakukan pengukuran secara langsung di lokasi (Prasetyo et al., 2024; Singh & Walingo, 2024).

Meskipun demikian, keberhasilan sistem monitoring berbasis IoT tidak hanya dipengaruhi oleh akurasi sensor, tetapi juga ditentukan oleh keandalan komunikasi nirkabel dalam mengirimkan data. Gangguan pada proses komunikasi dapat menyebabkan data tidak diterima dengan baik sehingga memengaruhi kualitas sistem pemantauan. Oleh karena itu, kualitas komunikasi nirkabel menjadi salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan dalam pengembangan sistem *Internet of Things* (Yusri et al., 2024).

Pada sistem komunikasi nirkabel, antena merupakan komponen yang berfungsi memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik sehingga berpengaruh terhadap kualitas komunikasi. Karakteristik antena, seperti *gain*, *bandwidth*, pola radiasi, dan *return loss*(S11), menentukan kualitas sinyal yang diterima maupun dipancarkan. Antena dengan karakteristik yang kurang baik dapat menyebabkan penurunan kekuatan sinyal, berkurangnya jangkauan komunikasi, serta meningkatnya kemungkinan kegagalan pengiriman data, terutama pada pita frekuensi *Industrial Scientific and Medical* (ISM) 2,4 GHz yang digunakan secara luas oleh berbagai perangkat komunikasi nirkabel (Khan et al., 2024).

Pita frekuensi ISM 2,4 GHz banyak digunakan pada sistem IoT karena bersifat bebas lisensi dan mendukung teknologi komunikasi seperti Wi-Fi dan *Bluetooth*. Salah satu modul yang banyak digunakan adalah ESP32, yang memanfaatkan jaringan Wi-Fi pada frekuensi tersebut untuk mengirimkan data sensor. Namun, kualitas komunikasi ESP32 sangat dipengaruhi oleh performa antena yang digunakan, terutama ketika komunikasi dilakukan pada jarak yang lebih jauh atau pada lingkungan yang berpotensi mengalami interferensi (Molins-Benlliure et al., 2023; Mozaffariahrar et al., 2022).

Salah satu jenis antena yang banyak digunakan untuk aplikasi IoT adalah antena mikrostrip karena memiliki ukuran yang ringkas, bobot ringan, biaya fabrikasi yang relatif rendah, serta mudah diintegrasikan dengan perangkat elektronik. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa antena mikrostrip pada frekuensi 2,4 GHz mampu memenuhi karakteristik yang baik, seperti nilai *return loss*(S11) di bawah -10 dB

dan VSWR kurang dari 2, sehingga layak digunakan untuk mendukung komunikasi Wi-Fi (Khan et al., 2024; Molins-Benlliure et al., 2023). Meskipun demikian, sebagian besar implementasi sistem IoT masih menggunakan antenna bawaan ESP32 yang dirancang untuk kebutuhan komunikasi umum. Oleh karena itu, penggunaan antenna mikrostrip sebagai antenna eksternal menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan performa komunikasi nirkabel pada sistem IoT.

Berbagai penelitian mengenai antenna mikrostrip pada frekuensi 2,4 GHz telah menunjukkan bahwa antenna mikrostrip memiliki karakteristik yang baik untuk mendukung komunikasi nirkabel. Permata Isra et al. (2024) dan Ma'ruf (2024) melaporkan bahwa antenna mikrostrip yang dirancang mampu bekerja pada frekuensi 2,4 GHz dengan nilai *return loss*(S11) di bawah -10 dB dan Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) kurang dari 2, sehingga memenuhi karakteristik dasar antenna untuk aplikasi Wi-Fi. Meskipun demikian, kedua penelitian tersebut masih berfokus pada perancangan dan karakterisasi antenna tanpa implementasi pada sistem *Internet of Things* (IoT).

Penelitian yang paling mendekati topik ini dilakukan oleh Siraj et al. (2026) yang mengimplementasikan antenna mikrostrip 2,4 GHz pada modul ESP32 untuk sistem pemantauan kesehatan berbasis IoT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan antenna mikrostrip mampu meningkatkan kualitas sinyal komunikasi berdasarkan parameter *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) dibandingkan antenna bawaan ESP32. Namun, penelitian tersebut masih dilakukan pada kondisi pengujian yang terbatas sehingga belum mengevaluasi performa komunikasi hingga batas maksimum jangkauan maupun pada berbagai variasi arah pengujian.

Pada sisi aplikasi, berbagai penelitian telah berhasil mengembangkan sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT menggunakan ESP32 dan komunikasi Wi-Fi. Penelitian Prasetyo et al. (2024), Mulyantika et al. (2023), Yusri et al. (2024), dan Musdalifah et al. (2024) menunjukkan bahwa teknologi IoT mampu mendukung proses pemantauan kualitas air secara *real-time* melalui pengiriman data sensor menggunakan jaringan Wi-Fi. Namun, penelitian-penelitian tersebut lebih menitikberatkan pada pengembangan sistem monitoring dan akurasi sensor,

sedangkan evaluasi terhadap performa komunikasi nirkabel maupun pengaruh penggunaan antena terhadap kualitas sinyal masih belum banyak dibahas.

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, penelitian mengenai antena mikrostrip umumnya masih berfokus pada perancangan dan karakterisasi antena, sedangkan penelitian sistem *Internet of Things* (IoT) lebih banyak menitikberatkan pada pengembangan sistem pemantauan kualitas air. Penelitian yang mengimplementasikan antena mikrostrip pada modul ESP32 telah menunjukkan adanya peningkatan kualitas sinyal komunikasi dibandingkan antena bawaan ESP32. Namun, pengujian performa komunikasi pada penelitian tersebut masih dilakukan pada jarak yang terbatas. Sementara itu, penelitian mengenai sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT umumnya belum mengevaluasi pengaruh penggunaan antena terhadap kualitas komunikasi. Oleh karena itu, masih diperlukan penelitian yang mengevaluasi performa komunikasi antena mikrostrip dan antena bawaan ESP32 hingga mencapai batas maksimum jangkauan komunikasi serta pada berbagai variasi arah pengujian dalam sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT.

Oleh karena itu, penelitian ini mengimplementasikan antena mikrostrip 2,4 GHz yang mengacu pada desain antena yang telah dipublikasikan untuk diintegrasikan sebagai antena eksternal pada modul ESP32 dalam sistem pemantauan kualitas air sumur galian berbasis IoT. Sebelum diimplementasikan, antena dievaluasi berdasarkan parameter *return loss*(S11) untuk memastikan antena bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. Selanjutnya dilakukan perbandingan performa komunikasi antara antena mikrostrip dan antena bawaan ESP32 berdasarkan parameter *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), jangkauan komunikasi maksimum, serta keberhasilan pengiriman data sensor TDS melalui pengujian pada berbagai variasi arah. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai pengaruh penggunaan antena mikrostrip terhadap performa komunikasi nirkabel pada sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT.

1.2 Tujuan Penelitian

- 1) Menghasilkan antenna mikrostrip 2,4 GHz yang dapat di integrasikan pada modul ESP32 ?
- 2) Menganalisis karakteristik kinerja antenna mikrostrip berdasarkan parameter *return loss*(S11), Bandwith, dan *Gain*.
- 3) Mengetahui perbandingan antenna eksternal ESP32 dan antenna mikrostrip.

1.4 Batasan masalah

- 1) Simulasi antenna menggunakan *CST Studio*.
- 2) Penelitian tidak membahas proses perancangan dimensi dasar antenna dari awal, tetapi difokuskan pada fabrikasi, implementasi, dan analisis kinerja antenna pada sistem IoT.
- 3) Sistem IoT digunakan sebagai media uji komunikasi data, bukan untuk analisis kualitas air secara kimia atau biologis.
- 4) Pengujian dilakukan pada skala laboratorium dan lingkungan terbatas.

1.5 Manfaat Penelitian

- 1) Memberikan informasi mengenai integrasi antenna mikrostrip 2,4 GHz pada modul ESP32 dalam sistem komunikasi berbasis *Internet of Things* (IoT).
- 2) Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai implementasi antenna eksternal pada sistem komunikasi berbasis *Internet of Things* (IoT).
- 3) Menjadi bahan pertimbangan dalam pemilihan dan penggunaan antenna eksternal untuk meningkatkan kinerja komunikasi pada modul ESP32.

1.3 Rumusan Masalah

- 1) Bagaimana proses fabrikasi dan integrasi antenna 2,4 GHz pada modul ESP32 ?
- 2) Bagaimana karakteristik antenna berdasarkan parameter *Return Loss* (S11), Bandwith, dan *Gain* ?
- 3) Bagaimana perbandingan kinerja antenna 2,4 GHz dan antenna bawaan ESP32 ?

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi ini disusun menjadi lima bab yang saling berkaitan, yaitu sebagai berikut.

Bab 1. Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan skripsi.

Bab 2. Landasan Teori

Bab ini berisi landasan teori yang mendukung penelitian, meliputi konsep *Internet of Things* (IoT), komunikasi Wi-Fi, modul ESP32, antena mikrostrip, parameter karakteristik antena, sensor *Total Dissolved Solids*(TDS), serta penelitian terdahulu yang menjadi dasar dan acuan penelitian.

Bab 3. Metodologi Penelitian

Bab ini menjelaskan tahapan penelitian yang meliputi perancangan dan fabrikasi antena, integrasi antena dengan sistem IoT berbasis ESP32, metode pengujian karakteristik antena dan sistem komunikasi, teknik pengambilan data, serta teknik analisis data.

Bab 4. Hasil Dan Pembahasan

Bab ini menyajikan hasil pengukuran karakteristik antena, hasil pengujian sistem komunikasi menggunakan antena mikrostrip dan antena bawaan ESP32, analisis perbandingan berdasarkan nilai RSSI, jangkauan komunikasi, data TDS, serta pembahasan hasil yang diperoleh.

Bab 5. Penutup

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian serta saran yang dapat digunakan sebagai pengembangan penelitian selanjutnya.

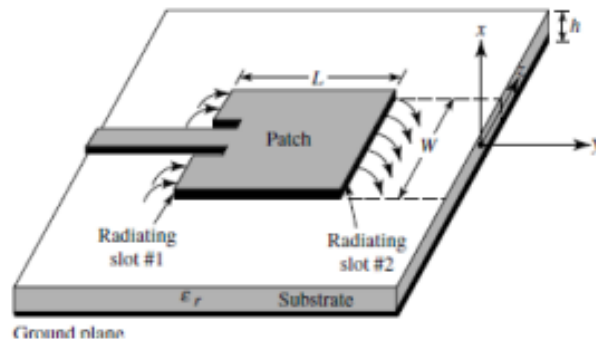
BAB 2. LANDASAN TEORI

2.1 Antena

Antena merupakan perangkat yang berfungsi sebagai transduser yang menghubungkan gelombang terbimbing pada saluran transmisi dengan gelombang elektromagnetik di ruang bebas, baik pada proses pemancaran maupun penerimaan sinyal (Balanis, 2005). Berdasarkan bentuk dan prinsip kerjanya, antena dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis, antara lain antena *dipole*, *monopole*, *Yagi-Uda*, *horn*, dan antena mikrostrip. Antena *dipole* dan *monopole* memiliki konstruksi yang sederhana namun berukuran relatif besar, sedangkan antena *Yagi-Uda* dan *horn* mampu menghasilkan *gain* tinggi tetapi kurang sesuai untuk aplikasi komunikasi yang menuntut dimensi kompak. Oleh karena itu, antena mikrostrip banyak digunakan pada sistem komunikasi modern karena memiliki ukuran kecil, profil rendah, bobot ringan, mudah difabrikasi menggunakan teknik PCB, serta mudah diintegrasikan dengan rangkaian RF (Balanis, 2005). Selain itu, antena mikrostrip dapat dirancang untuk bekerja pada lebih dari satu frekuensi (dual-band), sehingga sesuai untuk aplikasi Wi-Fi yang beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz dan 5 GHz.

2.2 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950 dan mengalami perkembangan signifikan hingga dekade 1970-an. Penelitian selama beberapa dekade terakhir telah membuktikan kemampuan antena ini untuk dimodifikasi sesuai kebutuhan guna meningkatkan performa sistem komunikasi. Antena mikrostrip merupakan salah satu jenis antena yang paling banyak digunakan dalam riset karena keunggulan bentuknya yang kompak dan sesuai dengan kebutuhan telekomunikasi moderen, seperti sistem 5G, IoT, dan komunikasi nirkabel lainnya. (Elabbasi et al., 2025)



Gambar 2. 1 Elemen Antena Mikrostrip (Balanis, 2005)

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1, elemen utama antena mikrostrip terdiri atas *ground plane*, substrat, *patch*, dan saluran pencatu (*feed line*). (Pangestu et al., 2024). *Ground plane* adalah lapisan konduktor di bagian paling bawah, berfungsi sebagai pemantul gelombang elektromagnetik. *Substrate* (*dielektrik*) berada di atas *ground*, berfungsi sebagai media isolator dan penyalur gelombang antara *patch* dan *ground*, dengan karakteristik kunci berupa permitivitas relatif (ϵ_r , ϵ_r) dan ketebalan (h , h) (Prabhakar et al., 2024). *Patch* adalah elemen logam di permukaan atas *Substrate*, biasanya berbentuk persegi panjang atau variasi lainnya, yang bertugas memancarkan dan menerima sinyal (Tun et al., 2023). *Feed line* adalah saluran yang memberikan eksitasi arus ke *patch*; salah satu teknik populer adalah *inset-feed* untuk memaksimalkan kecocokan impedansi dan meningkatkan efisiensi radiasi (Putri & Nawi, 2025).

Antena mikrostrip memiliki berbagai bentuk geometri yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi. Pada penelitian ini digunakan antena 2,4 GHz berbasis mikrostrip yang mengacu pada desain penelitian sebelumnya. Oleh karena itu, penelitian tidak membahas proses penentuan dimensi *patch* menggunakan persamaan teoritis, tetapi berfokus pada implementasi dan analisis performa antena pada sistem komunikasi IoT.

2.3 Parameter Antena

Parameter antena adalah ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja antena dalam sistem komunikasi, parameter-parameter ini membantu menentukan

nilai seberapa efektifitas antenna dalam memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik, Dengan memahami parameter antenna, pengguna dapat memilih dan merancang antenna yang sesuai untuk aplikasi tertentu (Benge, 2024).

2.3.1 *Return loss* atau S_{11}

Return loss atau S_{11} merupakan parameter yang menunjukkan besarnya daya sinyal yang dipantulkan kembali akibat ketidakcocokan impedansi (*impedance mismatch*) antara saluran transmisi dan antenna. Parameter ini menyatakan hubungan antara gelombang yang dipantulkan terhadap gelombang yang datang, sehingga digunakan untuk mengevaluasi kualitas pencocokan impedansi antenna (Nurfitriani et al., 2018). *Return loss* terjadi akibat adanya ketidakcocokan impedansi antara saluran transmisi dan antenna. Besarnya nilai *return loss* dinyatakan dalam satuan desibel (dB) (Pambudiyatno et al., 2022). Pada umumnya antenna dikatakan memiliki performa yang baik apabila nilai *return loss* memenuhi kriteria ≤ -10 dB, yang menunjukkan bahwa sebagian besar daya berhasil ditransmisikan ke antenna dan hanya sebagian kecil yang dipantulkan kembali. (Balanis, 2008) (2.1) dibawah ini :

$$RL = 20 \log |\Gamma| = 20 \log 10 (VSWR - 1) \quad 2.1$$

$$VSWR + 1$$

Keterangan:

- RL = S_{11}
- Γ = Koefisien refleksi
- $VSWR$ = Voltage Standing Wave Rati

Dari persamaan (1) diketahui bahwa nilai *return loss* sangat dipengaruhi oleh VSWR, yang mana VSWR merupakan nilai perbandingan amplitudo gelombang tegangan berdiri maksimum ($|V_{max}|$) terhadap amplitudo tegangan berdiri minimum ($|V_{min}|$). Nilai VSWR dapat ditentukan melalui persamaan (2.2) berikut:

$$S = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \text{ Standing Wave Ratio} \quad 2.2$$

Berdasarkan Persamaan (2.6), nilai VSWR dipengaruhi oleh *koefisien refleksi* (Γ). Semakin besar nilai *koefisien refleksi*, semakin besar pula nilai VSWR yang dihasilkan. Hal tersebut menunjukkan bahwa daya yang dipantulkan semakin besar sehingga pencocokan impedansi antara saluran transmisi dan antenna menjadi semakin buruk (Christyono et al., 2016).

Selain *return loss* s, parameter lain yang penting dalam mengevaluasi performa antenna adalah *gain* antenna. *Gain* menunjukkan kemampuan antenna dalam memusatkan energi radiasi ke arah tertentu sehingga berpengaruh terhadap kualitas komunikasi nirkabel.

2.3.2 Gain

Gain merupakan perbandingan antara rapat daya yang dipancarkan oleh suatu antenna pada arah tertentu dengan rapat daya antenna referensi yang bekerja pada daya masukan dan arah yang sama (Arfianto et al., 2022). Parameter ini menunjukkan kemampuan antenna dalam memusatkan dan memperkuat energi elektromagnetik ke arah tertentu.

Sebagai salah satu parameter utama antenna, *gain* menggambarkan tingkat penguatan sinyal yang dihasilkan dari proses konversi daya masukan menjadi daya radiasi. Semakin besar nilai *gain*, semakin efektif antenna memancarkan energi ke arah yang diinginkan sehingga kekuatan sinyal yang diterima oleh penerima juga semakin meningkat (Christyono et al., 2016). Nilai *gain* dipengaruhi oleh dua faktor utama, yaitu *directivity* (keterarahan) dan efisiensi antenna. Secara matematis, nilai *gain* dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.3).

$$Gain = 4\pi \frac{\text{radiation intensity}}{\text{total input(accepted)power}} = 4\pi \frac{U(\theta, \varphi)}{P_{in}} \quad 2.3$$

2.4 Parameter Komunikasi Nirkabel

Kinerja sistem komunikasi nirkabel dipengaruhi oleh beberapa parameter yang berkaitan dengan proses propagasi gelombang radio dan kemampuan perangkat dalam memancarkan maupun menerima sinyal. Oleh karena itu, pemahaman terhadap parameter komunikasi nirkabel diperlukan sebagai dasar dalam menganalisis performa sistem pada penelitian ini. Parameter yang dibahas meliputi RSSI, EIRP, FSPL, dan *Receiver Sensitivity*.

2.4.1 *Received Signal Strength Indicator (RSSI)*

Received Signal Strength Indicator (RSSI) merupakan parameter yang menunjukkan tingkat kekuatan sinyal radio yang diterima oleh suatu perangkat komunikasi. Nilai RSSI umumnya dinyatakan dalam satuan dBm dan bernilai negatif. Nilai RSSI yang semakin mendekati 0 dBm menunjukkan kualitas sinyal yang semakin baik, sedangkan nilai yang semakin negatif menunjukkan bahwa sinyal yang diterima semakin lemah (Espressif Systems, 2023).

Pada sistem komunikasi Wi-Fi berbasis ESP32, nilai RSSI dapat diperoleh secara langsung menggunakan fungsi pemrograman yang disediakan oleh pustaka Wi-Fi. Nilai RSSI dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain daya pancar, *gain* antena, jarak komunikasi, redaman propagasi, serta kondisi lingkungan seperti adanya penghalang dan fenomena multipath.

Dalam penelitian ini, RSSI digunakan sebagai parameter utama untuk membandingkan performa antena bawaan ESP32 dan antena mikrostrip terhadap kemampuan penerimaan sinyal pada setiap variasi jarak pengujian.

2.4.2 *Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)*

Effective Isotropic Radiated Power (EIRP) merupakan besarnya daya pancar efektif yang dipancarkan suatu antena terhadap antena isotropik ideal. Nilai EIRP tidak hanya dipengaruhi oleh daya keluaran pemancar (*transmit power*), tetapi juga dipengaruhi oleh *gain* antena serta rugi-rugi (*loss*) yang terjadi pada sistem transmisi, seperti rugi-rugi kabel dan konektor. Parameter ini digunakan untuk menggambarkan kemampuan sistem pemancar dalam memancarkan energi

elektromagnetik ke ruang bebas sehingga menjadi salah satu parameter penting dalam analisis komunikasi nirkabel (Balanis, 2016).

Secara matematis, EIRP dapat dihitung menggunakan Persamaan (2.).

$$EIRP = P_t + G_t - L \quad 2.4$$

Keterangan :

- $EIRP$ = *Effective Isotropic Radiated Power* (dBm)
- P_t = Daya pancar (*Transmit power*) ESP32 (dBm)
- G_t = *Gain* antena pemancar (dBi)
- L = Rugi-rugi sistem (*cable loss* dan *connector loss*) (dB)

Pada penelitian ini, rugi-rugi sistem (L) diasumsikan bernilai 0 dB pada antena bawaan ESP32 karena tidak menggunakan kabel transmisi eksternal. Untuk antena mikrostrip yang menggunakan kabel pigtail *U.FL to SMA* memiliki *insertion loss* sebesar 0,8 dB pada frekuensi 2,4 GHz untuk panjang kabel 150 mm dan 1,0 dB untuk panjang kabel 229 mm. Dengan demikian, kabel sepanjang sekitar 200 mm diperkirakan memiliki *insertion loss* sekitar 0,9 dB, sehingga rugi-rugi transmisi yang ditimbulkan relatif kecil dan masih sesuai untuk aplikasi komunikasi Wi-Fi pada pita frekuensi 2,4 GHz (*Pulse Electronics*, 2020).

2.4.3 Free Space Path Loss (FSPL)

Free Space Path Loss (FSPL) merupakan redaman daya sinyal yang terjadi ketika gelombang elektromagnetik merambat di ruang bebas tanpa adanya hambatan maupun pantulan. Besarnya redaman dipengaruhi oleh frekuensi operasi dan jarak antara pemancar dan penerima. Semakin besar jarak propagasi, maka redaman yang dialami sinyal juga semakin besar sehingga daya yang diterima akan semakin kecil (Rappaport, 2002).

Persamaan *Free Space Path Loss* dinyatakan sebagai berikut.

$$FSPL(dB) = 32.44 + 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) \quad 2.5$$

Keterangan :

- d = Jarak (km)
- f = Frekuensi (MHz)

Pada penelitian ini, frekuensi komunikasi yang digunakan adalah 2,4 GHz (2400 MHz) sesuai dengan standar IEEE 802.11 b/g/n, sedangkan nilai d merupakan variasi jarak pengujian antara ESP32 dan *access point*.

Nilai FSPL digunakan untuk menjelaskan secara teoritis peningkatan redaman sinyal seiring bertambahnya jarak komunikasi, kemudian dibandingkan dengan hasil pengukuran RSSI pada setiap variasi jarak.

2.4.4 Perhitungan *Received Power* (P_r)

Received Power (P_r) merupakan estimasi daya sinyal yang diterima setelah daya pancar efektif (*Equivalent Isotropically Radiated Power*/EIRP) mengalami redaman propagasi selama proses transmisi. Besarnya daya sinyal yang diterima dipengaruhi oleh nilai EIRP dan *Free Space Path Loss* (FSPL). Pada penelitian ini, nilai *Received Power* dihitung untuk mengetahui kecenderungan perubahan daya sinyal yang diterima pada setiap variasi jarak komunikasi sebagai bagian dari analisis link budget.

2.4.4 Receiver Sensitivity

Receiver Sensitivity merupakan batas minimum daya sinyal yang masih dapat diterima oleh suatu perangkat komunikasi sehingga proses penerimaan data masih dapat berlangsung dengan baik. Nilai *Receiver Sensitivity* merupakan karakteristik perangkat penerima dan diperoleh dari spesifikasi teknis yang diberikan oleh pabrikan. Semakin kecil (lebih negatif) nilai *Receiver Sensitivity*, maka perangkat memiliki kemampuan menerima sinyal yang lebih lemah (Espressif Systems, 2023).

Pada penelitian ini, *Receiver Sensitivity* tidak digunakan sebagai parameter pembanding utama, tetapi sebagai acuan teoritis untuk menjelaskan batas kemampuan penerima ESP32 dalam menerima sinyal. Selanjutnya, performa komunikasi dianalisis menggunakan nilai RSSI hasil pengukuran serta keberhasilan pengiriman data pada setiap variasi jarak.

2.4 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan suatu konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik melalui jaringan internet sehingga perangkat tersebut dapat saling berkomunikasi, bertukar data, serta menjalankan proses secara otomatis dengan intervensi manusia yang minimal. Sistem IoT umumnya terdiri atas sensor sebagai pengumpul data, unit pemrosesan, modul komunikasi untuk transmisi data, serta platform berbasis internet yang berfungsi sebagai media penyimpanan, pengolahan, dan visualisasi data (Rai et al., 2023).

Perkembangan teknologi IoT telah mendorong penerapannya pada berbagai bidang, salah satunya adalah sistem pemantauan kualitas air. Melalui pemanfaatan sensor dan komunikasi nirkabel, sistem IoT mampu melakukan pengukuran secara *real-time*, berkelanjutan, dan dapat dipantau dari jarak jauh. Keandalan sistem tersebut dipengaruhi oleh kualitas komunikasi nirkabel antara perangkat sensor dan pusat pemantauan, sehingga pemilihan teknologi komunikasi serta antena yang memiliki kinerja baik menjadi faktor penting dalam mendukung keberhasilan sistem pemantauan berbasis IoT (de Camargo et al., 2023).

2.5 Sistem Komunikasi Nirkabel Pada IoT

Sistem komunikasi nirkabel pada *Internet of Things* (IoT) merupakan mekanisme pertukaran data antarperangkat tanpa menggunakan media kabel, melainkan melalui gelombang elektromagnetik. Pada sistem IoT, komunikasi nirkabel berperan dalam mengirimkan data hasil pembacaan sensor menuju perangkat penerima atau server untuk diproses dan ditampilkan secara *real-time*. Beberapa teknologi komunikasi nirkabel yang umum digunakan pada IoT antara lain Wi-Fi (IEEE 802.11), *Bluetooth*, ZigBee, LoRa, dan NB-IoT. Pemilihan teknologi komunikasi bergantung pada kebutuhan aplikasi, seperti jangkauan komunikasi, kecepatan transmisi data, konsumsi daya, dan kapasitas jaringan (Rai et al., 2023).

Wi-Fi merupakan salah satu teknologi komunikasi nirkabel yang banyak digunakan pada sistem IoT, terutama untuk aplikasi yang memerlukan laju transmisi data relatif tinggi dan terhubung dengan jaringan internet. Wi-Fi bekerja pada pita frekuensi *Industrial Scientific and Medical* (ISM), salah satunya pita 2,4

GHz yang memiliki rentang frekuensi 2,400–2,4835 GHz. Pita frekuensi ini digunakan secara luas karena bersifat bebas lisensi serta didukung oleh berbagai perangkat komunikasi, seperti ESP32, komputer, router, dan smartphone (Khorov et al., 2022).

Meskipun demikian, penggunaan pita ISM 2,4 GHz menghadapi tantangan berupa interferensi akibat banyaknya perangkat yang beroperasi pada pita frekuensi yang sama serta pengaruh lingkungan propagasi terhadap kualitas sinyal. Oleh karena itu, diperlukan antenna dengan karakteristik pencocokan impedansi (*impedance matching*), *bandwidth*, dan pola radiasi yang baik agar komunikasi nirkabel dapat berlangsung secara lebih andal (Khan et al., 2024).

2.6 Teknik Modulasi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)

Modulasi merupakan proses mengubah sinyal informasi ke dalam sinyal pembawa (carrier) agar dapat ditransmisikan melalui media komunikasi. Pada sistem komunikasi nirkabel, teknik modulasi merupakan salah satu faktor yang memengaruhi kualitas dan keandalan transmisi data, selain faktor kinerja antenna, daya pancar, sensitivitas penerima, serta kondisi propagasi sinyal.

Salah satu teknik modulasi yang digunakan pada sistem Wi-Fi adalah *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Menurut Khorov et al. (2022), OFDM merupakan teknik modulasi multicarrier yang membagi data menjadi beberapa subcarrier. Setiap subcarrier dirancang saling ortogonal sehingga data dapat ditransmisikan secara paralel tanpa menimbulkan interferensi antar-subcarrier (Khorov et al., 2022). Karakteristik tersebut memungkinkan OFDM memanfaatkan spektrum frekuensi secara lebih efisien dan mendukung komunikasi data pada jaringan nirkabel (Khorov et al., 2022).

Berdasarkan Huang et al. (2022), teknik modulasi OFDM diterapkan pada sistem komunikasi WLAN yang mengacu pada standar IEEE 802.11. Modul ESP32 mendukung komunikasi Wi-Fi berdasarkan standar IEEE 802.11 b/g/n, sehingga pada saat beroperasi menggunakan mode IEEE 802.11g atau IEEE 802.11n, teknik modulasi yang digunakan mengikuti standar tersebut, yaitu OFDM (Huang et al., 2022). Pada penelitian ini, pembahasan difokuskan pada perbandingan kinerja

antena mikrostrip dengan antenna bawaan ESP32 dalam mendukung kualitas komunikasi nirkabel pada sistem pemantauan kualitas air sumur galian berbasis IoT.

2.7 ESP32 Sebagai Perangkat IoT

ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh *Espressif Systems* dan telah dilengkapi dengan modul Wi-Fi IEEE 802.11 b/g/n pada pita frekuensi 2,4 GHz serta *Bluetooth* terintegrasi. Kemampuan tersebut memungkinkan ESP32 melakukan komunikasi data secara nirkabel tanpa memerlukan modul komunikasi tambahan, sehingga banyak digunakan pada berbagai aplikasi *Internet of Things* (IoT) (Espressif Systems, 2023).

Selain menggunakan antenna bawaan (*on-board antenna*), beberapa varian ESP32 juga mendukung penggunaan antenna eksternal melalui konektor *U.FL* yang dihubungkan ke konektor SMA menggunakan kabel pigtail *U.FL to SMA*. Penggunaan antenna eksternal memberikan fleksibilitas dalam meningkatkan kualitas komunikasi nirkabel, terutama pada aplikasi yang memerlukan jangkauan komunikasi yang lebih luas dan koneksi yang lebih stabil. Namun, penggunaan kabel pigtail menyebabkan rugi-rugi transmisi (*insertion loss*) yang perlu diperhatikan. Berdasarkan datasheet *Pulse Electronics*, kabel pigtail *U.FL to SMA* memiliki *insertion loss* sebesar 0,8 dB pada frekuensi 2,4 GHz untuk panjang kabel 150 mm dan 1,0 dB untuk panjang kabel 229 mm. Dengan demikian, kabel sepanjang sekitar 200 mm diperkirakan memiliki *insertion loss* sekitar 0,9 dB, sehingga rugi-rugi transmisi yang ditimbulkan relatif kecil dan masih sesuai untuk aplikasi komunikasi Wi-Fi pada pita frekuensi 2,4 GHz (*Pulse Electronics*, 2020).

Dalam sistem IoT berbasis Wi-Fi, integrasi antara ESP32 dan antenna merupakan salah satu faktor yang menentukan kualitas komunikasi data. Antena berfungsi memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik sehingga karakteristik antenna akan memengaruhi jangkauan komunikasi, kekuatan sinyal, kestabilan koneksi, serta keandalan proses pengiriman data. Oleh karena itu, penggunaan antenna yang sesuai menjadi aspek penting untuk memperoleh performa komunikasi yang optimal pada perangkat IoT (Khan et al., 2024).

Kinerja komunikasi pada perangkat ESP32 umumnya dievaluasi menggunakan parameter antena dan parameter komunikasi. Parameter antena yang sering digunakan adalah *return loss* (S11) untuk menunjukkan kualitas pencocokan impedansi antena terhadap frekuensi kerja. Sementara itu, kualitas komunikasi nirkabel dapat dievaluasi menggunakan *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) untuk menunjukkan kekuatan sinyal yang diterima serta delay untuk menunjukkan waktu yang dibutuhkan data selama proses transmisi. Ketiga parameter tersebut banyak digunakan untuk mengevaluasi performa komunikasi pada sistem IoT berbasis Wi-Fi (Khan et al., 2024).

2.8 Sistem Pemantauan Kualitas Air Berbasis IoT

Sistem pemantauan kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT) memanfaatkan sensor untuk memperoleh data parameter kualitas air yang kemudian dikirimkan melalui jaringan komunikasi nirkabel menuju server atau platform pemantauan untuk diproses dan ditampilkan secara *real-time*. Pendekatan ini memungkinkan proses pemantauan dilakukan secara berkelanjutan serta dapat diakses dari jarak jauh sehingga meningkatkan efisiensi proses monitoring (de Camargo et al., 2023).

Parameter kualitas air yang umum dipantau meliputi pH, suhu, kekeruhan, konduktivitas, *dissolved oxygen*, dan Total *Dissolved Solids* (TDS), bergantung pada kebutuhan aplikasi (de Camargo et al., 2023). Pada penelitian ini, sensor TDS digunakan sebagai sumber data untuk menguji keberhasilan pengiriman data melalui jaringan Wi-Fi 2,4 GHz. Oleh karena itu, penelitian difokuskan pada analisis performa komunikasi nirkabel melalui perbandingan antena mikrostrip dan antena bawaan ESP32, bukan pada evaluasi karakteristik sensor (Khan et al., 2024).

2.9 Integrasi Antena Mikrostrip Dengan Sistem IoT

Dalam sistem *Internet of Things* (IoT), antena merupakan komponen penting yang berfungsi sebagai media transmisi dan penerimaan gelombang elektromagnetik sehingga perangkat dapat melakukan komunikasi nirkabel dengan jaringan. Pada perangkat IoT berbasis Wi-Fi, antena memungkinkan mikrokontroler dan sensor mengirimkan maupun menerima data secara andal melalui jaringan nirkabel menuju server atau perangkat pemantauan. Oleh karena itu, karakteristik antena

sangat memengaruhi kualitas komunikasi, seperti jangkauan, kestabilan koneksi, efisiensi transmisi data, dan keandalan sistem secara keseluruhan (Khan et al., 2024).

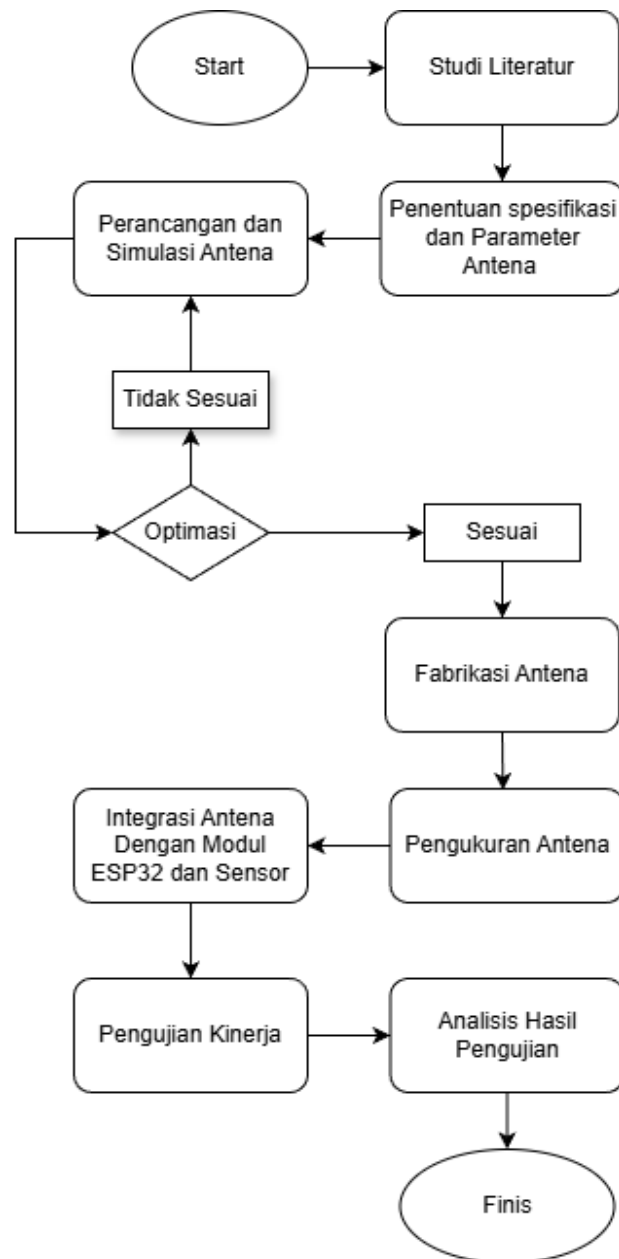
Sebagian besar perangkat IoT yang menggunakan teknologi Wi-Fi beroperasi pada pita frekuensi ISM 2,4 GHz sesuai standar IEEE 802.11. Pada frekuensi tersebut, antenna harus memiliki karakteristik yang baik agar proses transmisi data dapat berlangsung secara optimal. Parameter antenna seperti *return loss*(S11), pencocokan impedansi, dan pola radiasi memengaruhi kemampuan antenna dalam memancarkan maupun menerima sinyal, sehingga berdampak terhadap kualitas komunikasi nirkabel yang dihasilkan (Mozaffariahrar et al., 2022).

Dalam implementasinya, modul mikrokontroler seperti ESP32 dapat menggunakan antenna bawaan (*on-board antenna*) maupun antenna eksternal. Penggunaan antenna eksternal, termasuk antenna mikrostrip yang dirancang untuk frekuensi 2,4 GHz, banyak diterapkan untuk meningkatkan kualitas komunikasi nirkabel, terutama pada aplikasi yang memerlukan jangkauan lebih luas dan koneksi yang lebih stabil. Kinerja integrasi antenna dengan sistem IoT umumnya dievaluasi melalui parameter antenna, seperti *return loss*(S11), serta parameter komunikasi nirkabel, seperti *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) dan delay transmisi data, untuk mengetahui kualitas komunikasi yang dihasilkan (Huang et al., 2022).

BAB 3. METODELOGI PENELITIAN

Dalam bab ini berisikan uraian tentang uraian dari metode yang digunakan meliputi tahapan-tahapan penelitian menggunakan diagram alir, terdiri dari prancangan, fabrikasi dan uji coba pengukuran.

3.1 Diagram Perancangan



Gambar 3.1 Alur Diagram Perancangan

Berikut prnjelaan dari diagram alir pada gambar :

- a. Studi Literatur pada tahap ini dilakukan pengumpulan informasi baik itu membaca, mencatat, observasi, mengolah data dari penelitian seblumnya dan penelaahan referensi yang berkaitan dengan antena mikrostrip, sistem *Internet of Things* (IoT), modul ESP32, Sensor, serta komunikasi nirkabel pada frekuensi 2,4 GHz. Studi literatur bertujuan untuk memperoleh dasar teori dan metode yang digunakan dalam penelitian.
- b. Penentuan Spesifikasi dan Parameter Antena pada tahap ini bertujuan untuk menentukan spesifikasi dan parameter perancangan antena mikrostrip, meliputi frekuensi kerja, jenis dan karakteristik substrat FR4, nilai permitivitas, ketebalan substrat, dimensi antena, serta target kinerja antena seperti *return loss*(S11), VSWR, *bandwidth*, dan *gain*.
- c. Perancangan dan Simulasi Antena Pada tahap ini dilakukan perancangan antena mikrostrip menggunakan *software* CST 2024 berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan, kemudian dilanjutkan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak simulasi elektromagnetik. Simulasi dilakukan untuk memperoleh karakteristik antena seperti nilai S11, VSWR, *bandwidth*, pola radiasi, dan *gain*.
- d. Hasil simulasi dievaluasi pada tahap optimasi untuk mengetahui apakah kinerja antena telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Jika hasil optimasi tidak sesuai, maka proses kembali ke tahap perancangan dan simulasi antena untuk dilakukan perbaikan desain. Jika hasil optimasi dinyatakan sesuai, maka penelitian dilanjutkan ke tahap berikutnya.
- e. Fabrikasi Antena pada tahap ini dilakukan pembuatan antena mikrostrip secara fisik berdasarkan desain akhir hasil simulasi dan optimasi. Fabrikasi dilakukan pada substrat FR4 sesuai dengan dimensi dan spesifikasi yang telah ditentukan.

- f. Antena yang telah difabrikasi kemudian dilakukan pengukuran untuk memperoleh parameter kinerja antena secara nyata. Pengukuran meliputi *return loss*(S11), VSWR, *bandwidth*, dan parameter lain yang relevan.
- g. Integrasi Antena dengan Modul ESP32 dan Sensor tahap ini merupakan proses integrasi antena mikrostrip dengan modul ESP32 dan sensor sebagai bagian dari sistem IoT. Integrasi bertujuan untuk menguji antena dalam kondisi operasional sebenarnya.
- h. Pengujian Kinerja pengujian kinerja dilakukan untuk mengetahui performansi sistem komunikasi nirkabel secara keseluruhan. Pengujian mencakup pengujian nilai RSSI, dan data sensor menggunakan antena mikrostrip.
- i. Analisis Hasil Pengujian data dianalisis untuk mengevaluasi performansi antena mikrostrip yang dirancang serta membandingkannya dengan antena bawaan ESP32. Analisis ini menjadi dasar dalam penarikan kesimpulan penelitian.

3.2 Perangkat yang Digunakan

Dalam proses penelitian dan perancangan ini, digunakan dua kategori utama perangkat, yaitu perangkat lunak dan perangkat keras. Perangkat lunak berperan dalam tahap komputasi rumus, pembuatan dan simulasi desain, pengaturan parameter, serta pencatatan hasil analisis untuk mendukung penarikan kesimpulan. Sementara itu, perangkat keras dimanfaatkan dalam proses fabrikasi, penyusunan instrumen simulasi, serta pelaksanaan pengujian dan pengukuran terhadap hasil rancangan.

3.2.1 Perangkat Lunak

- a. *CST Studio Suite versi 2024*, merupakan sebuah *software* digunakan dalam menjalankan simulasi antena mikrostrip.
- b. *Arduino IDE*, *software* yang di gunakan untuk pemrograman ESP32
- c. *Microsoft excel* digunakan dalam pencatatan hasil simulasi pengujian hasil dari pengukuran serta menarik kesimpulan dari hasil penelitian

- d. *Mendeley Dekstop*, Sebuah *software* diuntuk mempermudah dalam mengambil dan mengutip referensi serta dalam pembuatan daftar pustaka

3.2.2 Perangkat Keras

- a. *Substrate FR4_Lossy*
- b. Konektor (impedansi 50 Ω)
- c. Kabel Pigtail *U.FL to SMA Male* untuk menghubungkan antena eksternal dan ESP32
- d. *Network Analyzer*, digunakan untuk proses pengujian Antena
- e. ESP32, sebagai modul IoT
- f. *Hospot Hanphone (2.4 GHz)*, sebagai *acsses point/router*
- g. Sensor, sebagai indikator pengiriman data
- h. Laptop Lenovo, sebagai alat pemograman dan pemantauan data

3.3 Spesifikasi Antena 2.4 GHz Dan ESP

Dalam penelitian ini emnggunakan sesifikasi yang telah di tentukan seperti antenna ataupun ESP32 yang akan digunakan.

3.3.1 Spesifikasi Antena 2.4GHz

Dalam perancangan antena mikrostrip diperlukan penentuan spesifikasi yang sesuai dengan konsep perancangan dan perhitungan teoritis. dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Spesifikasi Antena Mikrostrip Yang Akan Digunakan

No	Parameter	Spesifikasi
1	Frekuensi kerja	2.4 Ghz
2	Bandwith	≥ 100 MHz
3	<i>Ireturn loss s</i>	≤ -10 dB
4	<i>Gain</i>	1.8 dB
5	VSWR	≤ 2 dB
6	Jenis Antena	Mikrostrip Rectangular
7	Impedansi	50 Ω

Dalam perancangan antenna mikrostrip, pemilihan substrat yang tepat merupakan salah satu faktor penting karena sangat mempengaruhi karakteristik kinerja antenna. Pada penelitian ini, substrat yang digunakan adalah FR-4 *Lossy* dengan spesifikasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.2 :

Tabel 3.2 Spesifikasi Substrat Yang Digunakan

No	Parameter	Spesifikasi
1	Jenis <i>Substrate</i>	FR_4 <i>Lossy</i>
2	Konstanta <i>Dielektrik</i> Relatif (ϵ_R)	4.3
3	Kebutuhan <i>Substrate</i> (h)	1.6 mm
4	Ketebalan Bahan Konduktor (t)	0.035 mm
5	<i>Dielectric Loss</i> Tangent ($\tan\delta$)	0.02

3.3.2 Spesifikasi ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang digunakan sebagai pengendali utama pada sistem pemantauan kualitas air berbasis *Internet of Things* (IoT). Dalam penelitian ini digunakan dua jenis modul ESP32, yaitu ESP32-WROOM-32D/32E yang menggunakan antenna PCB bawaan (*on-board*) dan ESP32-WROOM-32U yang menggunakan antenna eksternal melalui konektor *U.FL*. Kedua modul memiliki spesifikasi perangkat keras dan kemampuan komunikasi yang hampir sama, sehingga perbedaan utama terletak pada jenis antenna yang digunakan. Spesifikasi kedua modul ESP32 yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3.3 di bawah ini :

Tabel 3.3 Spesifikasi SEP32 Yang Digunakan

No	Parameter	ESP32-WROOM-32D/32E (Antena PCB Bawaan)	ESP32-WROOM-32U (Antena Eksternal/U.FL)
1	Modul	ESP32-WROOM-32D/32E	ESP32-WROOM-32U

Tabel 3.4 Spesifikasi SEP32 Yang Digunakan (Lanjutan)

2	Frekuensi Wi-Fi	2,4 GHz (IEEE 802.11 b/g/n)	2,4 GHz (IEEE 802.11 b/g/n)
3	Daya Pancar Maksimum (TX Power)	+20 dBm	+20 dBm
4	Sensitivitas Penerima (RX Sensitivity)	Hingga -98 dBm	Hingga -98 dBm
5	Jenis Antena	Antena PCB bawaan (<i>On-board</i>)	Antena eksternal melalui konektor U.FL/IPEX
6	<i>Gain</i>	2.39 dBi	Hasil dari simulasi
7	Flash	4 MB SPI Flash	4 MB SPI Flash
8	Prosesor	Dual-Core Xtensa LX6 32-bit, hingga 240 MHz	Dual-Core Xtensa LX6 32-bit, hingga 240 MHz
9	Tegangan Operasi	3,0–3,6 V (nominal 3,3 V)	3,0–3,6 V (nominal 3,3 V)
10	Protokol Nirkabel	Wi-Fi dan <i>Bluetooth</i> v4.2 (BR/EDR + BLE)	Wi-Fi dan <i>Bluetooth</i> v4.2 (BR/EDR + BLE)

Tabel di atas menunjukkan bahwa ESP32-WROOM-32D/32E dan ESP32-WROOM-32U memiliki spesifikasi yang hampir sama, seperti frekuensi operasi 2,4 GHz, daya pancar maksimum +20 dBm, sensitivitas penerima hingga –98 dBm, kapasitas *Flash* 4 MB, *prosesor Dual-Core Xtensa LX6*, serta dukungan komunikasi Wi-Fi dan *Bluetooth*. Kesamaan spesifikasi tersebut bertujuan agar perbedaan hasil pengujian tidak dipengaruhi oleh karakteristik modul ESP32.

Perbedaan utama kedua modul terletak pada jenis antena yang digunakan. ESP32-WROOM-32D/32E menggunakan antena PCB bawaan dengan *gain* 2,39 dBi, sedangkan ESP32-WROOM-32U menggunakan antena mikrostrip melalui konektor *U.FL/IPEX* dengan *gain* 1,80 dBi. Pada penelitian ini, ESP32-WROOM-32D/32E digunakan sebagai pembanding, sedangkan ESP32-WROOM-32U

digunakan sebagai modul yang dipasangkan dengan antenna mikrostrip untuk menganalisis pengaruh antenna terhadap performa komunikasi berdasarkan parameter RSSI, FSPL, dan *Link Margin*

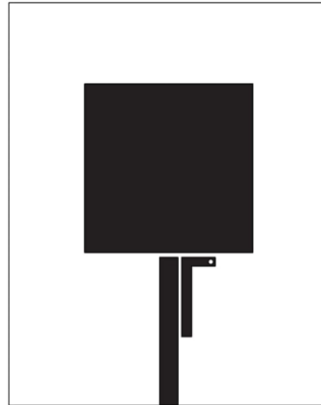
3.4 Pemodelan dan Simulasi Antena 2.4 GHz

Berdasarkan dimensi antenna acuan, model antenna dibuat kembali menggunakan perangkat lunak CST *Studio Suite* 2024. Pemodelan dilakukan dengan memasukkan seluruh dimensi antenna sesuai referensi, kemudian dilakukan simulasi untuk memperoleh karakteristik *return loss*(S11) pada frekuensi kerja 2,4 GHz sebelum antenna difabrikasi.

Tabel 3.5 Ukuran Parameter Antena Mikrostrip

Nama	Variabel	Dimensi (mm)
Lebar <i>Patch</i>	(wp)	28.4
Panjang <i>Patch</i>	(lp)	28.5
Lebar Ground	(wg)	54
Panjang Ground	(lg)	68
Lebar Feed	(wf)	3.11
Panjang Feed	(lf)	25
Tebal Substrat	(t)	1.6
Tebal Gound	(h)	0.035
Jarak <i>Patch</i> dan Feed	(jf)	0.8
Panjang Filter	(l_{fil})	13.4
Lebar Filter	(W_{fil})	1.72
Panjang Filter Kanan	(l_{fil2})	5.7
Lebar Filter	(W_{fil2})	1.5
Hole	$(hole)$	0.4
Jarak Hole	(jp)	0.75
Jarak Filter	(j_{fil})	0.6

Parameter diatas pada tabel akan digunakan untuk merancang sebuah antenna mikrostrip Pada Gambar Tersebut :



Gambar 3.2 Antena Tampak Depan



Gambar 3.3 Antena Tampak Belakang

Desain antenna pada Gambar 3.2 merupakan hasil pemodelan kembali (*redraw*) dari desain antenna yang telah ada ke dalam *CST Studio Suite*. Pemodelan ini dilakukan sebagai tahap awal sebelum fabrikasi untuk memastikan dimensi, bentuk *patch*, saluran pencatu, dan *ground plane* sesuai dengan desain referensi. Selanjutnya, model antenna digunakan untuk simulasi karakteristik antenna dan menjadi acuan dalam proses fabrikasi.

3.6 Fabrikasi Antena Mikrostrip

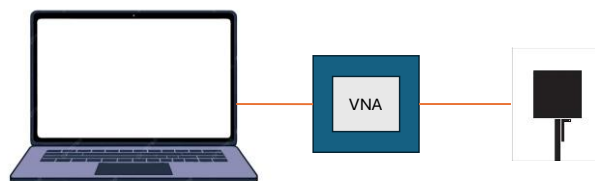
Tahap fabrikasi dilakukan setelah seluruh parameter dan dimensi antenna dimodelkan pada perangkat lunak *CST Studio Suite* berdasarkan parameter desain yang digunakan. Tahapan ini bertujuan untuk merealisasikan model antenna ke dalam bentuk fisik sesuai dengan parameter tersebut sehingga dapat digunakan pada proses pengukuran dan pengujian.

Proses fabrikasi dilakukan dengan menggunakan substrat FR4 berketebalan 1,6 mm yang dilapisi tembaga sebagai elemen radiasi dan bidang pentanahan (*ground plane*). Dimensi antenna mengikuti hasil optimasi yang telah diperoleh pada tahap simulasi sehingga bentuk fisik antenna sesuai dengan rancangan desain.

Setelah proses fabrikasi selesai, antenna dipasang konektor SMA *feMale* sebagai antarmuka untuk proses pengukuran dan pengujian. Pada implementasinya, antenna dihubungkan dengan modul ESP32 menggunakan kabel pigtail *U.FL to SMA Male*, sehingga dapat digunakan sebagai antenna eksternal.

3.7 Pengukuran *Return loss*(S11)

Pengukuran *return loss* dilakukan menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). Pengukuran bertujuan untuk mengetahui kesesuaian frekuensi *resonansi* antenna hasil fabrikasi dengan hasil simulasi serta memastikan antenna bekerja pada pita frekuensi 2,4 GHz.



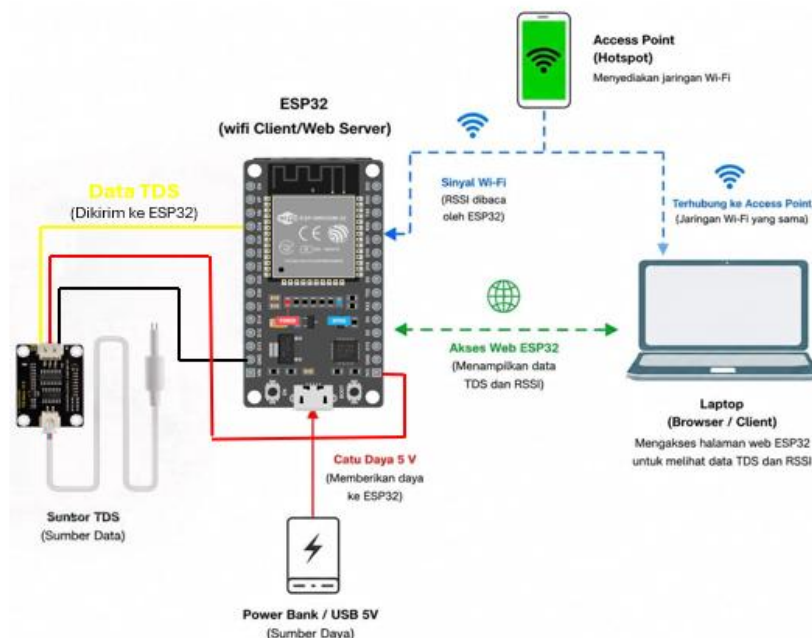
Gambar 3.4 Setup Pengukuran Menggunakan VNA

- Nyalakan *Network Analyzer* dan biarkan alat siap digunakan.
- Tentukan rentang frekuensi pengukuran sesuai kebutuhan. Pada penelitian ini, rentang frekuensi yang digunakan adalah 1,4–3,6 GHz.
- Lakukan proses kalibrasi *Network Analyzer* menggunakan kit kalibrasi (*Open, Short, Load*) sesuai prosedur hingga proses kalibrasi berhasil.
- Setelah proses kalibrasi selesai, hubungkan antenna yang telah difabrikasi dan dipasang konektor SMA *feMale* ke *Network Analyzer*.

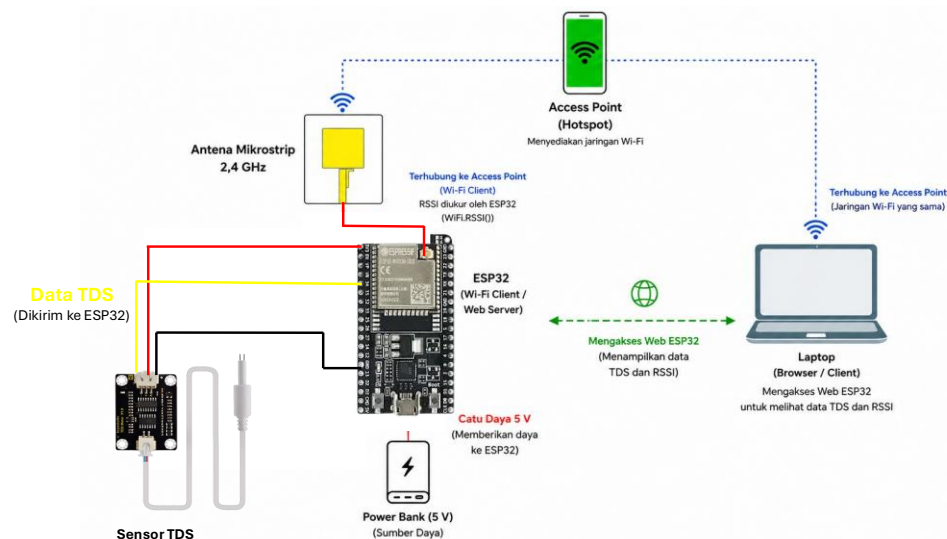
- Amati grafik parameter S_{11} yang ditampilkan pada layar.
- Simpan hasil pengukuran S_{11} ke media penyimpanan untuk selanjutnya digunakan dalam proses analisis.

3.8 Integrasi Sistem IoT

Sistem *Internet of Things* (IoT) pada penelitian ini merupakan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan untuk membandingkan performa komunikasi antara antenna bawaan ESP32 dan antenna mikrostrip 2,4 GHz. Sistem terdiri atas modul ESP32, sensor Total Dissolved Solids (TDS), telepon seluler sebagai *access point*, laptop sebagai server lokal, serta antenna yang diuji. Pengujian dilakukan menggunakan dua konfigurasi, yaitu konfigurasi dengan antenna bawaan ESP32 dan konfigurasi dengan antenna mikrostrip. Seluruh perangkat, konfigurasi jaringan, program, dan prosedur pengujian dibuat sama sehingga perbedaan hasil yang diperoleh hanya dipengaruhi oleh jenis antenna yang digunakan.



Gambar 3. 5 Gambar 3.5 Integrasi Antena Bawaan

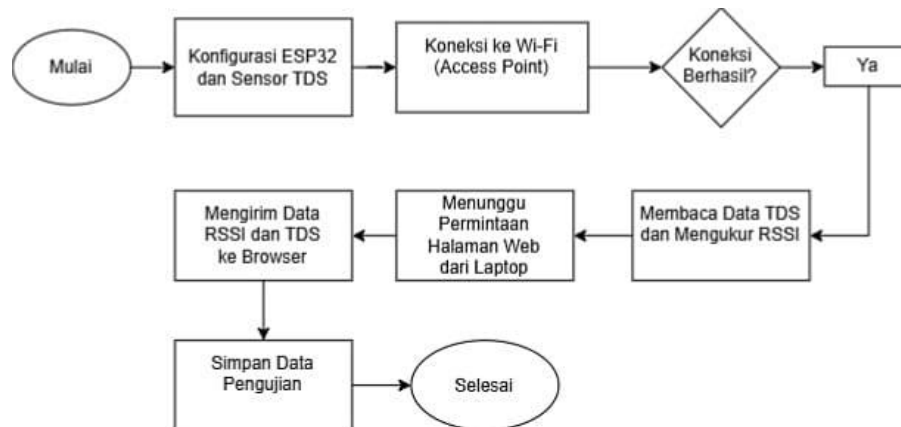


Gambar 3. 6 Integrasi Antena Mikrostrip

Berdasarkan Gambar 3.5 dan Gambar 3.6, sensor TDS terhubung ke modul ESP32 yang berfungsi untuk membaca data sensor. ESP32 terhubung ke jaringan Wi-Fi yang disediakan oleh telepon seluler sebagai *access point* dan menjalankan web server untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor TDS serta nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI). Selama proses pengujian, ESP32 memperoleh catu daya sebesar 5 V dari port USB *power bank*, kemudian tegangan tersebut diatur oleh regulator internal pada papan ESP32 menjadi tegangan kerja 3,3 V untuk mikrokontroler dan rangkaian pendukung. Laptop terhubung ke *access point* yang sama dan berfungsi sebagai perangkat klien (*browser*) untuk mengakses halaman web yang disediakan oleh ESP32. Perbedaan kedua konfigurasi hanya terletak pada jenis antena yang digunakan, yaitu antena bawaan ESP32 pada Gambar 3.5 dan antena mikrostrip pada Gambar 3.6. Dengan demikian, seluruh perangkat, konfigurasi jaringan, program, dan prosedur pengujian dibuat sama sehingga perbedaan hasil pengukuran dapat dikaitkan dengan penggunaan jenis antena yang berbeda.

Pada penelitian ini, sensor TDS hanya digunakan sebagai sumber data yang dikirimkan dari ESP32 menuju server lokal. Nilai TDS tidak digunakan sebagai

parameter analisis kualitas air, melainkan sebagai indikator bahwa proses pembacaan sensor dan pengiriman data melalui jaringan Wi-Fi telah berlangsung dengan baik.



Gambar 3.7 Diagram Alur Pengiriman Data

Berdasarkan Gambar 3.7, proses diawali dengan konfigurasi modul ESP32 dan sensor TDS. Selanjutnya, ESP32 melakukan koneksi ke jaringan Wi-Fi yang disediakan oleh *access point*. Setelah koneksi berhasil, ESP32 membaca data dari sensor TDS dan mengukur nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) menggunakan fungsi `WiFi.RSSI()`. Data hasil pembacaan tersebut kemudian disimpan pada ESP32 dan menunggu permintaan (request) dari *browser* pada laptop. Ketika laptop mengakses alamat IP ESP32 melalui *browser*, ESP32 sebagai web server mengirimkan halaman web yang berisi data RSSI dan TDS untuk ditampilkan pada laptop. Selanjutnya, hasil pengukuran dicatat sebagai data pengujian. Proses ini dilakukan secara berulang pada setiap variasi jarak dan untuk masing-masing jenis antenna sehingga diperoleh data RSSI, keberhasilan komunikasi, dan jarak komunikasi maksimum sebagai dasar analisis performa antenna.

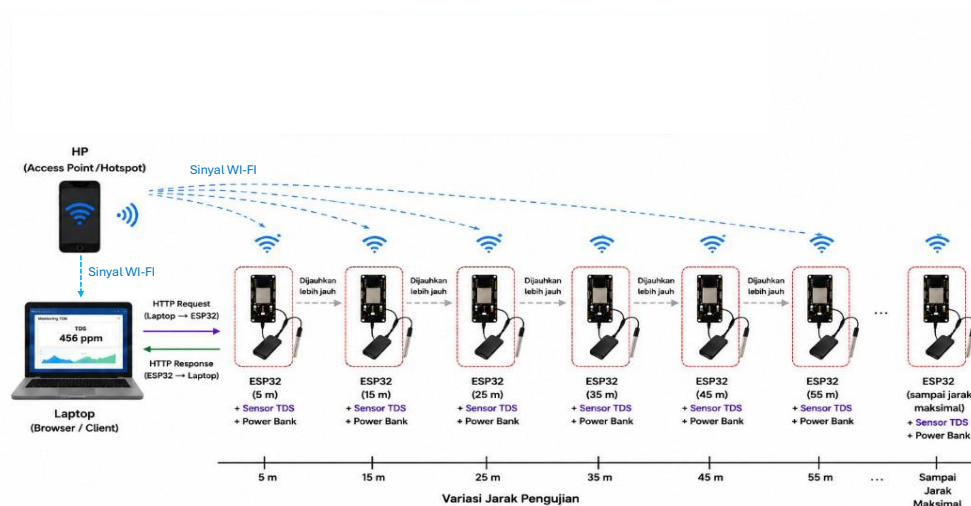
3.9 Metode Pengujian

Metode pengujian pada penelitian ini dilakukan untuk membandingkan performa komunikasi antara antenna bawaan ESP32 dan antenna mikrostrip pada sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT. Pengujian dilakukan menggunakan konfigurasi perangkat dan kondisi yang sama. Metode pengujian terdiri atas

pengujian berdasarkan variasi jarak dan pengujian berdasarkan variasi arah (orientasi).

3.9.1 Pengujian Berdasarkan Variasi Jarak

Pengujian sistem dilakukan untuk membandingkan performa komunikasi nirkabel antara antenna bawaan ESP32 dan antenna mikrostrip. Pengujian menggunakan sistem yang dijelaskan pada subbab 3.8 dengan parameter yang diamati berupa nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), jarak maksimum komunikasi, dan keberhasilan pengiriman data. Seluruh pengujian dilakukan menggunakan konfigurasi perangkat, program, serta prosedur yang sama sehingga perbedaan hasil pengukuran dipengaruhi oleh jenis antenna yang digunakan.



Gambar 3.8 Layout Pengujian Sistem Variasi Jarak

Berdasarkan Gambar 3.8, telepon seluler berfungsi sebagai *access point* (*hotspot*) yang menyediakan jaringan Wi-Fi, sedangkan laptop digunakan sebagai perangkat klien (*browser*) yang ditempatkan pada posisi tetap selama proses pengujian. Laptop dan ESP32 terhubung pada jaringan Wi-Fi yang sama, kemudian laptop mengakses web server yang berjalan pada ESP32 melalui *browser* menggunakan mekanisme HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) Request dan HTTP Response untuk memperoleh data hasil pengukuran.

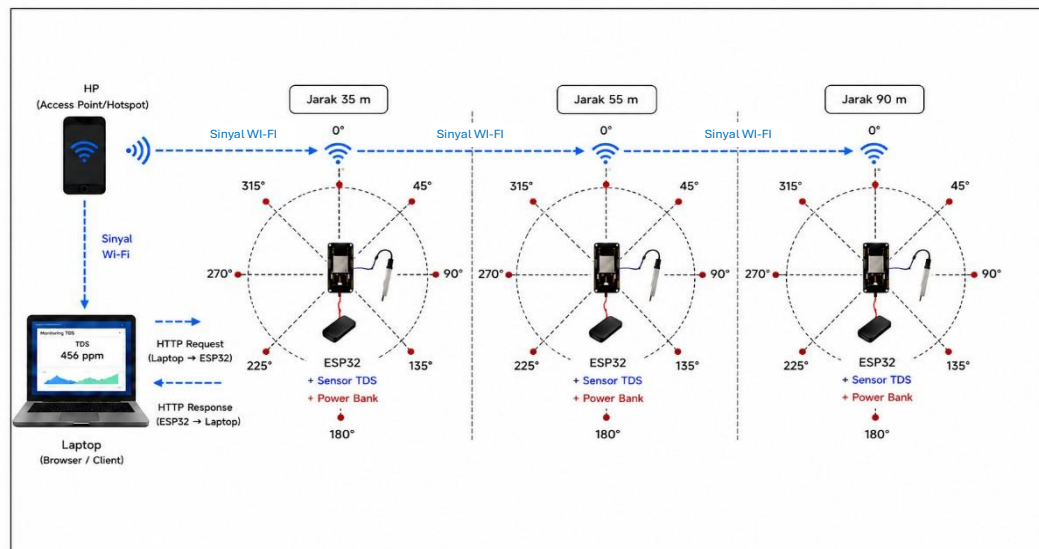
Modul ESP32 dihubungkan dengan sensor TDS sebagai sumber data dan memperoleh catu daya dari *power bank*, sehingga dapat dipindahkan menjauhi *access point* sesuai variasi jarak pengujian. Pengujian dilakukan secara bertahap mulai dari 5 m, kemudian 15 m, 25 m, 35 m, 45 m, 55 m, dan dilanjutkan hingga jarak maksimum komunikasi. Pada setiap variasi jarak, konfigurasi perangkat, posisi *access point*, dan laptop tetap dipertahankan agar perubahan hasil pengujian hanya dipengaruhi oleh bertambahnya jarak.

Pengujian pertama dilakukan menggunakan antena bawaan ESP32, kemudian seluruh tahapan pengujian diulangi dengan mengganti antena bawaan menggunakan antena mikrostrip tanpa mengubah konfigurasi perangkat, program, maupun kondisi pengujian. Dengan demikian, perbedaan hasil pengujian dapat dianalisis sebagai pengaruh penggunaan jenis antena terhadap kualitas komunikasi nirkabel.

Dalam penelitian ini, sensor TDS tidak digunakan untuk menganalisis kualitas air, melainkan hanya sebagai data uji (*payload*) yang dikirimkan melalui jaringan Wi-Fi. Oleh karena itu, parameter utama yang dianalisis meliputi nilai RSSI, keberhasilan pengiriman data TDS, dan jarak maksimum komunikasi pada penggunaan antena bawaan ESP32 dan antena mikrostrip.

3.9.2 Pengujian Berdasarkan Variasi Arah

Selain pengujian berdasarkan variasi jarak, dilakukan pula pengujian berdasarkan variasi arah untuk mengetahui pengaruh orientasi antena terhadap performa komunikasi. Pengujian dilakukan pada tiga variasi jarak, yaitu 35 m, 55 m, dan 90 m. Pada setiap jarak, modul ESP32 ditempatkan pada delapan arah pengujian, yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 315° terhadap *access point*. Pada setiap arah dilakukan lima kali pengambilan data dengan *interval* 3 detik. Parameter yang diamati meliputi nilai RSSI dan data TDS yang ditampilkan pada halaman web ESP32.



Gambar 3.9 Layout Pengujian Sistem Variasi Arah

Berdasarkan Gambar 3.9 menunjukkan layout pengujian sistem IoT berdasarkan variasi arah. Sistem terdiri dari HP, laptop, ESP32, sensor TDS, *power bank*, dan antenna. HP berfungsi sebagai *Access point* (hotspot) yang menyediakan jaringan Wi-Fi sehingga laptop dan ESP32 terhubung pada jaringan yang sama. Laptop berfungsi sebagai client yang mengakses web server ESP32 melalui *browser*, sedangkan ESP32 berfungsi sebagai server yang menerima HTTP Request dan mengirimkan HTTP (*Hypertext Transfer Protocol*) Response yang berisi data hasil pembacaan sensor TDS serta nilai RSSI. Sensor TDS digunakan untuk memperoleh data kualitas air, sedangkan *power bank* berfungsi sebagai sumber catu daya selama proses pengujian.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua konfigurasi antenna pada ESP32, yaitu antenna bawaan ESP32 dan antenna mikrostrip 2,4 GHz sebagai antenna eksternal. Kedua antenna diuji secara terpisah dengan prosedur yang sama untuk mengetahui pengaruh jenis antenna terhadap kualitas komunikasi nirkabel. Pada setiap pengujian, antenna yang digunakan dipasang pada ESP32, sedangkan komponen lainnya tetap menggunakan konfigurasi yang sama.

Pengujian dilakukan pada tiga variasi jarak, yaitu 35 m, 55 m, dan 90 m dari *Access point*. Pada setiap variasi jarak, ESP32 ditempatkan pada delapan arah pengujian, yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 315°. Pada setiap posisi

tersebut, laptop mengakses web server ESP32 melalui jaringan Wi-Fi untuk memperoleh data TDS dan nilai RSSI. Data hasil pengujian selanjutnya digunakan untuk menganalisis pengaruh penggunaan antenna bawaan ESP32 dan antenna mikrostrip terhadap kualitas komunikasi nirkabel berdasarkan variasi jarak dan arah.

3.10 Teknik Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan setelah seluruh tahapan pengujian selesai, yaitu pengujian karakteristik antenna dan pengujian sistem IoT. Teknik pengambilan data pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian sebagai berikut.

3.10.1 Teknik Pengambilan Data Antena

Data karakteristik antena diperoleh melalui simulasi CST *Studio Suite* yang di catat yaitu frekuensi *resonansi* S11 dan *Gain* kemudian pengukuran menggunakan Vector *Network Analyzer* (VNA). Parameter yang dicatat meliputi frekuensi *resonansi* dan nilai *return loss*(S11). Hasil pengukuran tersebut digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian karakteristik antena hasil fabrikasi terhadap hasil simulasi menggunakan perangkat lunak CST *Studio Suite*.

3.10.2 Teknik Pengambilan Data Sistem IoT

Pada pengambilan Data Pengukuran Sistem IoT Menggunakan dua antenna yang berbeda yang dimana antenna Bawaan ESP32 dan antenna mikrostrip.

1. Pengambilan data sistem IoT menggunakan Ntena Bawaan

Pengambilan data dilakukan menggunakan antenna bawaan ESP32 dengan variasi jarak dan arah. Pada pengujian jarak, pengambilan data dimulai dari jarak 5 m dan dilanjutkan pada setiap variasi jarak hingga mencapai jarak maksimum ketika ESP32 tidak lagi dapat terhubung dengan *access point*. Pada setiap jarak pengujian, dilakukan 5 kali pengambilan sampel secara berurutan dengan interval 3 detik antarsampel. Setelah lima sampel pada satu jarak selesai diperoleh, pengujian dilanjutkan ke jarak berikutnya dengan prosedur yang sama. Data yang dicatat meliputi jarak, nilai RSSI, data TDS, dan status keberhasilan komunikasi. Selanjutnya,

pengujian arah dilakukan pada jarak 35 m, 55 m, dan 90 m dengan delapan variasi arah, yaitu 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , dan 315° . Data yang diperoleh digunakan untuk menganalisis perubahan RSSI, keberhasilan komunikasi, dan jangkauan komunikasi antenna bawaan ESP32. Selain itu, data daya pancar, *gain* antenna, *system losses*, frekuensi, dan jarak digunakan untuk melakukan analisis *link budget* berupa EIRP, FSPL, *Received Power* (Pr), dan *Link Margin*.

2. Pengambilan Data Sistem IoT Menggunakan Antena Mikrostrip

Pengambilan data dilakukan menggunakan antenna bawaan ESP32 dengan variasi jarak dan arah. Pada pengujian jarak, pengambilan data dimulai dari jarak 5 m dan dilanjutkan pada setiap variasi jarak hingga mencapai jarak maksimum ketika ESP32 tidak lagi dapat terhubung dengan *access point*. Pada setiap jarak pengujian, dilakukan 5 kali pengambilan sampel secara berurutan dengan interval 3 detik antarsampel. Setelah lima sampel pada satu jarak selesai diperoleh, pengujian dilanjutkan ke jarak berikutnya dengan prosedur yang sama. Data yang dicatat meliputi jarak, nilai RSSI, data TDS, dan status keberhasilan komunikasi. Selanjutnya, pengujian arah dilakukan pada jarak 35 m, 55 m, dan 90 m dengan delapan variasi arah, yaitu 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , dan 315° . Data yang diperoleh digunakan untuk menganalisis perubahan RSSI, keberhasilan komunikasi, dan jangkauan komunikasi antenna bawaan ESP32. Selain itu, data daya pancar, *gain* antenna, *system losses*, frekuensi, dan jarak digunakan untuk melakukan analisis *link budget* berupa EIRP, FSPL, *Received Power* (Pr), dan *Link Margin*.

3.11 Teknik Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini dilakukan secara deskriptif kuantitatif untuk membandingkan performa komunikasi antara antenna bawaan ESP32 dan antenna mikrostrip. Analisis dilakukan berdasarkan parameter *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), jangkauan komunikasi, dan keberhasilan pengiriman data. Selain itu, dilakukan analisis *link budget* sebagai analisis pendukung yang meliputi

perhitungan *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP), *Free Space Path Loss* (FSPL), *Received Power* (Pr), dan *Link Margin*. Seluruh hasil analisis disajikan dalam bentuk tabel dan grafik sehingga perbedaan performa kedua antenna dapat diamati secara sistematis.

3.11.1 Teknik Analisis Karakteristik Antena

Analisis karakteristik antena dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) terhadap hasil simulasi CST. Parameter yang dianalisis meliputi frekuensi *resonansi*, nilai *return loss*(S11), dan *bandwidth*. Perbandingan tersebut bertujuan untuk mengevaluasi kesesuaian karakteristik antena hasil fabrikasi terhadap hasil simulasi serta menilai kelayakan antena mikrostrip untuk diaplikasikan pada sistem komunikasi Wi-Fi 2,4 GHz.

3.11.2 Teknik Analisis Performa Sistem IoT

Pada Analisa Performa Sistem IoT meliputi menggunakan dua antenna yang berbeda yang dimana antena Bawaan ESP32 dan antenna mikrostrip.

1. Analisa Performa Sistem IoT Menggunakan Antena Bawaan ESP32

Data hasil pengujian antena bawaan ESP32 dianalisis berdasarkan nilai RSSI, jangkauan komunikasi, dan keberhasilan pengiriman data pada setiap variasi jarak dan arah. Nilai RSSI pada setiap jarak diperoleh dari lima kali pengambilan sampel, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk digunakan sebagai nilai RSSI pada jarak tersebut. Hasil pengujian pada setiap jarak dibandingkan untuk mengetahui perubahan kekuatan sinyal serta menentukan jarak maksimum komunikasi yang dapat dicapai oleh antena bawaan ESP32. Selanjutnya, hasil pengujian pada delapan variasi arah di jarak 35 m, 55 m, dan 90 m dianalisis untuk mengetahui perubahan RSSI dan keberhasilan komunikasi berdasarkan orientasi antena. Data TDS digunakan sebagai payload untuk memastikan data dapat dikirim melalui jaringan dan tidak digunakan sebagai parameter analisis kualitas air. Selain itu, data pendukung sistem digunakan untuk melakukan analisis link budget secara teoritis melalui perhitungan EIRP, FSPL, Received Power (Pr), dan

Link Margin. Hasil perhitungan tersebut digunakan sebagai pendukung dalam menjelaskan kondisi daya sinyal yang diterima dan kemampuan komunikasi antena bawaan ESP32 terhadap batas Receiver Sensitivity.

2. Analisa Performa Sistem IoT Menggunakan Antena Mikrostrip

Data hasil pengujian antena mikrostrip 2,4 GHz dianalisis menggunakan metode yang sama dengan antena bawaan ESP32 agar hasil keduanya dapat dibandingkan secara langsung. Nilai RSSI pada setiap variasi jarak diperoleh dari lima kali pengambilan sampel, kemudian dihitung nilai rata-ratanya untuk menentukan nilai RSSI pada masing-masing jarak. Hasil tersebut dianalisis untuk mengetahui perubahan kekuatan sinyal dan menentukan jarak maksimum komunikasi antena mikrostrip. Selanjutnya, hasil pengujian pada delapan variasi arah di jarak 35 m, 55 m, dan 90 m dianalisis untuk mengetahui kestabilan RSSI dan keberhasilan komunikasi berdasarkan perubahan orientasi antena. Data TDS digunakan sebagai payload untuk memverifikasi keberhasilan pengiriman data dan tidak digunakan sebagai parameter analisis kualitas air. Hasil pengujian antena mikrostrip kemudian dibandingkan dengan hasil antena bawaan ESP32 berdasarkan RSSI, jangkauan komunikasi, dan keberhasilan pengiriman data. Selain itu, dilakukan analisis link budget secara teoritis melalui perhitungan EIRP, FSPL, Received Power (P_r), dan Link Margin untuk mendukung interpretasi hasil pengukuran serta mengetahui secara teoritis kondisi daya sinyal yang diterima terhadap batas Receiver Sensitivity ESP32.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil pengukuran antenna mikrostrip 2,4 GHz, serta hasil pengujian kinerja sistem komunikasi IoT. Hasil simulasi dan pengukuran karakteristik antenna dibandingkan untuk mengetahui kesesuaian kinerja antenna hasil fabrikasi. Selanjutnya, kinerja antenna mikrostrip dibandingkan dengan antenna bawaan ESP32 berdasarkan nilai RSSI dan RTT pada setiap variasi jarak, sedangkan data sensor TDS digunakan sebagai indikator keberhasilan pengiriman data.

4.1 Hasil Fabrikasi Antena

Setelah proses simulasi dan optimasi desain selesai dilakukan, antenna filter mikrostrip direalisasikan melalui proses fabrikasi sesuai dengan dimensi hasil optimasi. Proses ini bertujuan untuk menghasilkan prototipe antenna yang dapat digunakan pada tahap pengukuran dan pengujian kinerja. Hasil fabrikasi antenna filter mikrostrip ditunjukkan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Hasil Fabrikasi Antena

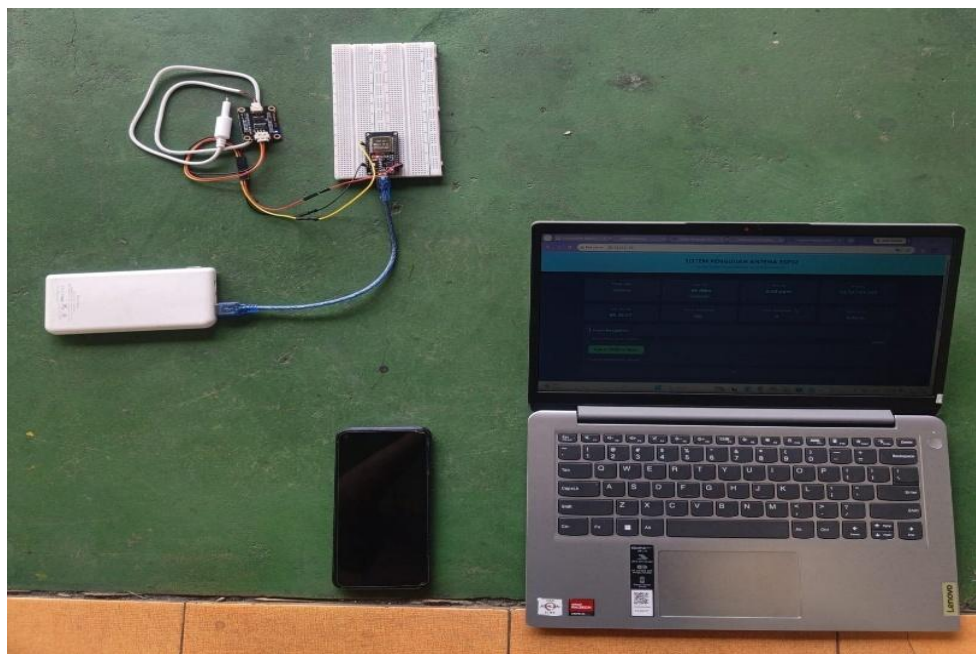
Berdasarkan Gambar 4.1 antenna filter mikrostrip berhasil direalisasikan pada substrat FR4_Lossy dengan ketebalan 1,6 mm dan menggunakan lapisan tembaga sebagai elemen radiasi serta bidang pentanahan (*ground plane*). Dimensi

fisik antenna telah mengikuti hasil optimasi yang diperoleh pada tahap simulasi sehingga bentuk dan ukuran antenna sesuai dengan rancangan desain.

Pada bagian pencatu daya (*feed*), antenna dipasang konektor SMA *feMale* sebagai antarmuka penghubung dengan perangkat pengujian. Dalam implementasinya pada sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT, antenna dihubungkan ke modul ESP32 menggunakan kabel pigtail *U.FL to SMA Male*, sehingga antenna dapat digunakan sebagai pengganti antenna bawaan ESP32 selama proses pengujian.

4.2 Hasil Implementasi Sistem IoT

Implementasi sistem IoT dilakukan untuk menguji komunikasi data antara modul ESP32 dan server lokal pada laptop melalui jaringan Wi-Fi. Pada tahap ini, ESP32 berfungsi sebagai pengirim data, sedangkan laptop digunakan sebagai server untuk menerima dan menampilkan data hasil pembacaan sensor. Sistem diimplementasikan dalam dua kondisi, yaitu menggunakan antenna bawaan ESP32 dan menggunakan antenna filter mikrostrip sebagai pembanding kinerja komunikasi nirkabel. Untuk rangkaiannya bisa di lihat pada gamabar 4.2 dan 4.3 :



Gambar 4.2 Implementasi sistem menggunakan antenna bawaan ESP32

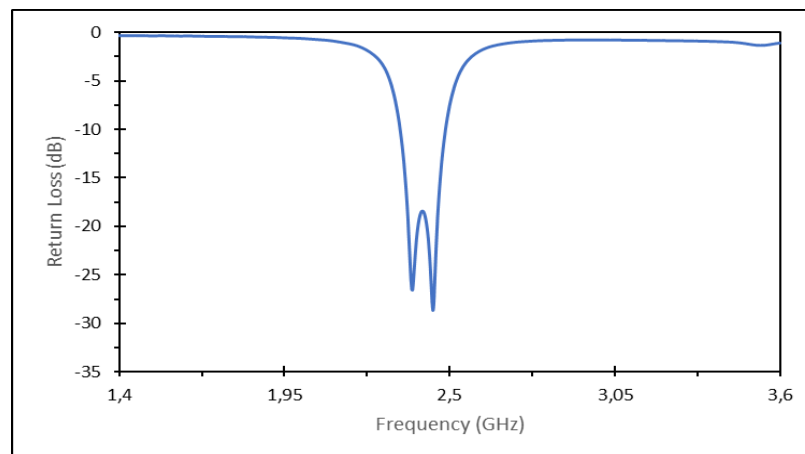


Gambar 4.3 Implementasi sistem menggunakan antenna filter mikrostrip.

Gambar 4.2 menunjukkan implementasi sistem menggunakan antenna bawaan ESP32, sedangkan gambar 4.3 menunjukkan implementasi sistem menggunakan antenna filter mikrostrip yang dihubungkan ke modul ESP32 melalui kabel pigtail *U.FL to SMA*. Kedua konfigurasi tersebut menggunakan perangkat keras, perangkat lunak, serta kondisi lingkungan pengujian yang sama sehingga perbedaan hasil pengujian yang diperoleh dipengaruhi oleh jenis antenna yang digunakan.

4.3 Hasil Simulasi *Return loss* S_{11}

Berdasarkan grafik hasil simulasi *koefisien refleksi* atau S_{11} menjadi indikator utama dalam menilai kualitas kinerja antenna. Secara teoritis, performa optimal biasanya dicapai jika nilai S_{11} berada di bawah -10 dB, karena semakin negatif nilai S_{11} berarti daya yang dipantulkan kembali ke sumber semakin kecil dan daya yang disalurkan untuk radiasi semakin besar. Kita bisa melihatnya pada gambar 4.4 di bawah ini :

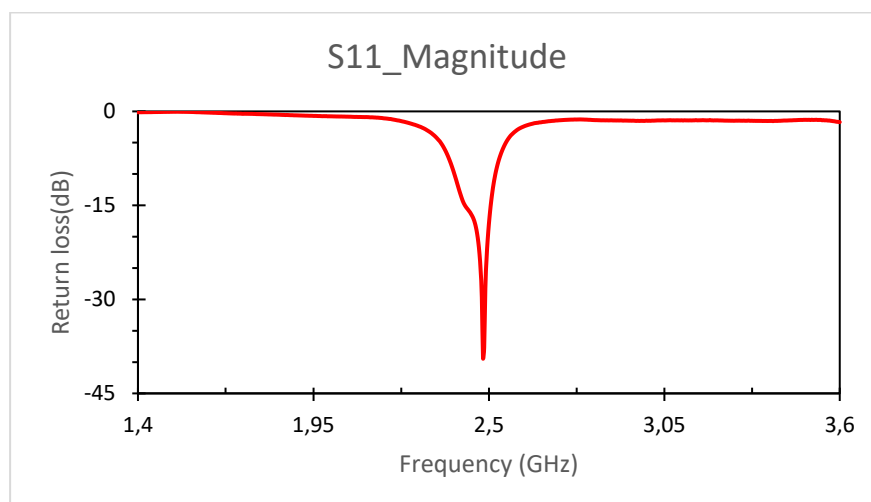


Gambar 4.4 Hasil Simulasi S11

Berdasarkan hasil simulasi, antenna memiliki nilai *return loss* minimum sekitar -33 dB pada frekuensi *resonansi* sekitar 2,44 GHz, yang menunjukkan pencocokan impedansi (*impedance matching*) yang sangat baik antara antenna dan saluran transmisi 50 Ω . Selain itu, berdasarkan batas $S_{11} \leq -10$ dB, antenna memiliki rentang frekuensi kerja dari 2,334 GHz hingga 2,485 GHz, sehingga *bandwidth* yang diperoleh sebesar 151 MHz. *Bandwidth* tersebut telah mencakup pita frekuensi ISM 2,4 GHz (2,400–2,4835 GHz), sehingga antenna memenuhi kebutuhan komunikasi Wi-Fi pada modul ESP32.

4.4 Hasil Pengukuran Dan Simulasi *Return loss* S11

Setelah proses fabrikasi selesai, antenna diukur menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA). Hasil pengukuran parameter *S11* ditunjukkan pada Gambar 4.5 :



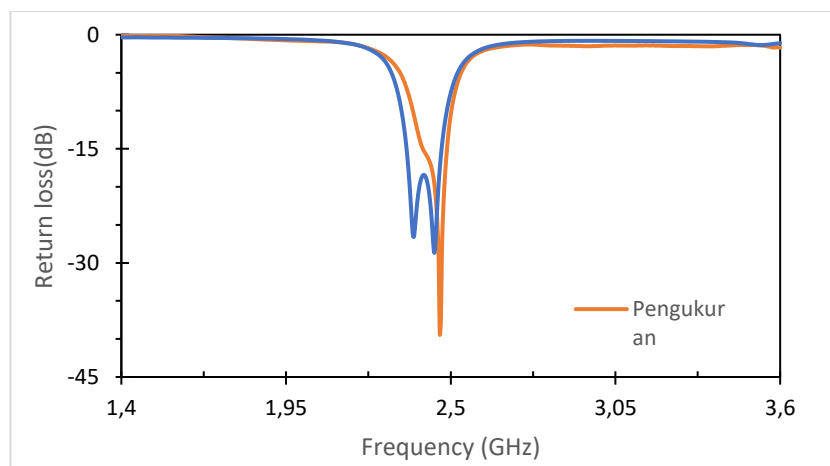
Gambar 4.5 Hasil Pengukuran S11

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan Vector *Network Analyzer* (VNA), antenna memiliki nilai *return loss* minimum sebesar -36 dB pada frekuensi *resonansi* 2,445 GHz. Nilai tersebut menunjukkan bahwa antenna memiliki pencocokan impedansi (*impedance matching*) yang baik terhadap saluran transmisi 50 Ω , sehingga daya yang dipantulkan kembali ke sumber relatif kecil.

Selain itu, berdasarkan batas $S_{11} \leq -10$ dB, antenna memiliki rentang frekuensi kerja dari 2,39367 GHz hingga 2,51833 GHz, sehingga diperoleh *bandwidth* sebesar 124,66 MHz. *Bandwidth* tersebut telah mencakup pita frekuensi ISM 2,4 GHz (2,400–2,4835 GHz) yang digunakan pada sistem komunikasi Wi-Fi. Dengan demikian, antenna hasil fabrikasi telah memenuhi kriteria untuk diimplementasikan pada sistem pemantauan kualitas air sumur galian berbasis *Internet of Things* (IoT).

4.5 Perbandingan Hasil Pengukuran Dan Simulasi

Perbandingan hasil simulasi menggunakan CST *Studio Suite* dengan hasil pengukuran menggunakan Vector *Network Analyzer* (VNA) sebagaimana pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.6 Perbandingan Hasil Pengukuran Dan Simulasi

Berdasarkan hasil simulasi, antenna memiliki frekuensi *resonansi* sebesar 2,40 GHz dengan nilai *return loss*(S11) sebesar -33 dB dan *bandwidth* sebesar 151 MHz. Sementara itu, hasil pengukuran menunjukkan bahwa frekuensi *resonansi* bergeser menjadi 2,445 GHz, dengan nilai *return loss*(S11) sebesar -36 dB dan *bandwidth* sebesar 124,66 MHz. Hasil tersebut menunjukkan bahwa terjadi sedikit

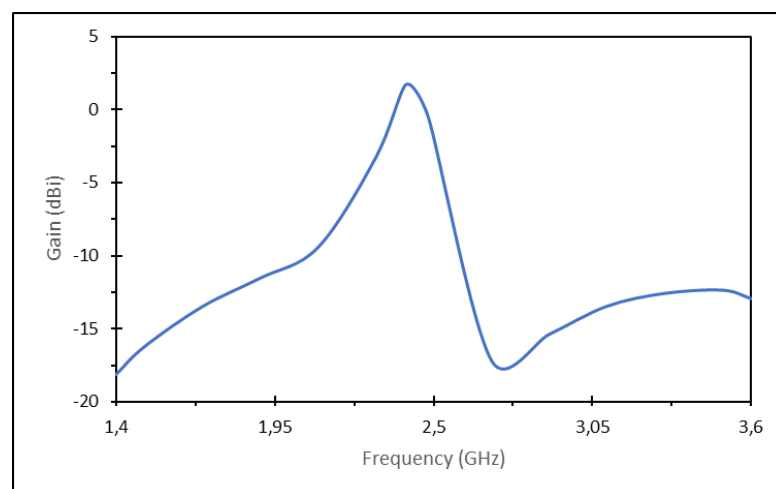
pergeseran frekuensi *resonansi* sebesar 45 MHz serta penurunan *bandwidth* sebesar 26,34 MHz dibandingkan hasil simulasi.

Meskipun terjadi perbedaan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran, antenna masih bekerja pada pita frekuensi ISM 2,4 GHz (2,400–2,4835 GHz). Selain itu, nilai *return loss*(S11) hasil pengukuran masih berada di bawah -10 dB, sehingga menunjukkan bahwa antenna memiliki pencocokan impedansi yang baik dan layak digunakan untuk aplikasi komunikasi Wi-Fi pada frekuensi 2,4 GHz.

Perbedaan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain toleransi dimensi saat proses fabrikasi, variasi nilai permitivitas substrat FR4 terhadap spesifikasi nominal, rugi-rugi pada konektor SMA dan proses penyolderan, serta kondisi pengukuran yang tidak sepenuhnya sama dengan kondisi ideal pada simulasi. Faktor-faktor tersebut menyebabkan terjadinya pergeseran frekuensi *resonansi* dan perubahan *bandwidth*, namun tidak memengaruhi fungsi utama antenna sebagai antenna komunikasi pada pita frekuensi 2,4 GHz.

4.6 Hasil simulasi *Gain*

Pengujian *gain* dilakukan untuk mengetahui kemampuan antenna dalam memfokuskan daya radiasi pada arah tertentu. Nilai *gain* diperoleh melalui hasil simulasi menggunakan CST *Studio Suite* dan disajikan dalam bentuk grafik hubungan antara *gain* terhadap frekuensi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.7 Hasil Simulasi *Gain*

Berdasarkan Gambar 4.7, hasil simulasi CST menunjukkan bahwa antenna mikrostrip memiliki nilai *realized gain* maksimum sekitar 1,8 dBi pada frekuensi 2,40 GHz. Nilai *gain* tersebut menunjukkan bahwa antenna mampu memancarkan energi secara terarah pada frekuensi kerjanya sehingga mendukung komunikasi Wi-Fi pada pita 2,4 GHz. Dengan demikian hasil simulasi tersebut, antenna mikrostrip memiliki nilai *realized gain* maksimum sekitar 1,8 dBi pada frekuensi 2,40 GHz. Nilai *gain* ini menunjukkan bahwa antenna telah bekerja secara optimal pada frekuensi operasinya sehingga mendukung penggunaan antenna pada sistem komunikasi Wi-Fi 2,4 GHz yang digunakan dalam penelitian ini.

4.7 Perbandingan Simulasi Dan Pengukuran

Untuk mengetahui kesesuaian antara hasil simulasi dan hasil pengukuran, dilakukan perbandingan terhadap beberapa parameter antenna yang meliputi nilai *return loss*(S11), frekuensi *resonansi*, frekuensi batas bawah, frekuensi batas atas, dan *bandwidth*. Hasil perbandingan tersebut disajikan pada Tabel 4.1 :

Tabel 4.1 Hasil simulasi dan Pengukuran Antena

No	Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
1	Nilai S11 (dB)	-33	-36
2	Frekuensi <i>Resonansi</i> (GHz)	2,44	2,445
3	Frekuensi Atas (GHz)	2,485	2,51833
4	Frekuensi Bawah (GHz)	2,334	2,39367
5	<i>Bandwidth</i> (MHz)	151	124,66

Berdasarkan Tabel 4.1, hasil simulasi dan hasil pengukuran menunjukkan bahwa antenna memiliki karakteristik yang relatif serupa. Nilai *return loss*(S11) pada hasil simulasi sebesar -33 dB, sedangkan hasil pengukuran mencapai sekitar -38 dB. Nilai tersebut menunjukkan bahwa antenna memiliki pencocokan impedansi (*impedance matching*) yang sangat baik karena berada jauh di bawah batas -10 dB.

Frekuensi *resonansi* hasil simulasi berada pada 2,4069 GHz, sedangkan hasil pengukuran berada pada 2,4450 GHz, sehingga terjadi pergeseran frekuensi sekitar 38,1 MHz. Meskipun terjadi sedikit pergeseran, frekuensi *resonansi* hasil pengukuran masih berada pada pita frekuensi ISM 2,4 GHz (2,400–2,4835 GHz) sehingga antenna tetap sesuai untuk aplikasi Wi-Fi pada modul ESP32.

Selain itu, *bandwidth* antenna mengalami perubahan dari 151 MHz pada hasil simulasi menjadi 124,66 MHz pada hasil pengukuran. Penurunan *bandwidth* sebesar sekitar 26,34 MHz menunjukkan adanya perubahan karakteristik setelah proses fabrikasi. Namun demikian, *bandwidth* hasil pengukuran masih mencakup seluruh pita frekuensi ISM 2,4 GHz sehingga antenna tetap memenuhi kebutuhan komunikasi nirkabel berbasis IoT.

Perbedaan antara hasil simulasi dan hasil pengukuran diperkirakan disebabkan oleh toleransi dimensi selama proses fabrikasi, variasi konstanta *dielektrik* substrat FR4, kualitas penyolderan konektor SMA, serta rugi-rugi pada material dan konektor yang tidak dimodelkan secara ideal pada simulasi.

4.8 Hasil Pengukuran Antena Bawaan ESP32 Dan Antena Mikrostrip

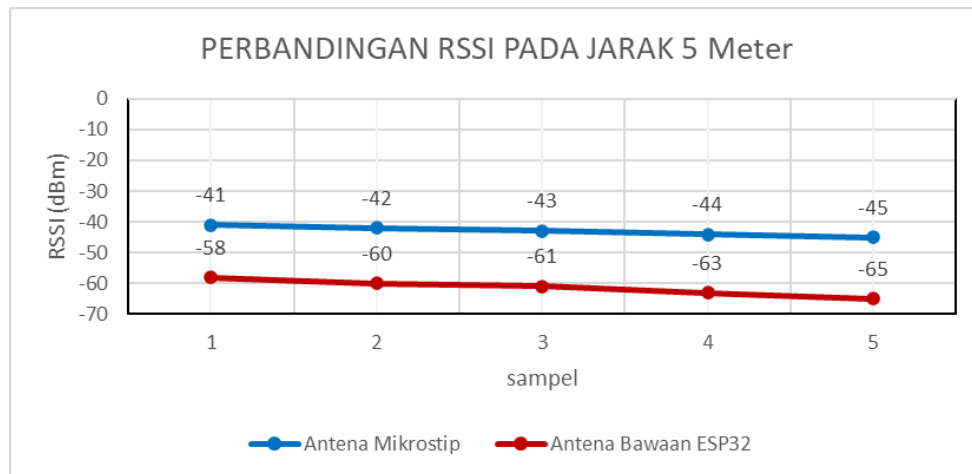
Tahap pengujian diawali pada jarak Pengujian sedilakukan dengan lima kali pengambilan data pada setiap jarak.

4.8.1 Pengukuran Jarak 5 Meter

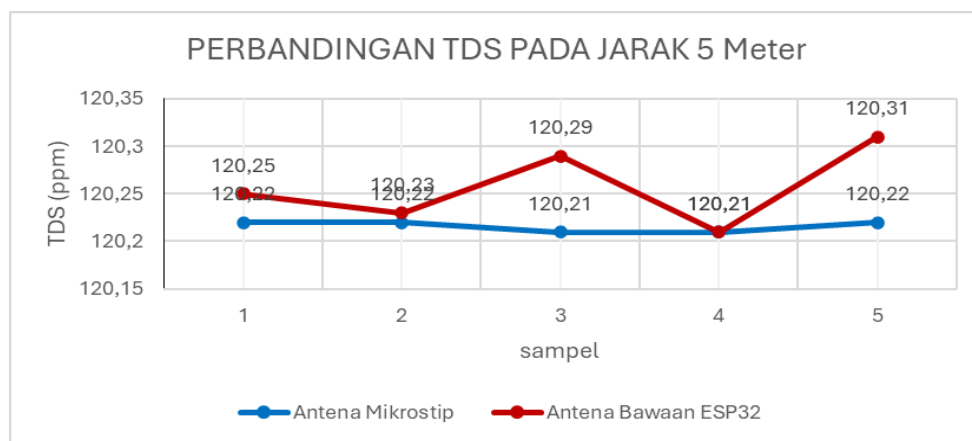
Hasil pengujian pada jarak 5 meter disajikan pada Tabel 4.2, Gambar 4.7, dan Gambar 4.8.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip

Jarak 5 meter					
Antena Mikrostrip			Antena Bawaan ESP32		
Sampel	TDS(ppm)	RSSI(dBm)	Sampel	TDS (ppm)	RSSI(dBm)
1	120,22	-41	1	120,25	-58
2	120,22	-42	2	120,23	-60
3	120,21	-43	3	120,29	-61
4	120,21	-44	4	120,21	-63
5	120,22	-45	5	120,31	-65
Rata-rata	120,216	-43	Rata-rata	120,258	-61,4



Gambar 4.8 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32



Gambar 4.9 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32

Berdasarkan Tabel 4.2, Gambar 4.8, dan Gambar 4.9, hasil pengujian pada jarak 5 meter menunjukkan bahwa nilai RSSI antena mikrostrip berada pada rentang -41 dBm hingga -45 dBm, sedangkan antena bawaan ESP32 berada pada rentang -58 dBm hingga -65 dBm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa antena mikrostrip mampu menerima sinyal Wi-Fi dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan antena bawaan ESP32.

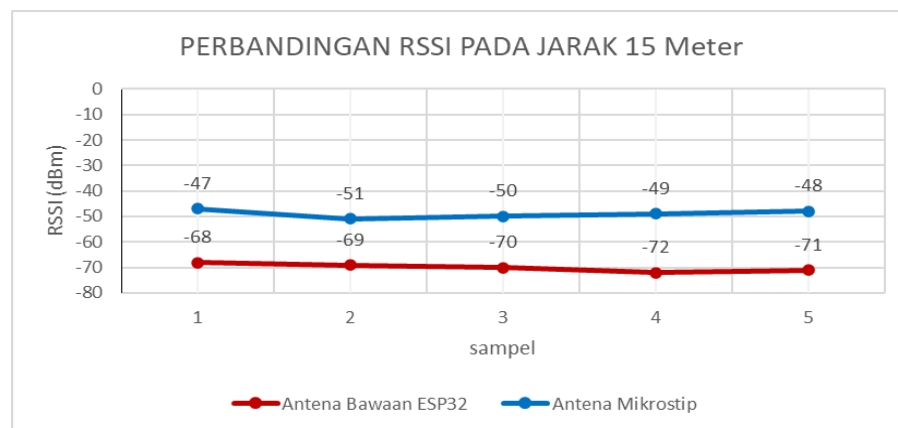
Hasil pembacaan sensor TDS pada kedua antena juga menunjukkan nilai yang relatif stabil. Antena mikrostrip menghasilkan nilai 120,21–120,22 ppm, sedangkan antena bawaan ESP32 menghasilkan nilai 120,21–120,31 ppm. Perbedaan nilai tersebut sangat kecil, sehingga penggunaan jenis antena tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap data TDS yang diterima.

4.8.2 Pengukuran Jarak 15 Meter

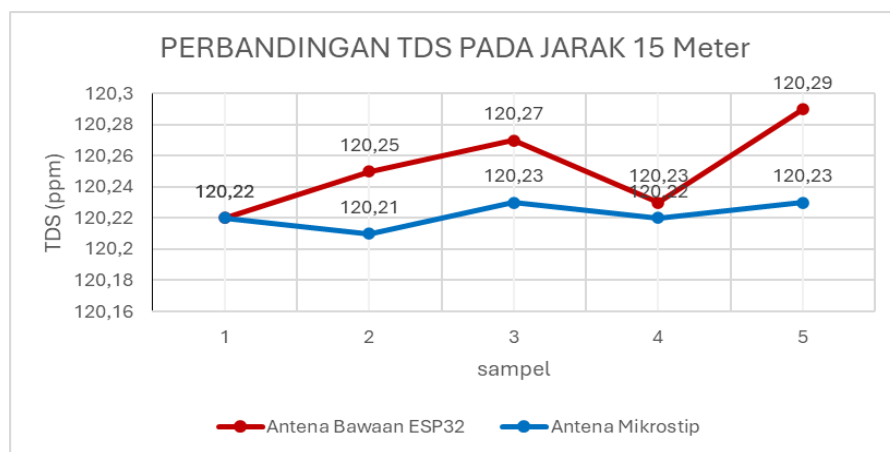
Hasil pengujian pada jarak 15 meter disajikan pada Tabel 4.3 Gambar 4.9, dan Gambar 4.10.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip

Jarak 15 Meter					
Antena Mikrostrip			Antena Bawaan ESP32		
Sampel	RSSI (dBm)	TDS (ppm)	Sampel	RSSI (dBm)	TDS (ppm)
1	-47	120,22	1	120,22	-68
2	-51	120,21	2	120,25	-69
3	-50	120,23	3	120,27	-70
4	-49	120,22	4	120,23	-72
5	-48	120,23	5	120,29	-71
Rata-rata	-49	120,222	Rata-rata	120,252	-70



Gambar 4.10 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32



Gambar 4.11 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32

Berdasarkan Tabel 4.3, Gambar 4.10, dan Gambar 4.11, hasil pengujian pada jarak 15 meter menunjukkan bahwa nilai RSSI antena mikrostrip berada pada rentang -47 dBm hingga -51 dBm, sedangkan antena bawaan ESP32 berada pada rentang -68 dBm hingga -72 dBm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa antena mikrostrip masih mampu menerima sinyal Wi-Fi dengan lebih baik dibandingkan antena bawaan ESP32 pada jarak 15 meter.

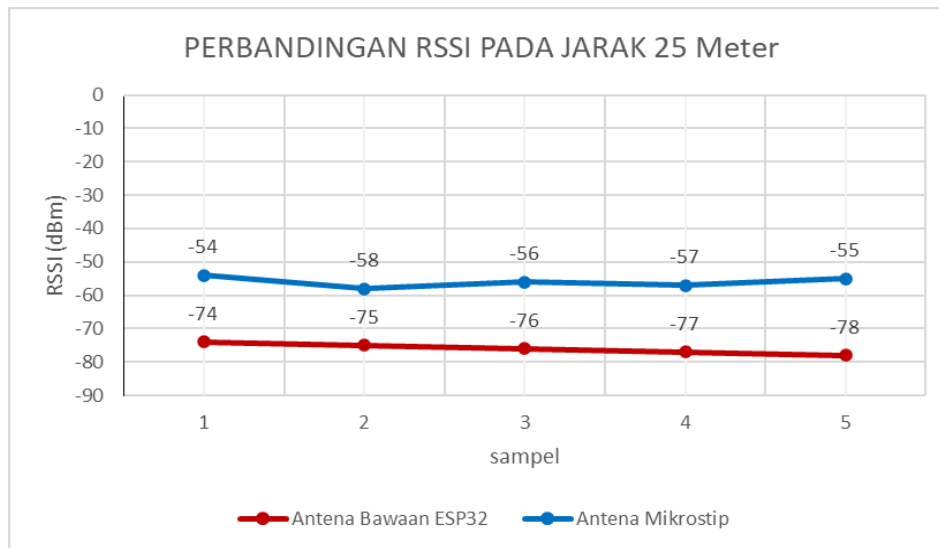
Hasil pembacaan sensor TDS pada kedua antena juga relatif stabil. Antena mikrostrip menghasilkan nilai 120,21–120,23 ppm, sedangkan antena bawaan ESP32 menghasilkan nilai 120,22–120,29 ppm. Meskipun terdapat sedikit perubahan pada beberapa sampel, data yang diperoleh dari kedua antena tetap berada pada rentang yang hampir sama, sehingga penggunaan jenis antena tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil pembacaan sensor TDS.

4.8.3 Pengukuran Jarak 25 Meter

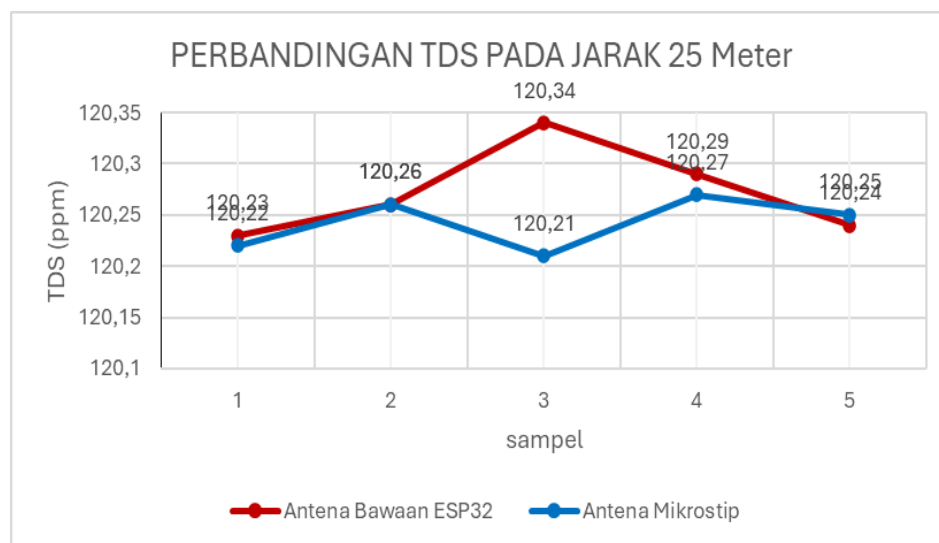
Hasil pengujian pada jarak 25 meter disajikan pada Tabel 4.4, Gambar 4.11, dan Gambar 4.12.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip

Jarak 25 Meter					
Antena Mikrostrip			Antena Bawaan ESP32		
Sampel	RSSI (dBm)	TDS (ppm)	Sampel	RSSI (dBm)	TDS (ppm)
1	-54	120,22	1	120,23	-74
2	-58	120,26	2	120,26	-75
3	-56	120,21	3	120,34	-76
4	-57	120,27	4	120,29	-77
5	-55	120,25	5	120,24	-78
Rata-rata	-56	120,242	Rata-rata	120,272	-76



Gambar 4.12 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32



Gambar 4.13 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32

Berdasarkan Tabel 4.4, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13, hasil pengujian pada jarak 25 meter menunjukkan bahwa nilai RSSI antena mikrostrip berada pada rentang -54 dBm hingga -58 dBm, sedangkan antena bawaan ESP32 berada pada rentang -74 dBm hingga -78 dBm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa antena mikrostrip masih mampu menerima sinyal Wi-Fi dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan antena bawaan ESP32 pada jarak 25 meter.

Hasil pembacaan sensor TDS pada kedua antena tetap berada pada rentang yang hampir sama. Antena mikrostrip menghasilkan nilai 120,21–120,27 ppm,

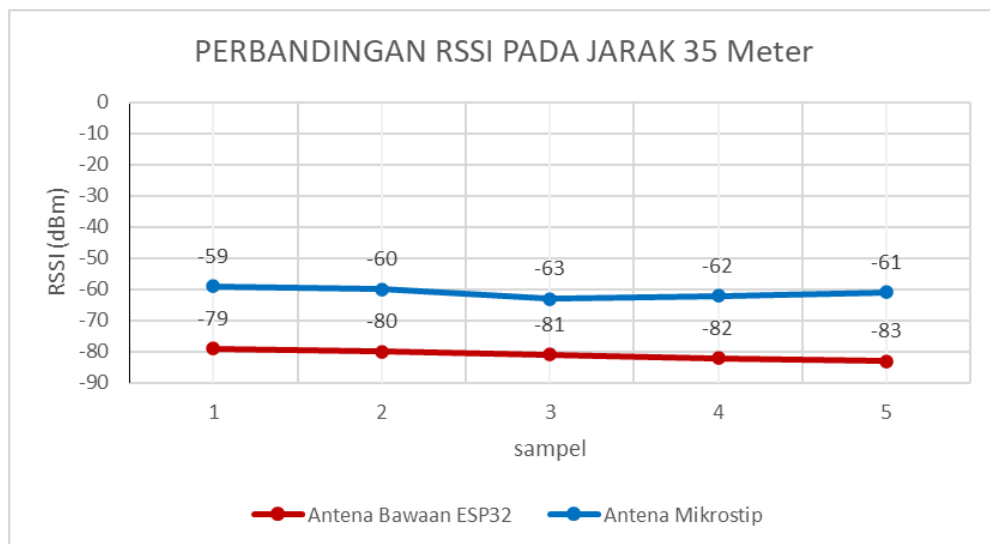
sedangkan antenna bawaan ESP32 menghasilkan nilai 120,23–120,34 ppm. Meskipun terdapat sedikit perubahan pada setiap sampel, data TDS yang diterima masih relatif stabil sehingga penggunaan jenis antenna tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil pembacaan sensor.

4.8.4 Pengukuran Jarak 35 Meter

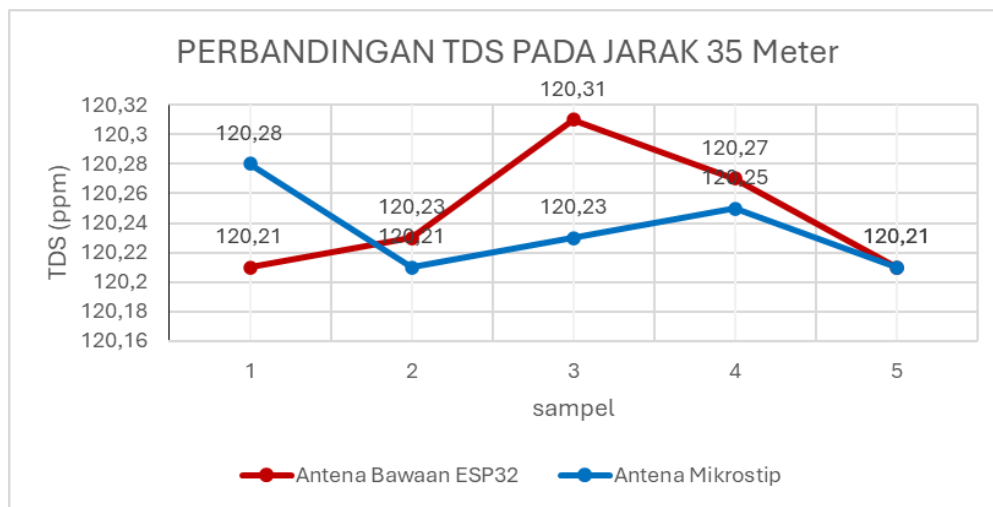
Hasil pengujian pada jarak 35 meter disajikan pada Tabel 4.5 Gambar 4.13, dan Gambar 4.14.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip

Jarak 35 Meter					
Antena Mikrostrip			Antena Bawaan ESP32		
Sampel	RSSI(dBm)	TDS(ppm)	Sampel	TDS(ppm)	RSSI(dBm)
1	-59	120,28	1	120,21	-79
2	-60	120,21	2	120,23	-80
3	-63	120,23	3	120,31	-81
4	-62	120,25	4	120,27	-82
5	-61	120,21	5	120,21	-83
Rata-rata	-61	120,36	Rata-rata	120,246	-81



Gambar 4.14 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32



Gambar 4.15 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32

Berdasarkan Tabel 4.5, Gambar 4.14, dan Gambar 4.15, hasil pengujian pada jarak 35 meter menunjukkan bahwa nilai RSSI antena mikrostrip berada pada rentang -59 dBm hingga -63 dBm, sedangkan antena bawaan ESP32 berada pada rentang -79 dBm hingga -83 dBm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa antena mikrostrip tetap memiliki kemampuan penerimaan sinyal yang lebih baik dibandingkan antena bawaan ESP32 pada jarak 35 meter.

Hasil pembacaan sensor TDS pada kedua antena masih berada pada rentang yang hampir sama. Antena mikrostrip menghasilkan nilai 120,21–120,28 ppm, sedangkan antena bawaan ESP32 menghasilkan nilai 120,21–120,31 ppm. Meskipun terjadi sedikit perubahan pada setiap sampel, data TDS yang diperoleh tetap relatif stabil sehingga penggunaan jenis antena tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil pembacaan sensor.

4.8.5 Pengukuran Jarak 45 Meter

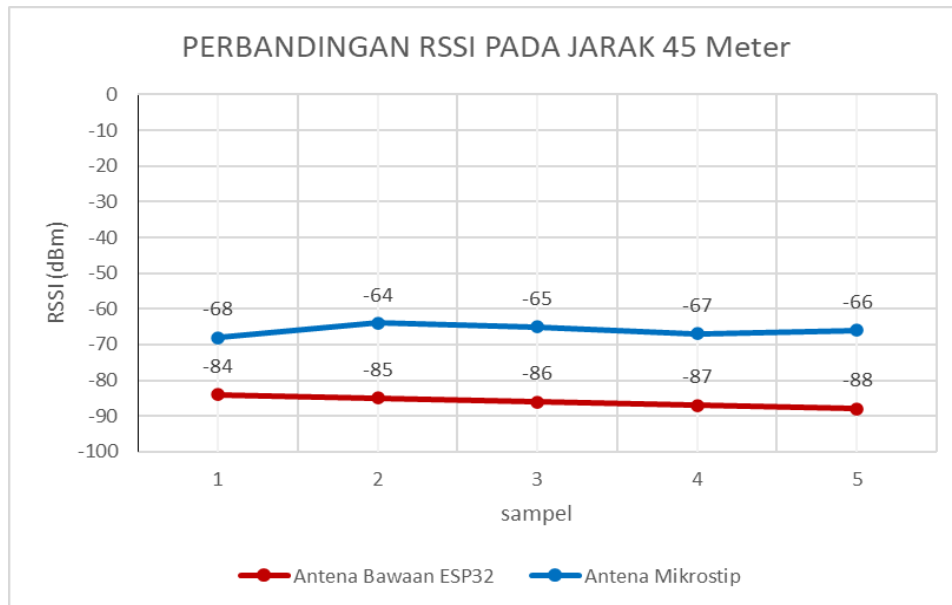
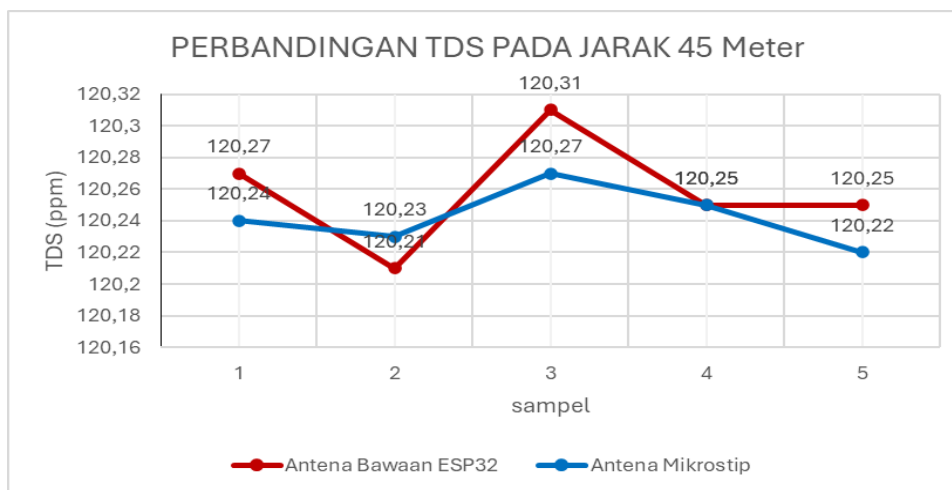
Hasil pengujian pada jarak 45 meter disajikan pada Tabel 4.6, Gambar 4.15, dan Gambar 4.16.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip

Jarak 45 Meter					
Antena Mikrostrip			Antena Bawaan ESP32		
Sampel	TDS(ppm)	RSSI(dBm)	Sampel	TDS(ppm)	RSSI(dBm)
1	120,24	-68	1	120,27	-84
2	120,23	-64	2	120,21	-85

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip (Lanjutan)

3	120,27	-65	3	120,31	-86
4	120,25	-67	4	120,25	-87
5	120,22	-66	5	120,25	-88
Rata-rata	120,242	-66	Rata-rata	120,258	-86

**Gambar 4.16** Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32**Gambar 4.17** Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32

Berdasarkan Tabel 4.6, Gambar 4.16, dan Gambar 4.17, hasil pengujian pada jarak 45 meter menunjukkan bahwa nilai RSSI antena mikrostrip berada pada rentang -64 dBm hingga -68 dBm, sedangkan antena bawaan ESP32 berada pada

rentang -84 dBm hingga -88 dBm. Hal ini menunjukkan bahwa antenna mikrostrip masih mampu menerima sinyal Wi-Fi dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan antenna bawaan ESP32 pada jarak 45 meter.

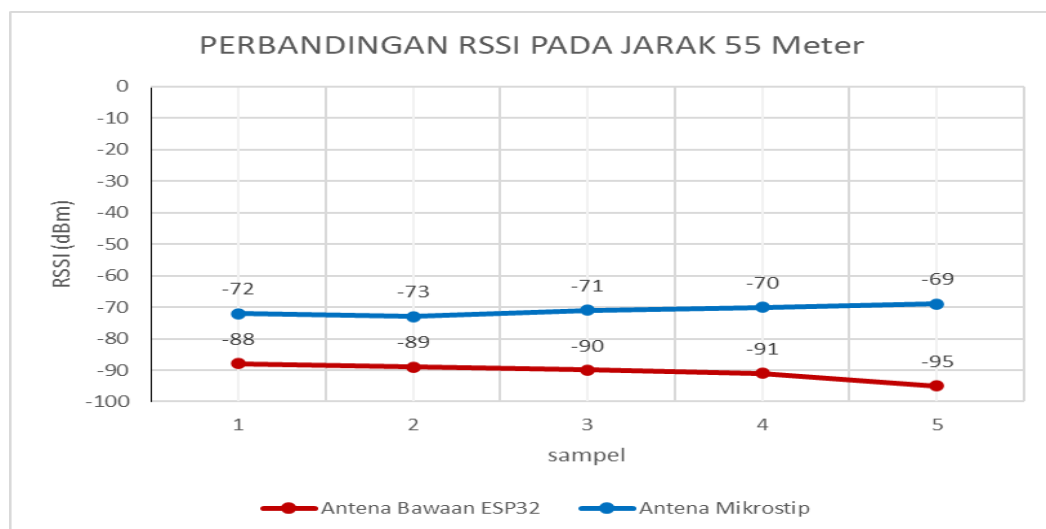
Hasil pembacaan sensor TDS pada kedua antenna juga menunjukkan nilai yang relatif stabil. Antenna mikrostrip menghasilkan nilai 120,22–120,27 ppm, sedangkan antenna bawaan ESP32 menghasilkan nilai 120,21–120,31 ppm. Perbedaan nilai TDS pada setiap sampel tidak terlalu besar, sehingga penggunaan jenis antenna tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil pembacaan sensor TDS.

4.8.6 Pengukuran Jarak 55 Meter

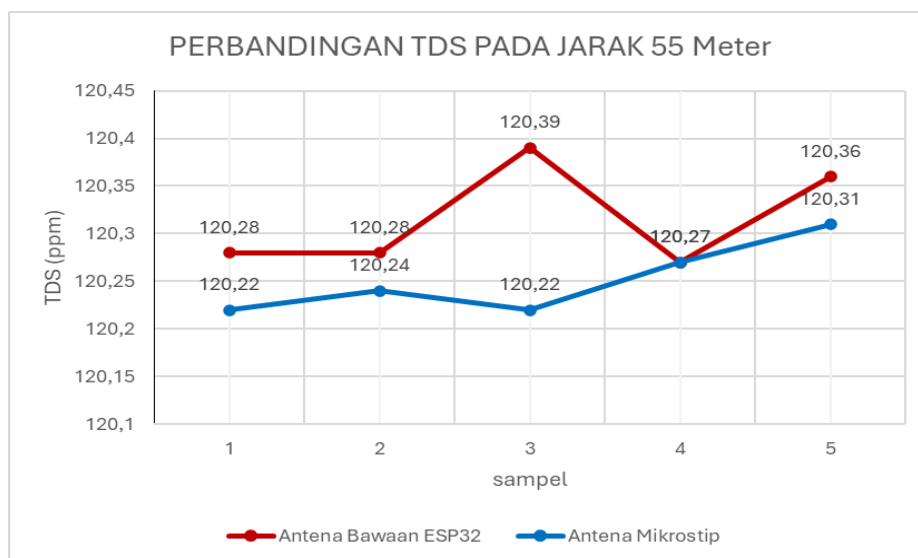
Hasil pengujian pada jarak 55 meter disajikan pada Tabel 4.7, Gambar 4.17, dan Gambar 4.18.

Tabel 4. 8 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip

Jarak 55 Meter					
Antena Mikrostrip			Antena Bawaan ESP32		
Sampel	TDS(ppm)	RSSI(dBm)	Sampel	RSSI(dBm)	TDS(ppm)
1	-72	120,22	1	120,28	-88
2	-73	120,24	2	121,28	-89
3	-71	120,22	3	120,39	-90
4	-70	120,27	4	120,27	-91
5	-69	120,31	5	120,36	-95
Rata-rata	-71	120,252	Rata-rata	120,516	-90,6



Gambar 4.18 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32



Gambar 4. 19 Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32

Berdasarkan Tabel 4.18, Gambar 4.19, dan Gambar 4.18, hasil pengujian pada jarak 55 meter menunjukkan bahwa nilai RSSI antena mikrostrip berada pada rentang -69 dBm hingga -73 dBm, sedangkan antena bawaan ESP32 berada pada rentang -88 dBm hingga -95 dBm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa antena mikrostrip masih mampu menerima sinyal Wi-Fi dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan antena bawaan ESP32 meskipun jarak pengujian semakin jauh.

Hasil pembacaan sensor TDS pada kedua antena tetap berada pada rentang yang hampir sama. Antena mikrostrip menghasilkan nilai 120,22–120,31 ppm, sedangkan antena bawaan ESP32 menghasilkan nilai 120,27–120,39 ppm. Meskipun terdapat sedikit fluktuasi pada setiap sampel, data TDS yang diperoleh masih relatif stabil sehingga penggunaan jenis antena tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap hasil pembacaan sensor.

4.8.7 Pengukuran Jarak 60 Meter

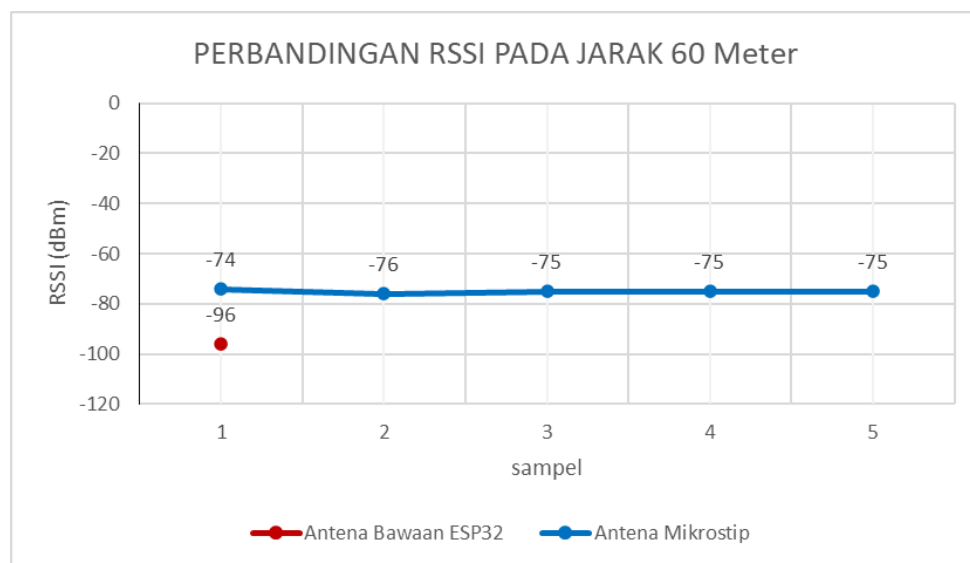
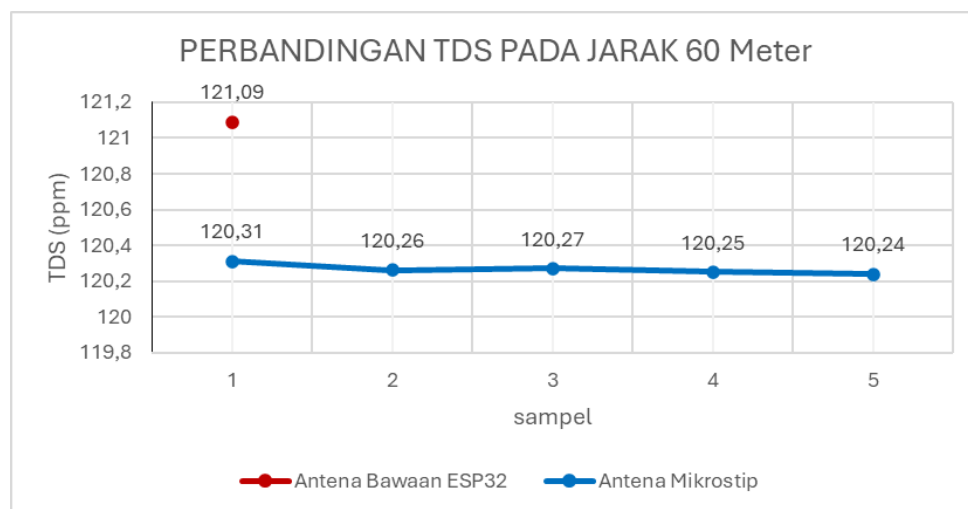
Hasil pengujian pada jarak 60 meter disajikan pada Tabel 4.8, Gambar 4.19 dan Gambar 4.20.

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip

Antena Bawaan ESP32					
Jarak 60 m			Jarak 65 m		
Sampel	RSSI (dBm)	TDS (ppm)	Sampel	TDS(ppm)	RSSI(dBm)

Tabel 4. 10 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip (Lanjutan)

1	-74	120,31	1	121,09	-96
2	-76	120,26	2	-	-
3	-75	120,27	3	-	-
4	-75	120,25	4	-	-
5	-75	120,24	5	-	-
Rata-rata	-75	120,31	Rata-rata	-	-

**Gambar 4. 20** Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32**Gambar 4. 21** Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32

Berdasarkan Tabel 4.8, Gambar 4.20, dan Gambar 4.21, pengujian pada jarak 60 meter menunjukkan bahwa antenna mikrostrip masih memperoleh nilai RSSI pada rentang -74 dBm hingga -76 dBm, sedangkan antenna bawaan ESP32 hanya menghasilkan 1 data dengan nilai -96 dBm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa antenna mikrostrip masih mampu mempertahankan komunikasi, sedangkan antenna bawaan ESP32 mulai mengalami kegagalan transmisi pada jarak tersebut.

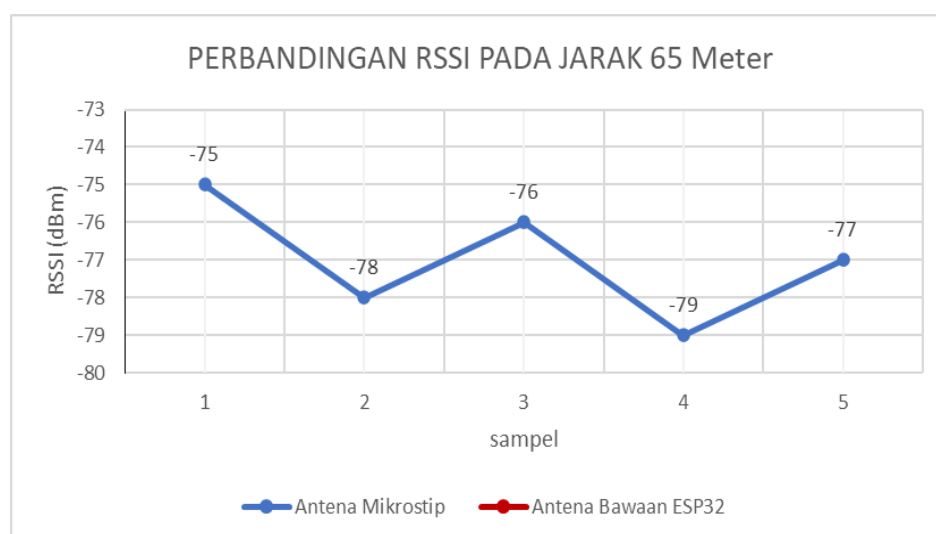
Nilai TDS yang diperoleh antenna mikrostrip berada pada rentang 120,24–120,31 ppm dan tetap stabil. Sementara itu, antenna bawaan ESP32 hanya menghasilkan 1 data TDS, yaitu 121,09 ppm, karena data pada sampel berikutnya tidak berhasil dikirim.

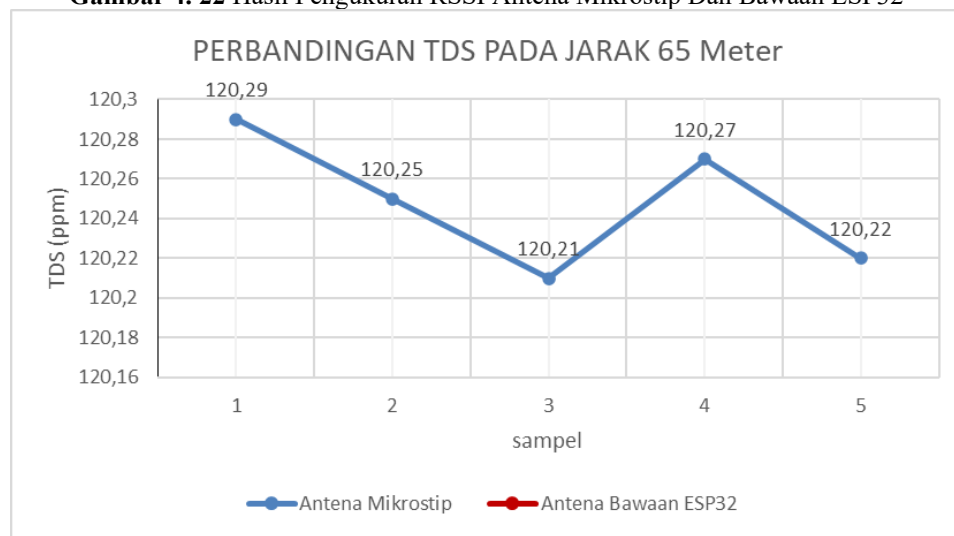
4.8.8 Pengukuran Jarak 65 Meter

Hasil pengujian pada jarak 65 meter disajikan pada Tabel 4.9, Gambar 4.21, dan Gambar 4.22.

Tabel 4. 11 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip

Jarak 65 Meter					
Antena Mikrostrip			Antena Bawaan ESP32		
Sampel	RSSI (dBm)	TDS (ppm)	Sampel	RSSI (dBm)	TDS (ppm)
1	-75	120,29	1	-	-
2	-78	120,25	2	-	-
3	-76	120,21	3	-	-
4	-79	120,27	4	-	-
5	-77	120,22	5	-	-
Rata-rata	-77	120,248	Rata-rata	-	-



Gambar 4. 22 Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32**Gambar 4. 23** Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32

Tabel 4.9, Gambar 4.22, dan Gambar 4.23, hasil pengujian pada jarak 65 meter menunjukkan bahwa antena mikrostrip masih mampu menerima sinyal Wi-Fi dengan nilai RSSI pada rentang -75 dBm hingga -79 dBm. Sebaliknya, antena bawaan ESP32 tidak berhasil mengirimkan data pada seluruh sampel, sehingga nilai RSSI dan TDS tidak dapat diperoleh. Hal ini menunjukkan bahwa jangkauan komunikasi antena mikrostrip lebih baik dibandingkan antena bawaan ESP32.

Nilai TDS yang diperoleh antena mikrostrip berada pada rentang 120,21–120,29 ppm dan tetap relatif stabil selama pengujian. Sementara itu, antena bawaan ESP32 tidak menghasilkan data TDS karena koneksi telah terputus pada jarak 65 meter.

4.8.9 Pengukuran Jarak 75 Meter

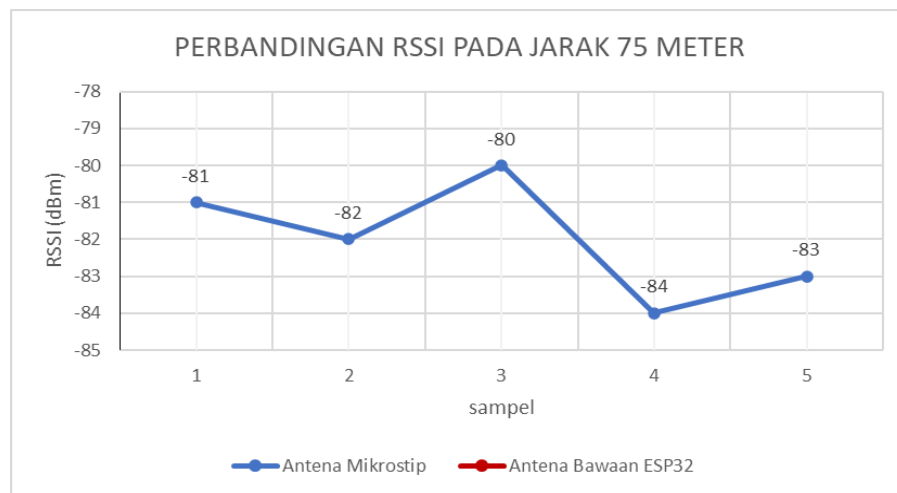
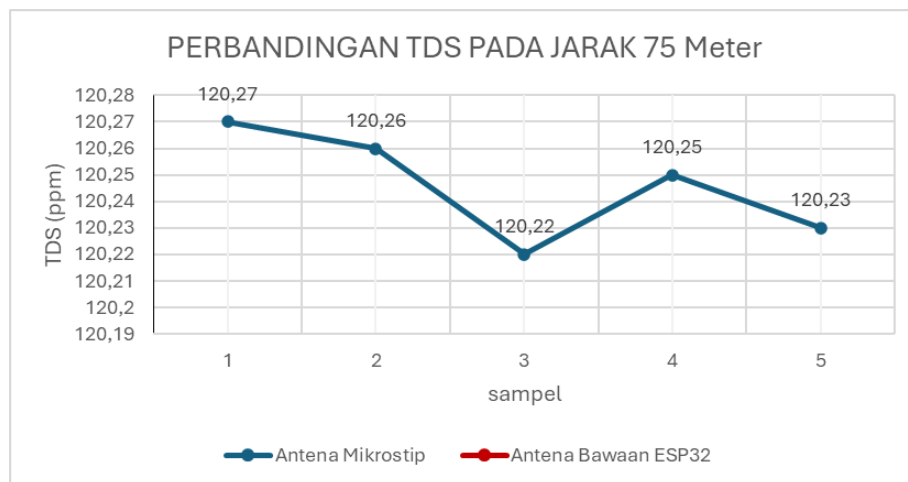
Hasil pengujian pada jarak 75 meter disajikan pada Tabel 4.10, Gambar 4.23, dan Gambar 4.24.

Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip

Jarak 75 Meter					
Antena Mikrostrip			Antena Bawaan ESP32		
Sampel	RSSI (dBm)	TDS(ppm)	Sampel	TDS(ppm)	RSSI(dBm)
1	-81	120,27	1	-	-
2	-82	120,26	2	-	-
3	-80	120,22	3	-	-

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip (Lanjutan)

4	-84	120,25	4	-	-
5	-83	120,23	5	-	-
Rata-rata	-82	120,246	Rata-rata	-	-

**Gambar 4. 24** Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32**Gambar 4. 25** Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32

Berdasarkan Tabel 4.10, Gambar 4.24, dan Gambar 4.25, hasil pengujian pada jarak 75 meter menunjukkan bahwa antena mikrostrip masih mampu menerima sinyal Wi-Fi dengan nilai RSSI pada rentang -80 dBm hingga -84 dBm. Sementara itu, antena bawaan ESP32 tidak dapat menerima maupun mengirimkan data selama pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa antena mikrostrip

memiliki jangkauan komunikasi yang lebih baik dibandingkan antenna bawaan ESP32.

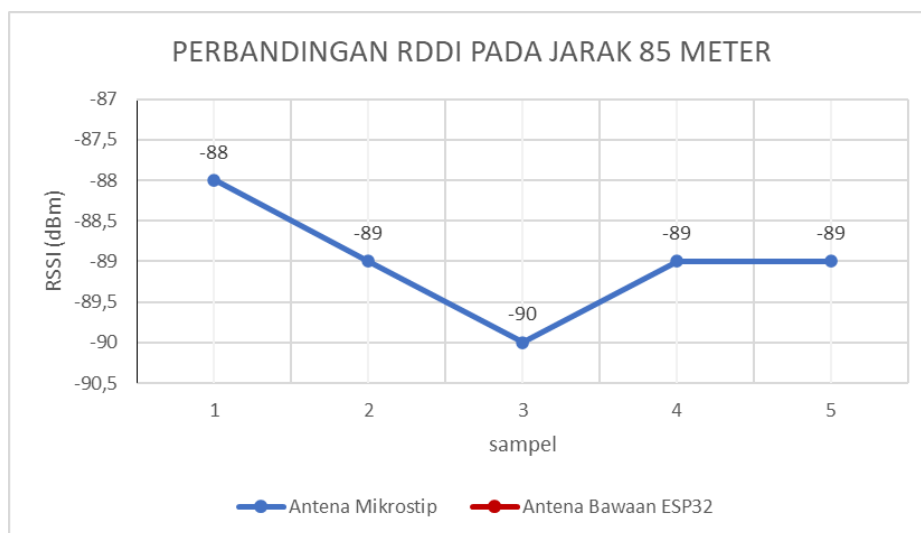
Nilai TDS yang diperoleh antenna mikrostrip berada pada rentang 120,22–120,27 ppm dan tetap relatif stabil pada setiap sampel. Karena antenna bawaan ESP32 tidak berhasil melakukan komunikasi pada jarak 75 meter, data TDS tidak dapat diperoleh.

4.8.10 Pengukuran Jarak 85 Meter

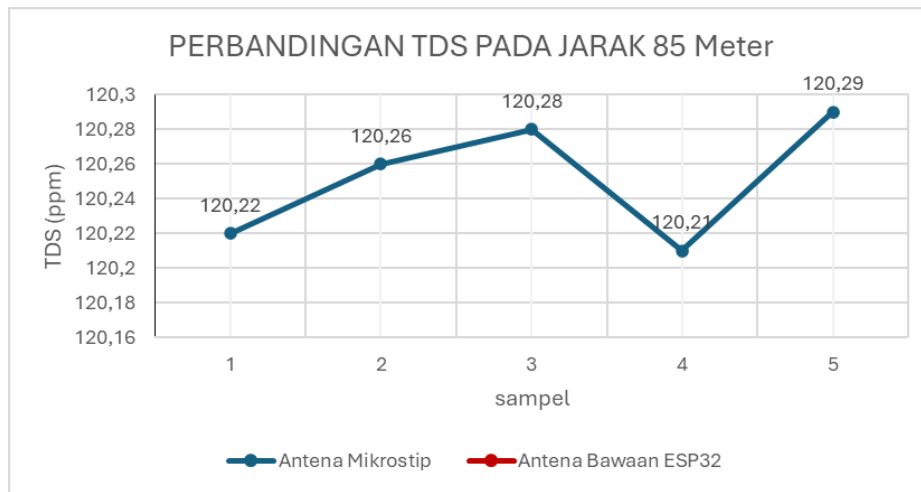
Hasil pengujian pada jarak 85 meter disajikan pada Tabel 4.11, Gambar 4.25, dan Gambar 4.26.

Tabel 4. 14 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip

Jarak 85 Meter					
Antena Mikrostrip			Antena Bawaan ESP32		
Sampel	RSSI(dBm)	TDS(ppm)	Sampel	TDS(ppm)	RSSI(dBm)
1	-88	120,22	1	-	-
2	-89	120,26	2	-	-
3	-90	120,28	3	-	-
4	-89	120,21	4	-	-
5	-89	120,29	5	-	-
Rata-rata	-89	120,252	Rata-rata	-	-



Gambar 4. 26 Grafik Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32



Gambar 4. 27 Grafik Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32

Berdasarkan Tabel 4.11, Gambar 4.26, dan Gambar 4.27, hasil pengujian pada jarak 85 meter menunjukkan bahwa antena mikrostrip masih mampu menerima sinyal Wi-Fi dengan nilai RSSI pada rentang -88 dBm hingga -90 dBm. Sementara itu, antena bawaan ESP32 tidak dapat menerima maupun mengirimkan data selama pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa antena mikrostrip masih dapat mempertahankan komunikasi pada jarak tersebut, sedangkan antena bawaan ESP32 telah kehilangan koneksi.

Nilai TDS yang diperoleh antena mikrostrip berada pada rentang 120,21–120,29 ppm dan tetap relatif stabil pada setiap sampel. Karena antena bawaan ESP32 tidak berhasil melakukan komunikasi, data TDS tidak dapat diperoleh pada jarak 85 meter.

4.8.11 Pengukuran Jarak 90 Meter

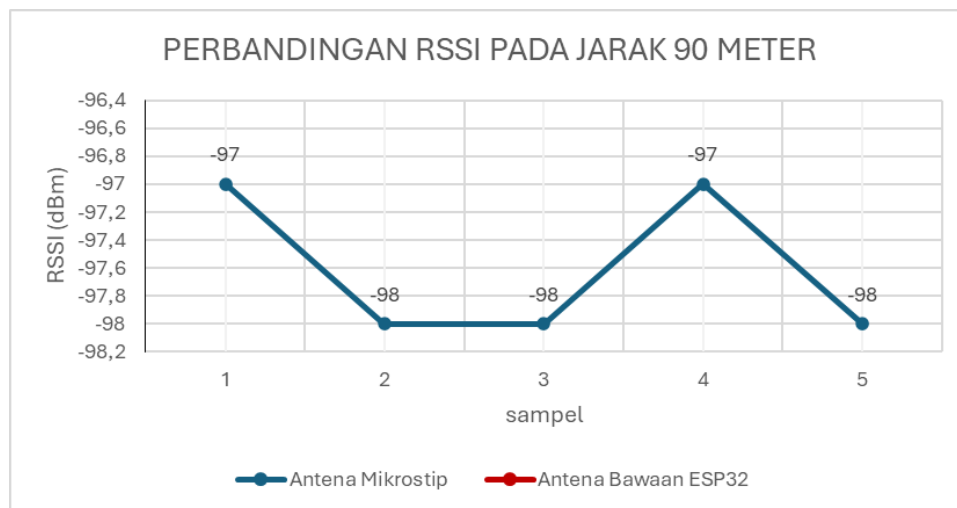
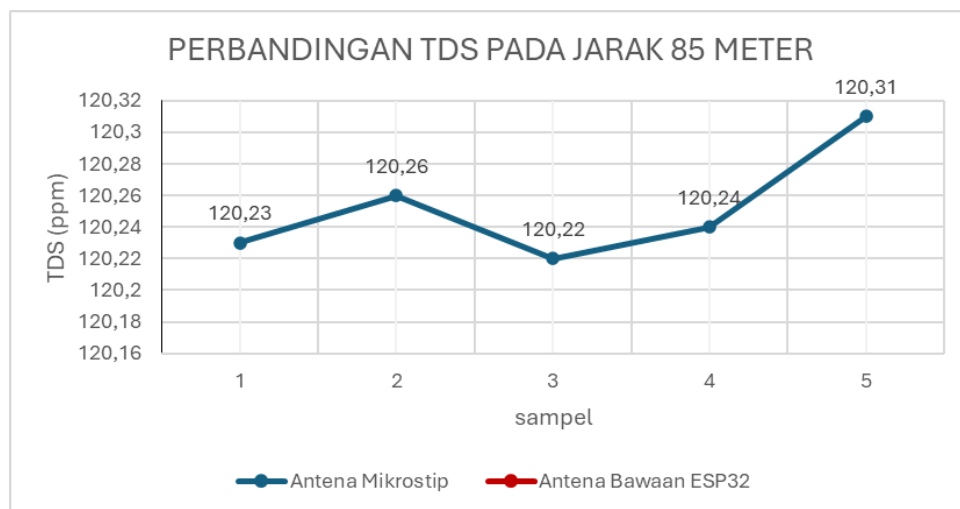
Hasil pengujian pada jarak 90 meter disajikan pada Tabel 4.12, Gambar 4.27, dan Gambar 4.82.

Tabel 4. 15 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip

Jarak 90 Meter					
Antena Mikrostrip			Antena Bawaan ESP32		
Sampel	RSSI(dBm)	TDS(ppm)	Sampel	TDS(ppm)	RSSI(dBm)
1	-97	121,23	1	-	-
2	-98	120,26	2	-	-
3	-98	120,22	3	-	-

Tabel 4. 16 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip (Lanjutan)

4	-97	122,24	4	-	-
5	-98	120,31	5	-	-
Rata-rata	-97,6	120,852	Rata-rata	-	-

**Gambar 4. 28** Grafik Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32**Gambar 4. 29** Grafik Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32

Berdasarkan Tabel 4.12, Gambar 4.28, dan Gambar 4.29, hasil pengujian pada jarak 90 meter menunjukkan bahwa antena mikrostrip masih mampu menerima sinyal Wi-Fi dengan nilai RSSI pada rentang -97 dBm hingga -98 dBm. Sementara itu, antena bawaan ESP32 tidak dapat menerima maupun mengirimkan

data selama pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa antenna mikrostrip masih mampu mempertahankan koneksi hingga jarak 90 meter.

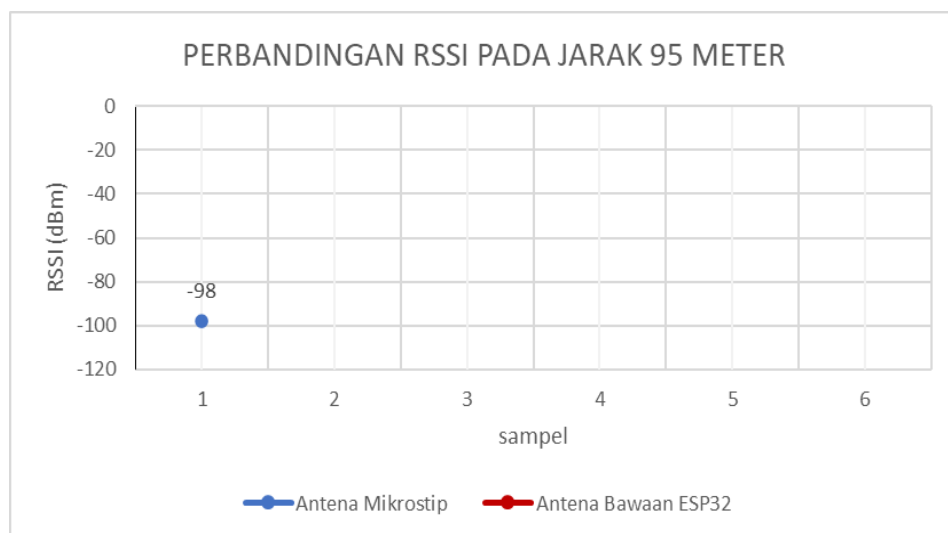
Nilai TDS yang diperoleh antenna mikrostrip berada pada rentang 120,22–120,31 ppm dan tetap relatif stabil pada setiap sampel. Karena antenna bawaan ESP32 tidak berhasil melakukan komunikasi, data TDS tidak dapat diperoleh pada jarak 90 meter.

4.8.12 Pengukuran Jarak 95 Meter

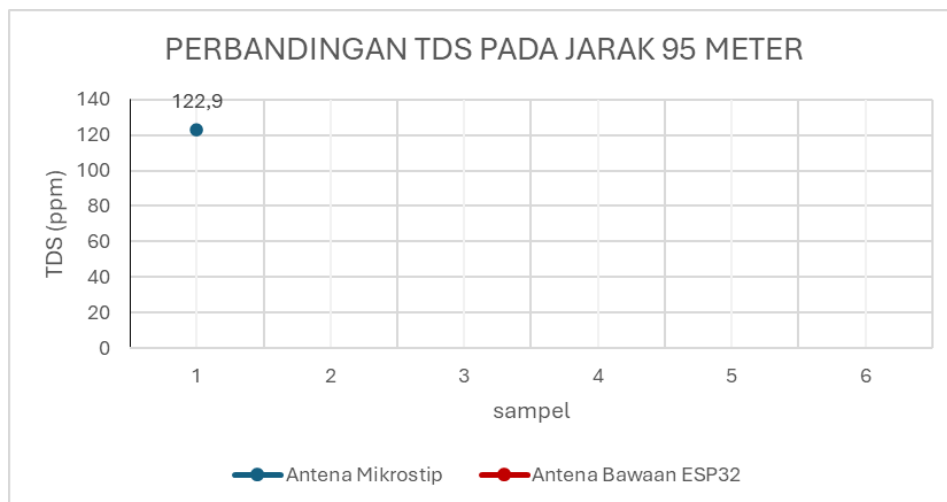
Hasil pengujian pada jarak 95 meter disajikan pada Tabel 4.13, Gambar 4.29, dan Gambar 4.30.

Tabel 4. 17 Hasil Pengujian Antena Bawaan ESP32 dan Antena Mikrostrip

Jarak 95 Meter					
Antena Mikrostrip			Antena Bawaan ESP32		
Sampel	RSSI(dBm)	TDS(ppm)	Sampel	RSSI(dBm)	TDS(ppm)
1	-98	122,9	1	-	-
2	-	-	2	-	-
3	-	-	3	-	-
4	-	-	4	-	-
5	-	-	5	-	-
Rata-rata	-	-	Rata-rata	-	-



Gambar 4. 30 Grafik Hasil Pengukuran RSSI Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32



Gambar 4. 31 Grafik Hasil Pengukuran TDS Antena Mikrostrip Dan Bawaan ESP32

Berdasarkan Tabel 4.13, Gambar 4.30, dan Gambar 4.31, hasil pengujian pada jarak 95 meter menunjukkan bahwa antena mikrostrip hanya berhasil mengirimkan 1 sampel dengan nilai RSSI sebesar -98 dBm, sedangkan pada sampel berikutnya data tidak dapat dikirim. Antena bawaan ESP32 juga tidak berhasil menerima maupun mengirimkan data selama pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa jarak 95 meter telah mendekati batas jangkauan komunikasi antena mikrostrip.

Data TDS yang berhasil diperoleh antena mikrostrip hanya berasal dari 1 sampel, yaitu sebesar 122,9 ppm, sedangkan pada sampel berikutnya tidak diperoleh data karena koneksi terputus. Sementara itu, antena bawaan ESP32 tidak menghasilkan data TDS selama pengujian pada jarak tersebut.

4.8.13 Hasil Pengukuran Rata-Rata Antena Bawaan ESP32 Dan Antena Mikrostrip

Setelah dilakukan analisis hasil pengujian pada setiap variasi jarak, dilakukan analisis keseluruhan terhadap performa komunikasi antena mikrostrip dan antena bawaan ESP32. Analisis dilakukan menggunakan nilai rata-rata RSSI dan data TDS pada setiap variasi jarak sebagai dasar perbandingan kualitas komunikasi kedua antena. Selain itu, analisis ini digunakan untuk mengevaluasi batas maksimum jangkauan komunikasi yang masih dapat dipertahankan oleh masing-masing

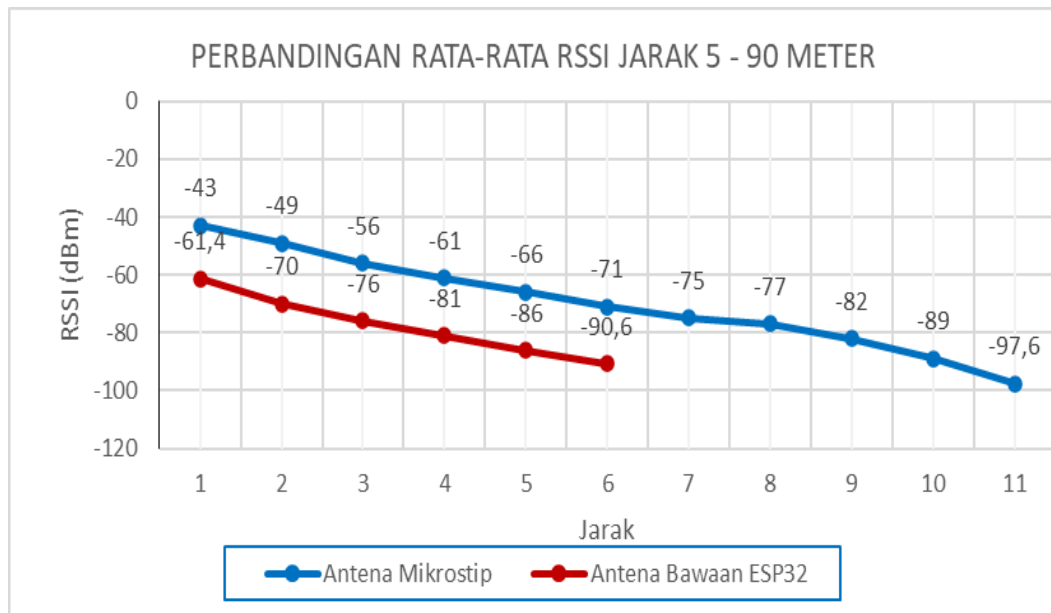
antena. Hasil perhitungan rata-rata disajikan pada Tabel 4.14, sedangkan visualisasi perbandingan kedua parameter ditampilkan pada Gambar 4.xx dan Gambar 4.xx untuk mempermudah proses analisis.

Tabel 4. 18 Rata-rata Hasil Pengukuran RSSI dan TDS

Jarak (m)	RSSI Antena Mikrostrip (dBm)	TDS Antena Mikrostrip (ppm)	RSSI Antena Bawaan ESP32 (dBm)	TDS Antena Bawaan ESP32 (ppm)
5	-43	120,216	-61,4	120,258
15	-49	120,222	-70	120,252
25	-56	120,242	-76	120,272
35	-61	120,36	-81	120,246
45	-66	120,242	-86	120,258
55	-71	120,252	-90,6	120,516
60	-75	120,31	—	—
65	-77	120,248	—	—
75	-82	120,246	—	—
85	-89	120,252	—	—
90	-97,6	120,852	—	—
95	-	-	—	—

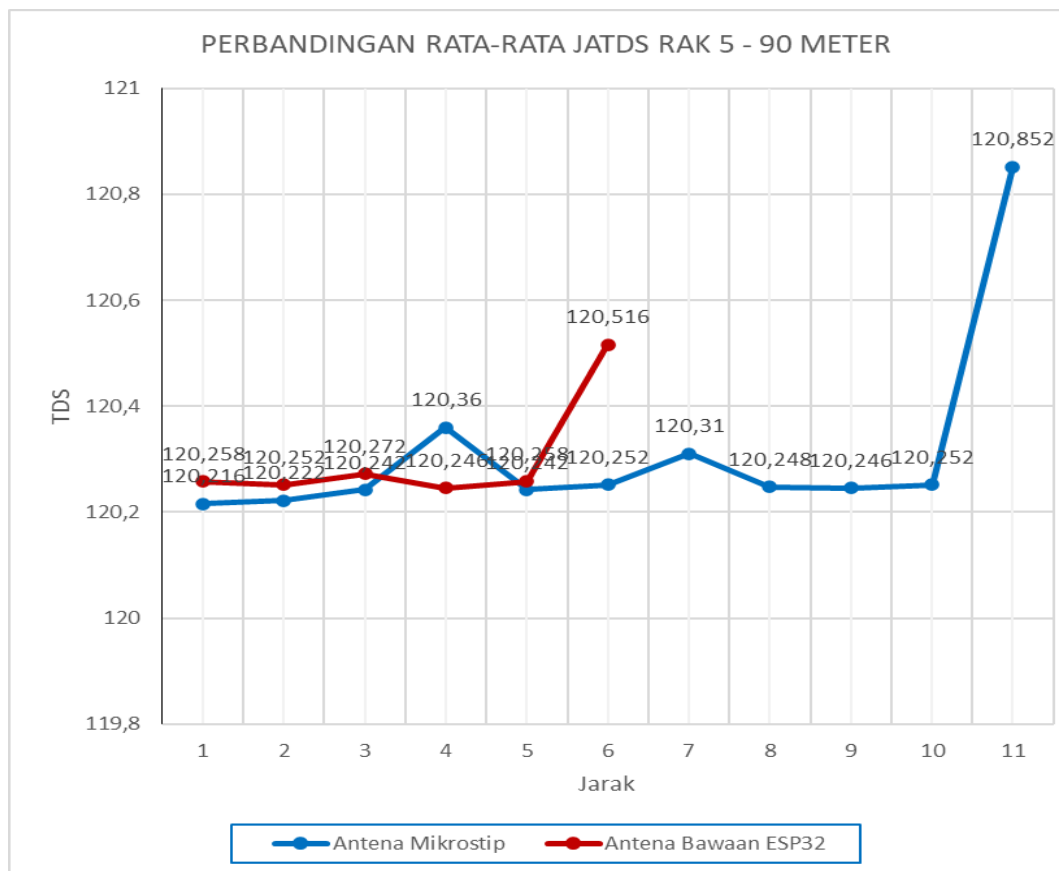
Berdasarkan Tabel 4.14, terlihat bahwa nilai RSSI kedua antenna mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak pengujian. Antena mikrostrip menghasilkan nilai RSSI yang lebih baik pada seluruh variasi jarak dibandingkan antenna bawaan ESP32. Selain itu, antenna mikrostrip masih mampu mempertahankan komunikasi hingga jarak 90 meter, sedangkan antenna bawaan ESP32 hanya mampu mempertahankan komunikasi hingga 55 meter.

Pada parameter TDS, kedua antenna menghasilkan nilai yang relatif sama, yaitu berada pada kisaran 120–123 ppm selama komunikasi masih berlangsung. Hal ini menunjukkan bahwa jenis antenna tidak memengaruhi hasil pembacaan sensor, melainkan hanya memengaruhi kualitas komunikasi dalam proses pengiriman data.



Gambar 4. 32 Perbandingan Rata-Rata RSSI Pada Jarak 5-90 Meter

Berdasarkan Gambar 4.32, nilai RSSI pada kedua antenna menurun seiring bertambahnya jarak akibat meningkatnya redaman propagasi. Namun, antenna mikrostrip secara konsisten menghasilkan nilai RSSI yang lebih baik dibandingkan antenna bawaan ESP32 pada setiap variasi jarak. Antenna bawaan ESP32 hanya mampu mempertahankan komunikasi hingga 55 meter dengan RSSI sekitar -90 dBm, sedangkan antenna mikrostrip masih dapat berkomunikasi hingga 90 meter dengan RSSI sekitar $-97,6$ dBm. Hasil ini menunjukkan bahwa antenna mikrostrip memiliki kualitas penerimaan sinyal yang lebih baik sehingga mampu memperluas jangkauan komunikasi sekitar 35 meter dibandingkan antenna bawaan ESP32.



Gambar 4. 33 Perbandingan Rata-Rata RSSI Pada Jarak 5-90 Mete

Berdasarkan Gambar 4.33, nilai TDS pada kedua antenna relatif stabil pada kisaran 120–123 ppm selama komunikasi masih berlangsung. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan antenna tidak memengaruhi hasil pembacaan sensor TDS. Perbedaan hanya terlihat pada jangkauan komunikasi, di mana antenna bawaan ESP32 hanya mampu mengirimkan data hingga 55 meter, sedangkan antenna mikrostrip masih mampu mengirimkan data hingga 90 meter.

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.19 dan Gambar 4.20, antenna mikrostrip menunjukkan performa komunikasi yang lebih baik dibandingkan antenna bawaan ESP32. Hal ini ditunjukkan oleh nilai RSSI yang lebih tinggi pada setiap variasi jarak serta kemampuan mempertahankan komunikasi hingga jarak 90 meter, sedangkan antenna bawaan ESP32 hanya mampu berkomunikasi hingga 55 meter. Selain itu, nilai TDS yang diterima pada kedua antenna relatif sama selama komunikasi masih berlangsung. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa

penggunaan antena mikrostrip tidak memengaruhi hasil pembacaan sensor, tetapi mampu meningkatkan kualitas komunikasi dan memperluas jangkauan transmisi data pada sistem pemantauan kualitas air sumur galian berbasis IoT.

4.9 Hasil Pengukuran Antena Berdasarkan Arah (Orientasi)

Tahap pengujian diawali pada jarak Pengujian sedilakukan pengambilan data berdasarkan arah (orientasi)

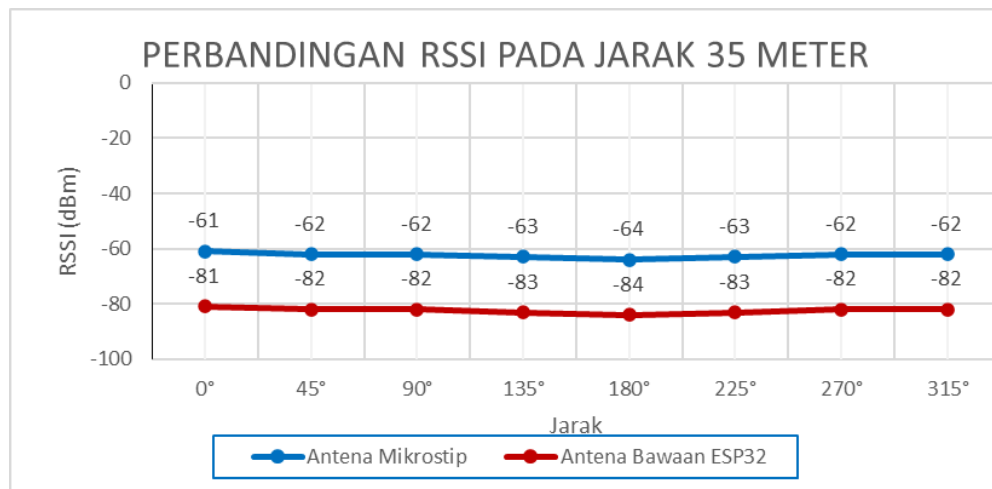
4.9.1 Pengukuran Berdasarkan Arah Pada Jarak 35 Meter

Selain pengujian pada jalur lurus, dilakukan pula pengujian RSSI berdasarkan variasi arah (orientasi) antena untuk mengetahui pola penerimaan sinyal ke delapan arah mata angin, yaitu 0° , 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , dan 315° . Pengujian dilakukan pada jarak 35 m dan 55 m untuk membandingkan Antena Mikrostrip dengan Antena Bawaan ESP32, sedangkan pengujian pada jarak 90 m hanya dilakukan pada Antena Mikrostrip karena Antena Bawaan ESP32 sudah tidak mampu mempertahankan komunikasi pada jarak tersebut. Hasil pengujian disajikan pada pada Tabel 4.15, Gambar 4.33 dan Gambar 4.34.

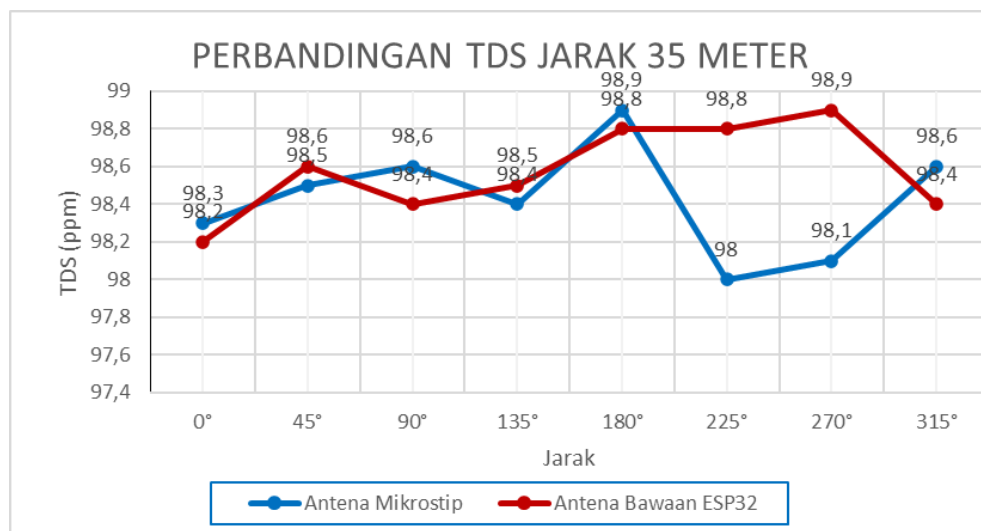
Tabel 4. 19 Tabel Hasil Pengukuran RSSI Dan TDS berdasarkan variasi arah

Jarak 35 Meter				
Arah	RSSI Antena Mikrostrip (dBm)	TDS Antena Mikrostrip (ppm)	RSSI Antena Bawaan ESP32 (dBm)	TDS Antena Bawaan ESP32 (ppm)
0°	-61	98,3	-81	98,2
45°	-62	98,5	-82	98,6
90°	-62	98,6	-82	98,4
135°	-63	98,4	-83	98,5
180°	-64	98,9	-84	98,8
225°	-63	98	-83	98,8
270°	-62	98,1	-82	98,9
315°	-62	98,6	-82	98,4

Data hasil pengujian pada Tabel 4.15 kemudian disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis perubahan nilai RSSI dan TDS pada setiap arah pengujian. Grafik perbandingan hasil pengujian pada jarak 35 meter ditunjukkan pada Gambar di bawah ini :



Gambar 4. 34 Perbandingan RSSI berdasarkan arah pada jarak 35 m (Antena Mikrostrip vs Antena Bawaan)



Gambar 4. 35 Perbandingan TDS berdasarkan arah pada jarak 35 m (Antena Mikrostrip vs Antena Bawaan)

Berdasarkan Tabel 4.15, Gambar 4.34 dan Gambar 4.35, terlihat bahwa nilai RSSI kedua antenna relatif konsisten di seluruh arah pengujian, dengan sinyal terlemah cenderung berada pada arah 180° dan menguat kembali mendekati arah 0°/315°. Antena Mikrostrip secara konsisten menghasilkan RSSI yang lebih baik dibandingkan Antena Bawaan ESP32 pada seluruh arah dan jarak pengujian, sehingga menunjukkan bahwa pola radiasi Antena Mikrostrip relatif merata (tidak terlalu direksional) dan tetap unggul dibandingkan antenna bawaan pada berbagai orientasi.

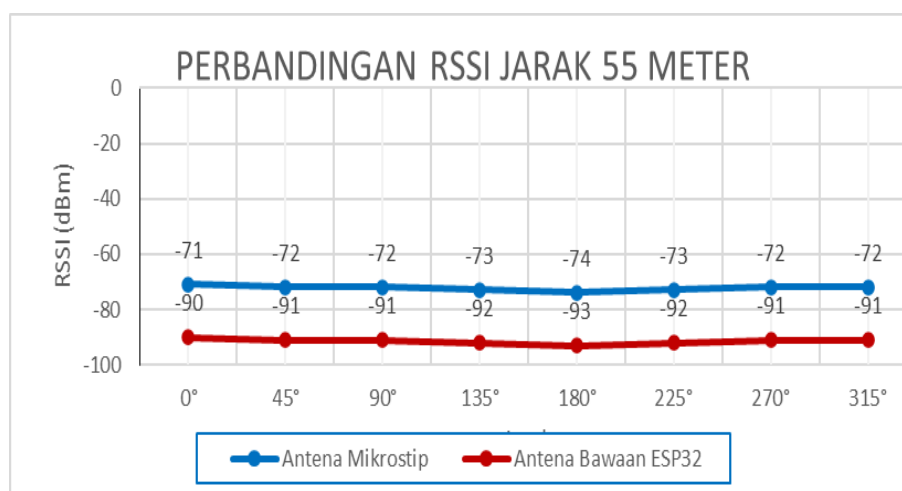
4.9.2 Pengukuran Berdasarkan Arah Pada Jarak 55 Meter

Pengujian berikutnya dilakukan pada jarak 55 meter untuk mengevaluasi perubahan kualitas komunikasi seiring bertambahnya jarak. Pengukuran dilakukan pada delapan variasi arah menggunakan antenna mikrostrip dan antenna bawaan ESP32 dengan prosedur pengujian yang sama seperti tahap sebelumnya. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.16.

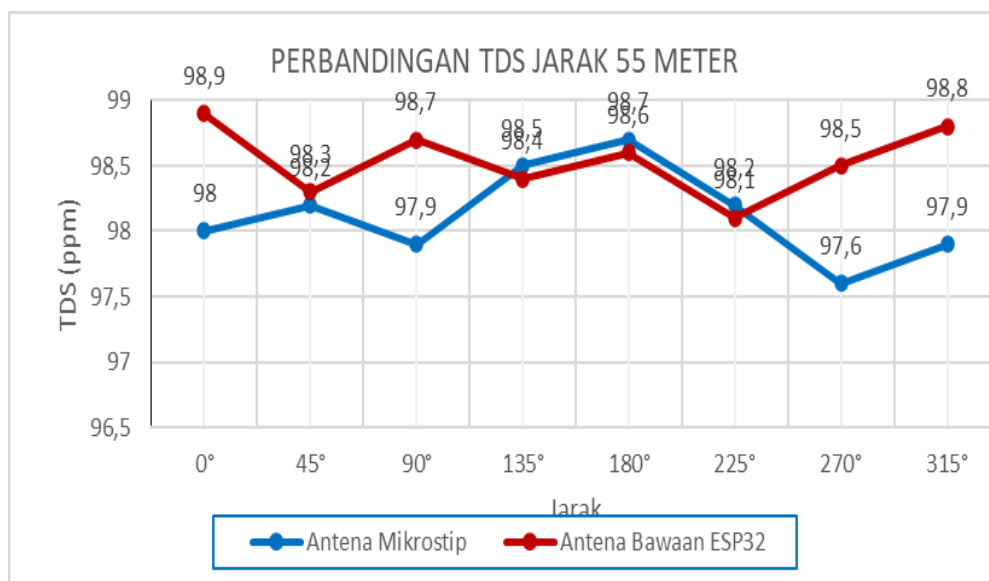
Tabel 4. 20 Tabel Hasil Pengukuran RSSI Dan TDS berdasarkan variasi arah

Jarak 55 Meter				
Arah	RSSI Antena Mikrostrip (dBm)	TDS Antena Mikrostrip (ppm)	RSSI Antena Bawaan ESP32 (dBm)	TDS Antena Bawaan ESP32 (ppm)
0°	-71	98	-90	98,9
45°	-72	98,2	-91	98,3
90°	-72	97,9	-91	98,7
135°	-73	98,5	-92	98,4
180°	-74	98,7	-93	98,6
225°	-73	98,2	-92	98,1
270°	-72	97,6	-91	98,5
315°	-72	97,9	-91	98,8

Data hasil pengujian pada Tabel 4.16 selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis perbandingan nilai RSSI dan TDS pada setiap arah pengujian. Grafik hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.35 dan Gambar 4.36.



Gambar 4. 36 Perbandingan RSSI berdasarkan arah pada jarak 55 m (Antena Mikrostrip vs Antena Bawaan)



Gambar 4. 37 Perbandingan TDS berdasarkan arah pada jarak 55 m (Antena Mikrostrip vs Antena Bawaan)

Berdasarkan Gambar 4.36 dan Gambar 4.37, nilai RSSI yang dihasilkan antenna mikrostrip pada setiap arah pengujian lebih baik dibandingkan antenna bawaan ESP32. Pada jarak 55 meter, antenna mikrostrip memiliki nilai RSSI berkisar antara -71 hingga -74 dBm, sedangkan antenna bawaan ESP32 berada pada kisaran -90 hingga -93 dBm. Meskipun terjadi sedikit perubahan nilai RSSI pada setiap arah, pola penerimaan sinyal kedua antenna relatif konsisten dan menunjukkan bahwa antenna mikrostrip memiliki kualitas penerimaan sinyal yang lebih baik pada seluruh arah pengujian.

Sementara itu, nilai TDS yang diperoleh menggunakan antenna mikrostrip maupun antenna bawaan ESP32 relatif stabil pada setiap arah pengujian, yaitu berada pada kisaran 97,6–98,9 ppm. Perbedaan nilai yang terlihat tidak signifikan dan masih merupakan variasi normal pembacaan sensor. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan arah maupun jenis antenna tidak memengaruhi hasil pembacaan sensor TDS.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa perbedaan performa kedua antenna lebih terlihat pada kualitas komunikasi yang ditunjukkan oleh nilai RSSI. Antenna mikrostrip mampu menerima sinyal Wi-Fi dengan lebih baik, sedangkan nilai TDS yang diterima tetap konsisten selama komunikasi berhasil dilakukan. Dengan

demikian, penggunaan antena mikrostrip meningkatkan kualitas komunikasi tanpa memengaruhi data hasil pengukuran sensor.

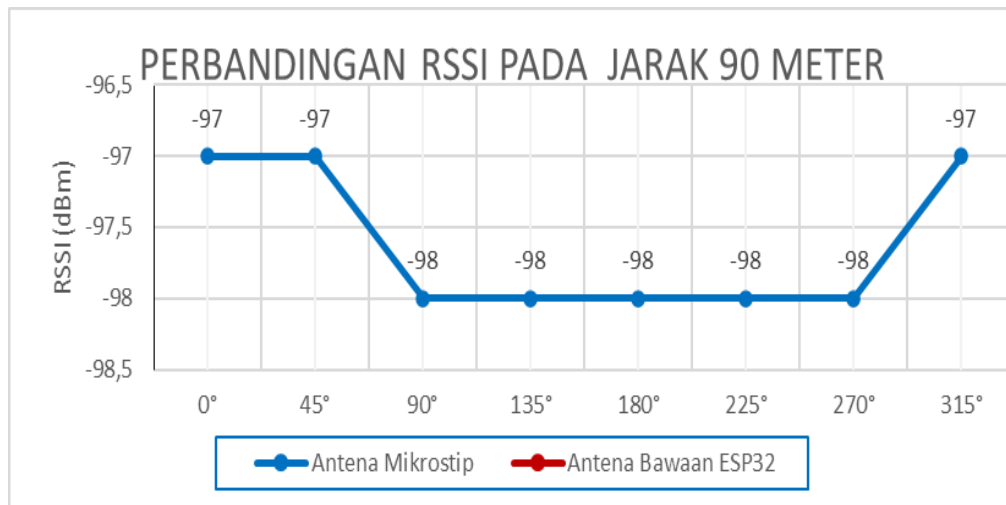
4.9.3 Pengukuran Berdasarkan Arah Pada Jarak 90 Meter

Selanjutnya, pengujian dilakukan pada jarak 90 meter dengan prosedur yang sama seperti pengujian sebelumnya. Pengambilan data dilakukan pada delapan variasi arah, yaitu 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, dan 315°, menggunakan antena mikrostrip dan antena bawaan ESP32.

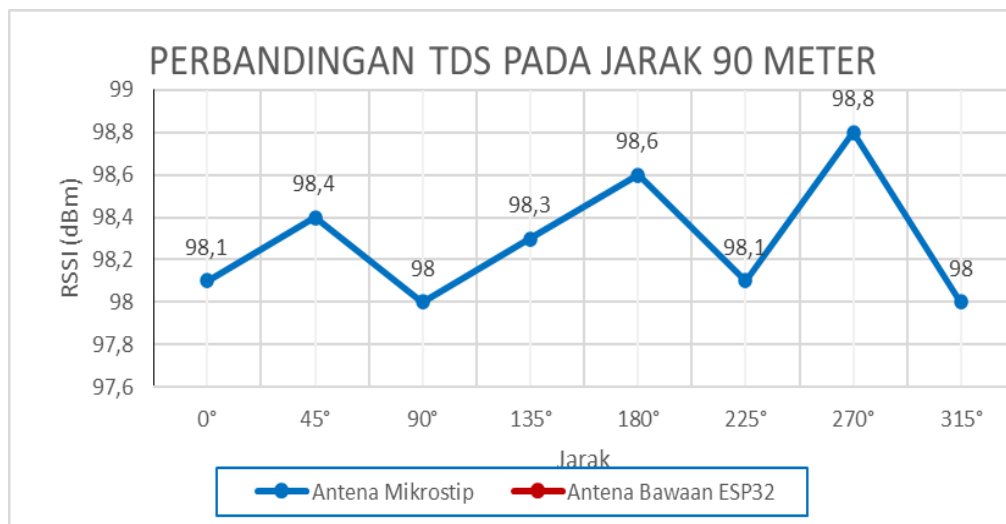
Tabel 4. 21 Tabel Hasil Pengukuran RSSI Dan TDS berdasarkan variasi arah

Jarak 90 Meter				
Arah	RSSI Antena Mikrostrip (dBm)	TDS Antena Mikrostrip (ppm)	RSSI Antena Bawaan ESP32 (dBm)	TDS Antena Bawaan ESP32 (ppm)
0°	-97	98,1	-	-
45°	-97	98,4	-	-
90°	-98	98	-	-
135°	-98	98,3	-	-
180°	-98	98,6	-	-
225°	-98	98,1	-	-
270°	-98	98,8	-	-
315°	-97	98	-	-

Data hasil pengujian pada Tabel 4.17 selanjutnya disajikan dalam bentuk grafik untuk mempermudah analisis perbandingan nilai RSSI dan TDS pada setiap arah pengujian. Grafik hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.25 dan Gambar 2.26.



Gambar 4. 38 Perbandingan RSSI berdasarkan arah pada jarak 90 m (Antena Mikrostrip vs Antena Bawaan)



Gambar 4. 39 Perbandingan TDS berdasarkan arah pada jarak 90 m (Antena Mikrostrip vs Antena Bawaan)

Berdasarkan Gambar 4.38, pada jarak 90 meter hanya ditampilkan hasil pengujian menggunakan antena mikrostrip. Hal ini karena antena bawaan ESP32 tidak lagi mampu mempertahankan koneksi komunikasi pada jarak tersebut, sehingga nilai RSSI tidak dapat diperoleh. Antena mikrostrip masih mampu menerima sinyal dengan nilai RSSI berkisar antara -97 dBm hingga -98 dBm pada seluruh arah pengujian. Meskipun nilai RSSI berada di dekat batas sensitivitas

penerima ESP32, komunikasi masih dapat berlangsung sehingga data tetap berhasil dikirim dan ditampilkan pada halaman web server ESP32.

Selanjutnya, Gambar 4.39, menunjukkan bahwa nilai TDS yang dikirim menggunakan antena mikrostrip tetap berada pada kisaran 98,0–98,8 ppm di seluruh arah pengujian. Nilai tersebut relatif stabil dan hanya mengalami fluktuasi kecil yang masih termasuk variasi normal pembacaan sensor. Grafik TDS antena bawaan ESP32 tidak ditampilkan karena komunikasi telah terputus pada jarak 90 meter sehingga data sensor tidak dapat dikirim dan ditampilkan pada halaman web server ESP32.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa antena mikrostrip mampu mempertahankan komunikasi hingga jarak 90 meter, sehingga nilai RSSI dan data TDS masih dapat diterima serta ditampilkan pada halaman web server ESP32. Sebaliknya, antena bawaan ESP32 telah kehilangan koneksi pada jarak tersebut sehingga tidak dapat mengirimkan data ke web server. Hal ini menunjukkan bahwa antena mikrostrip memiliki jangkauan komunikasi yang lebih baik dibandingkan antena bawaan ESP32.

4.10 Perbandingan Kinerja Antena Mikrostrip dan Antena Bawaan ESP32

Pengujian perbandingan kinerja dilakukan untuk mengevaluasi performa antena mikrostrip dan antena bawaan ESP32 pada sistem komunikasi nirkabel berbasis Wi-Fi 2,4 GHz. Parameter yang dibandingkan meliputi nilai *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), jarak maksimum komunikasi, dan keberhasilan pengiriman data. Hasil perbandingan ini digunakan untuk mengetahui efektivitas antena mikrostrip dalam meningkatkan kualitas komunikasi dibandingkan antena bawaan ESP32.

4.10.1 Perbandingan RSSI

Hasil pengukuran RSSI menunjukkan bahwa antena mikrostrip menghasilkan kuat sinyal yang lebih baik dibandingkan antena bawaan ESP32 pada seluruh variasi jarak pengujian. Nilai RSSI antena mikrostrip cenderung lebih tinggi (lebih mendekati 0 dBm), yang menunjukkan bahwa daya sinyal yang diterima lebih besar dibandingkan antena bawaan pada table 4.8.

Tabel 4. 22 Perbandingan Nilai RSSI

Jarak	Antena Mikrostrip (dBm)	Antena Bawaan ESP32 (dBm)
5 m	-43	-61,4
15 m	-49	-70
25 m	-56	-76
35 m	-61	-81
45 m	-66	-86
55 m	-71	-90,6
60 m	-75	*-96
65 m	-77	-
75 m	-82	-
85 m	-89	-
90 m	-97,6	-
95 m	*-98	-

Keterangan:

(-) menunjukkan komunikasi telah terputus sehingga pengukuran tidak dapat dilakukan.

(*) menunjukan tidak dapat berkomunikasi secara stabil sehingga nilai tersebut hanya menunjukkan hasil pengukuran RSSI, bukan kondisi komunikasi yang berhasil.

Berdasarkan Tabel 4.18 hasil pengujian, nilai RSSI pada kedua antena menurun seiring bertambahnya jarak pengujian. Antena bawaan ESP32 masih mampu mempertahankan komunikasi yang stabil hingga jarak 55 meter. Pada jarak 60 meter, komunikasi tidak stabil dan terputus.

Sebaliknya, antena mikrostrip masih mampu mempertahankan komunikasi yang stabil hingga jarak 90 meter. Pada jarak 95 meter, komunikasi tidak stabil dan terputus. Hasil tersebut menunjukkan bahwa antena mikrostrip memiliki jangkauan komunikasi yang lebih baik dibandingkan antena bawaan ESP32, sehingga lebih efektif digunakan untuk sistem komunikasi nirkabel jarak jauh.

4.10.2 Perbandingan Jarak Maksimum Komunikasi.

Jarak maksimum komunikasi merupakan jarak terjauh yang masih memungkinkan perangkat ESP32 melakukan komunikasi dan mengirimkan data ke server secara normal.

Tabel 4. 23 Perbandingan Jarak Maksimum Komunikasi

Antena	Jarak Maksimum
Antena bawaan ESP32	55 meter
Antena mikrostrip	90 meter

Hasil pengujian menunjukkan bahwa antena mikrostrip memiliki jangkauan komunikasi yang lebih baik dibandingkan antena bawaan ESP32. Antena mikrostrip mampu mempertahankan komunikasi yang stabil hingga jarak 90 meter, sedangkan antena bawaan ESP32 hanya hingga 55 meter. Dengan demikian, antena mikrostrip meningkatkan jangkauan komunikasi stabil sebesar 35 meter sehingga lebih sesuai digunakan pada sistem pemantauan berbasis IoT yang memerlukan jangkauan komunikasi lebih luas.

4.10.3 Perbandingan Keberhasilan Pengiriman Data

Keberhasilan pengiriman data dievaluasi berdasarkan kemampuan sistem mengirimkan data sensor dari ESP32 menuju server pada setiap variasi jarak pengujian.

Tabel 4. 24 Perbandingan Keberhasilan Pengiriman Data

Jarak (m)	Antena Bawaan	Antena Mikrostrip
5	Berhasil	Berhasil
15	Berhasil	Berhasil
25	Berhasil	Berhasil
35	Berhasil	Berhasil
45	Berhasil	Berhasil
55	Berhasil	Berhasil
60	Gagal	Berhasil
65	Gagal	Berhasil
75	Gagal	Berhasil
85	Gagal	Berhasil
90	Gagal	Berhasil
95	Gagal	Gagal

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua antena mampu mengirimkan data dengan baik hingga jarak 55 meter. Namun, setelah melewati jarak tersebut, antena bawaan ESP32 tidak lagi mampu mempertahankan komunikasi sehingga

proses pengiriman data mengalami kegagalan. Sebaliknya, antenna mikrostrip masih mampu mengirimkan data secara stabil hingga jarak 90 meter. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan antenna mikrostrip memberikan peningkatan keandalan komunikasi pada sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT.

4.10.4 Analisis Link Budget

Analisis link budget dilakukan sebagai analisis pendukung untuk mengevaluasi performa komunikasi nirkabel pada sistem IoT yang dikembangkan. Analisis ini meliputi perhitungan *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP), *Free Space Path Loss* (FSPL), dan *Receiver Sensitivity* sebagai dasar untuk menginterpretasikan hasil pengukuran RSSI dan kemampuan komunikasi antenna pada setiap variasi jarak.

4.10.4.1 *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP)

Sebelum melakukan perhitungan EIRP, perlu ditentukan nilai rugi-rugi kabel (*cable loss*) pada antenna mikrostrip. Antenna mikrostrip pada penelitian ini dihubungkan ke modul ESP32 menggunakan kabel pigtail *U.FL to SMA* sepanjang ± 20 cm. Berdasarkan datasheet kabel pigtail U.FL–SMA dari *Pulse Electronics*, *insertion loss* pada frekuensi 2,4 GHz untuk panjang kabel 150 mm adalah 0,8 dB, sedangkan untuk panjang kabel 229 mm adalah 1,0 dB. Oleh karena itu, untuk kabel sepanjang sekitar 200 mm yang digunakan pada penelitian ini, nilai *insertion loss* diperkirakan berada di antara kedua nilai tersebut, yaitu sekitar 0,9 dB. Nilai tersebut selanjutnya digunakan sebagai rugi-rugi kabel (L_c) pada perhitungan EIRP.

$$EIRP = P_t + G_t - L_c$$

Dengan :

- P_t = Daya Pancar (dBm)
- G_t = *Gain* Antena (dBi)
- L_c = *Cable Loss* (dB)

Maka Antena Bawaan bisa di hitung :

$$\begin{aligned} EIRP &= P_t + G_t - L_c \\ &= 20 + 2.39 - 0 \end{aligned}$$

$$= 22.39 \text{ dBm}$$

Dan Antena Mikrostrip bisa di hitung :

$$\begin{aligned} EIRP &= P_t + G_t - L_c \\ &= 20 + 1.8 - 0.9 \\ &= 20.9 \text{ dBm} \end{aligned}$$

Tabel 4. 25 Hasil Perhitungan EIRP

Parameter	Antena Bawaan Esp32	Antena Mikrostrip
Daya pancar (P_t)	20 dBm	20 dBm
Gain Antena (G_t)	2.39 dBi	1.8 dBi
Cable Loss (L_c)	0 dB	0,9 dB
EIRP	22.39 dBm	20,9 dBm

Berdasarkan hasil perhitungan, antena bawaan ESP32 memiliki nilai EIRP sebesar 22.39 dBm, sedangkan antena mikrostrip sebesar 20,9 dBm. Perbedaan tersebut disebabkan oleh adanya *cable loss* sebesar 0,9 dB pada antena mikrostrip yang menyebabkan daya pancar efektif menjadi sedikit lebih rendah. Meskipun memiliki nilai EIRP yang lebih kecil, hasil pengujian menunjukkan bahwa antena mikrostrip mampu menghasilkan nilai RSSI yang lebih baik dan jangkauan komunikasi yang lebih jauh dibandingkan antena bawaan ESP32. Hal ini menunjukkan bahwa performa komunikasi tidak hanya dipengaruhi oleh nilai EIRP, tetapi juga oleh karakteristik antena, seperti efisiensi radiasi, pola radiasi, dan kemampuan antena dalam menerima maupun memancarkan sinyal secara lebih efektif.

4.10.4.2 Analisis *Free Space Path Loss* (FSPL)

Perhitungan *Free Space Path Loss* (FSPL) dilakukan untuk mengetahui besarnya redaman propagasi sinyal pada setiap variasi jarak pengujian. Perhitungan dilakukan menggunakan Persamaan.

$$FSPL = 32,44 + 20\log(d) + 20\log(f)$$

Dengan :

- d = jarak (km)
 - f = Frekuensi (MHz)
- Pada penelitian ini menggunakan frekuensi 2400 MHz

Perhitungan yang sama dilakukan untuk seluruh variasi jarak pengujian (5–95 meter) sehingga diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.16. Rincian langkah perhitungan FSPL untuk setiap titik jarak dapat dilihat pada Lampiran D. Sebagai contoh, pada jarak 5 meter diperoleh perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 FSPL &= 32,44 + 20\log(0,005) + 20\log(2400) \\
 &= 32,44 + 20(-2,3010) + 20(3,3802) \\
 &= 32,44 - 46,02 + 67,60 \\
 &= 54,02 \text{ dB}
 \end{aligned}$$

Perhitungan yang sama dilakukan untuk seluruh variasi jarak pengujian sehingga diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 26 Hasil Perhitungan FSPL

No.	Jarak (m)	Jarak (km)	FSPL (dB)	RSSI Antena Mikrostip(dBm)	RSSI Antena BawaanESP32(dBm)
1	5	0,005	54,02	-43	-61.4
2	15	0,015	63,56	-49	-70
3	25	0,025	68,00	-56	-76
4	35	0,035	70,92	-61	-81
5	45	0,045	73,10	-66	-86
6	55	0,055	74,85	-71	-90,6
7	60	0,060	75,60	-75	-
8	65	0,065	76,30	-77	-
9	75	0,075	77,56	-82	-
10	85	0,085	78,63	-89	-
11	90	0,090	79,12	-97.5	-

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4.15, nilai *Free Space Path Loss* (FSPL) mengalami peningkatan seiring bertambahnya jarak antara pemancar dan penerima. Pada jarak 5 meter, nilai FSPL sebesar 54,02 dB, kemudian meningkat secara bertahap hingga mencapai 79,12 dB pada jarak 90 meter. Peningkatan nilai FSPL menunjukkan bahwa redaman propagasi ruang bebas semakin besar seiring bertambahnya jarak komunikasi.

Hasil pengukuran *Received Signal Strength Indicator* (RSSI) pada kedua antenna juga menunjukkan kecenderungan yang serupa, yaitu nilai RSSI menjadi

semakin negatif ketika jarak komunikasi bertambah. Pada antenna mikrostrip, nilai RSSI berubah dari -43 dBm pada jarak 5 meter menjadi $-97,5$ dBm pada jarak 90 meter. Sementara itu, pada antenna bawaan ESP32, nilai RSSI berubah dari $-61,4$ dBm pada jarak 5 meter menjadi -90 dBm pada jarak 55 meter, dan pengukuran tidak dapat dilanjutkan pada jarak berikutnya karena komunikasi telah terputus.

Berdasarkan hasil tersebut, dapat diamati bahwa peningkatan nilai FSPL diikuti oleh penurunan nilai RSSI pada kedua antenna. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar redaman propagasi yang terjadi, maka kekuatan sinyal yang diterima juga semakin berkurang. Meskipun demikian, antenna mikrostrip masih mampu mempertahankan komunikasi hingga jarak 90 meter, sedangkan antenna bawaan ESP32 hanya mampu mempertahankan komunikasi hingga jarak 55 meter.

Dengan demikian, hasil perhitungan FSPL dan hasil pengukuran RSSI menunjukkan kecenderungan yang searah, yaitu semakin bertambahnya jarak komunikasi menyebabkan redaman propagasi meningkat dan kekuatan sinyal yang diterima menurun. Berdasarkan hasil pengujian, penggunaan antenna mikrostrip memberikan jangkauan komunikasi yang lebih jauh dibandingkan antenna bawaan ESP32 pada sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT.

4.10.4.3 Perhitungan *Received Power* (P_r)

Received Power (P_r) merupakan daya sinyal yang diterima oleh perangkat penerima setelah sinyal mengalami redaman selama proses propagasi. Dalam analisis link budget, nilai *Received Power* digunakan untuk memperkirakan besarnya daya sinyal yang diterima berdasarkan daya pancar efektif (*Equivalent Isotropically Radiated Power* atau EIRP) dan redaman propagasi ruang bebas (*Free Space Path Loss* atau FSPL). Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui perubahan daya sinyal secara teoritis pada setiap variasi jarak komunikasi antara antenna bawaan ESP32 dan antenna mikrostrip.

Perhitungan *Received Power* dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$P_r = EIRP - FSPL$$

dengan:

- P_r = *Received Power* (dBm)

- $EIRP = \text{Equivalent Isotropically Radiated Power (dBm)}$
- $FSPL = \text{Free Space Path Loss (dB)}$

Pada penelitian ini, nilai EIRP yang digunakan berasal dari hasil perhitungan pada subbab sebelumnya, yaitu sebesar 22,39 dBm untuk antenna bawaan ESP32 dan 20,90 dBm untuk antenna mikrostrip. Sementara itu, nilai FSPL diperoleh berdasarkan variasi jarak komunikasi pada frekuensi kerja 2,4 GHz.

Sampel Perhitungan :

- Antena Bawaan ESP32

Diketahui:

- $EIRP = 22,39 \text{ dBm}$
- $FSPL = 54,02 \text{ dB (jarak 5 m)}$

Maka,

$$Pr = EIRP - FSPL$$

$$Pr = 22,39 - 54,02$$

$$Pr = -31,63 \text{ dBm}$$

Jadi, nilai *Received Power* teoritis pada jarak 5 meter menggunakan antenna bawaan ESP32 adalah $-31,63 \text{ dBm}$.

- Antena Mikrostrip

Diketahui:

- $EIRP = 20,90 \text{ dBm}$
- $FSPL = 54,02 \text{ dB (jarak 5 m)}$

Maka,

$$Pr = EIRP - FSPL$$

$$Pr = 20,90 - 54,02$$

$$Pr = -33,12 \text{ dBm}$$

Jadi, nilai *Received Power* teoritis pada jarak 5 meter menggunakan antenna mikrostrip adalah $-33,12 \text{ dBm}$.

Perhitungan yang sama dilakukan untuk seluruh variasi jarak pengujian pada kedua antenna sehingga diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.17. Rincian

langkah perhitungan *Received Power* untuk antenna bawaan ESP32 dan antenna mikrostrip pada setiap titik jarak dapat dilihat berturut-turut pada Lampiran D.

Tabel 4. 27 Hasil perhitungan Perhitungan Received Power

Jarak (m)	FSPL (dB)	Pr Antena Bawaan (dBm)	Pr Antena Mikrostrip (dBm)
5	54,02	-31,63	-33,12
15	63,56	-41,17	-42,66
25	68,00	-45,61	-47,10
35	70,92	-48,53	-50,02
45	73,10	-50,71	-52,20
55	74,85	-52,46	-53,95
60	75,60	–	-54,70
65	76,30	–	-55,40
75	77,56	–	-56,66
85	78,63	–	-57,73
90	79,12	–	-58,22
95	79,60	–	-58,70

Keterangan:

Tanda (–) menunjukkan bahwa antenna bawaan ESP32 tidak lagi dapat melakukan komunikasi pada jarak tersebut sehingga pengujian tidak dilanjutkan.

Berdasarkan Tabel 4.23, nilai *Received Power* pada kedua antenna menunjukkan kecenderungan semakin menurun seiring bertambahnya jarak komunikasi. Hal ini terjadi karena nilai *Free Space Path Loss* (FSPL) meningkat akibat bertambahnya jarak propagasi, sehingga daya sinyal yang diperkirakan diterima menjadi semakin kecil. Pada jarak 5 meter, nilai *Received Power* antenna bawaan ESP32 sebesar –31,63 dBm, sedangkan antenna mikrostrip sebesar –33,12 dBm. Seiring bertambahnya jarak hingga 55 meter, nilai *Received Power* antenna bawaan menurun menjadi –52,45 dBm, sementara antenna mikrostrip menjadi –53,94 dBm.

Meskipun secara teoritis nilai *Received Power* antenna bawaan sedikit lebih tinggi dibandingkan antenna mikrostrip karena memiliki nilai EIRP yang lebih besar,

hasil pengujian menunjukkan bahwa antenna mikrostrip mampu mempertahankan komunikasi hingga jarak 90 meter, sedangkan antenna bawaan ESP32 hanya mencapai 55 meter.

Oleh karena itu, hasil perhitungan *Received Power* digunakan sebagai analisis teoritis dalam link budget, sedangkan evaluasi performa komunikasi secara aktual dilakukan melalui pengukuran nilai RSSI dan perhitungan *Link Margin* pada setiap variasi jarak. Kombinasi antara analisis teoritis dan hasil pengujian memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai performa kedua antenna dalam sistem komunikasi IoT berbasis ESP32.

4.10.4.4 Analisis *Link Margin*

Analisis *Link Margin* dilakukan untuk mengetahui cadangan daya sinyal yang diterima oleh sistem komunikasi terhadap batas minimum sensitivitas penerima (*Receiver Sensitivity*). Nilai *Link Margin* menunjukkan tingkat keandalan komunikasi nirkabel, di mana semakin besar nilai *Link Margin*, semakin besar pula cadangan daya sinyal yang dimiliki sistem sehingga komunikasi menjadi lebih stabil. Pada penelitian ini, perhitungan *Link Margin* menggunakan nilai *Receiver Sensitivity* ESP32 sebesar -98 dBm berdasarkan datasheet modul ESP32-WROOM.

Perhitungan *Link Margin* :

$$LM = RSSI - Receiver Sensitivity$$

dengan:

- $LM = Link Margin$ (dB)
- $RSSI = Received Signal Strength Indicator$ (dBm)
- $Receiver Sensitivity = -98$ dBm

Pada antenna bawaan ESP32 dengan jarak komunikasi maksimum 55 meter diperoleh nilai RSSI sebesar -90 dBm, sehingga nilai *Link Margin* dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} LM &= (-90,6) - (-98) \\ &= 7,4 \text{ dB} \end{aligned}$$

Sedangkan pada antenna mikrostrip dengan jarak komunikasi maksimum 85 meter diperoleh nilai RSSI sebesar -87 dBm, sehingga nilai *Link Margin* dihitung sebagai berikut.

$$LM = (-97.6) - (-98) \\ = 0.4 \text{ dB}$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada seluruh variasi jarak pengujian sehingga diperoleh hasil seperti pada Tabel 4.18. Rincian langkah perhitungan *Link Margin* untuk antenna bawaan ESP32 dan antenna mikrostrip pada setiap titik jarak dapat dilihat berturut-turut pada Lampiran D.

Tabel 4. 28 Hasil Perhitungan *Link Margin*

Jarak (m)	RSSI Antena Bawaan (dBm)	<i>Link Margin</i> (dB)	RSSI Antena Mikrostrip (dBm)	<i>Link Margin</i> (dB)
5	-61,4	36,6	-43	55
15	-70	28	-49	49
25	-76	22	-56	42
35	-81	17	-61	37
45	-86	12	-66	32
55	-90,6	7,4	-71	27
60	-96*	—	-75	23
65	—	—	-77	21
75	—	—	-82	16
85	—	—	-87	11
90	—	—	-97,6	0,4
95	—	—	-98*	—

Keterangan:

- (*) Antenna sudah tidak dapat berkomunikasi secara stabil sehingga nilai tersebut hanya menunjukkan hasil pengukuran RSSI, bukan kondisi komunikasi yang berhasil.
- Tanda (—) menunjukkan bahwa antenna tidak lagi mampu melakukan komunikasi pada jarak tersebut.

Berdasarkan Tabel 4.16, nilai *Link Margin* (LM) dihitung menggunakan persamaan ($LM = RSSI - \text{Receiver Sensitivity}$), dengan nilai *Receiver Sensitivity* ESP32 sebesar -98 dBm. *Link Margin* menunjukkan selisih antara kuat sinyal yang diterima dengan batas minimum sensitivitas penerima. Semakin besar nilai *Link Margin*, semakin baik kualitas komunikasi karena sinyal yang diterima masih berada di atas batas sensitivitas penerima.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai *Link Margin* pada kedua antena menurun seiring bertambahnya jarak pengujian. Pada antena bawaan ESP32, nilai *Link Margin* menurun dari $36,6$ dB pada jarak 5 meter menjadi $7,4$ dB pada jarak 55 meter. Pada jarak 60 meter, antena masih menerima sinyal dengan RSSI sebesar -96 dBm dan *Link Margin* sebesar 2 dB, namun komunikasi sudah tidak berlangsung secara stabil sehingga nilai tersebut tidak merepresentasikan komunikasi yang berhasil. Pada jarak di atas 60 meter, antena bawaan tidak lagi mampu melakukan komunikasi.

Sementara itu, antena mikrostrip menunjukkan performa yang lebih baik dengan *Link Margin* sebesar 55 dB pada jarak 5 meter dan masih memiliki *Link Margin* sebesar $0,4$ dB pada jarak 90 meter. Pada jarak 95 meter, nilai RSSI mencapai -98 dBm, yaitu sama dengan batas sensitivitas penerima. Kondisi ini menunjukkan bahwa sinyal telah mencapai ambang minimum penerimaan sehingga komunikasi tidak lagi dapat dilakukan secara andal.

Berdasarkan hasil perhitungan *Link Margin*, antena mikrostrip memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan antena bawaan ESP32. Antena mikrostrip mampu mempertahankan komunikasi hingga jarak 90 meter, sedangkan antena bawaan hanya mampu berkomunikasi secara efektif hingga sekitar 55 meter dan mulai kehilangan kestabilan pada jarak 60 meter. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan antena mikrostrip mampu meningkatkan kualitas penerimaan sinyal serta memperluas jangkauan komunikasi pada sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, fabrikasi, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan terhadap antenna mikrostrip 2,4 GHz serta perbandingannya dengan antenna bawaan ESP32 pada sistem pemantauan kualitas air sumur galian berbasis IoT, dapat disimpulkan bahwa:

1. Antena mikrostrip 2,4 GHz berhasil difabrikasi pada substrat FR4 dengan ketebalan 1,6 mm sesuai dimensi hasil optimasi simulasi dan berhasil diintegrasikan ke modul ESP32 melalui konektor SMA *feMale* dan kabel pigtail *U.FL to SMA Male*. Antena hasil fabrikasi terbukti dapat berfungsi sebagai pengganti antenna bawaan ESP32 dan bekerja dengan baik selama seluruh tahap pengujian komunikasi nirkabel.
2. Hasil pengukuran menggunakan Vector Network Analyzer (VNA) menunjukkan bahwa antenna mikrostrip memiliki nilai *return loss* (S11) minimum sebesar -36 dB pada frekuensi *resonansi* 2,445 GHz dengan *bandwidth* sebesar 124,66 MHz pada rentang frekuensi 2,39367–2,51833 GHz. Meskipun terjadi sedikit pergeseran frekuensi *resonansi* dan penyempitan *bandwidth* dibandingkan hasil simulasi, *bandwidth* antenna tetap mencakup seluruh pita ISM 2,400–2,4835 GHz, sehingga antenna layak digunakan untuk komunikasi Wi-Fi. Selain itu, antenna memiliki *gain* sebesar 1,8 dBi berdasarkan hasil simulasi CST Studio Suite, sedangkan pengukuran *gain* secara langsung tidak dilakukan sehingga menjadi salah satu keterbatasan penelitian.
3. Hasil pengujian menunjukkan bahwa antenna mikrostrip memiliki performa komunikasi yang lebih baik dibandingkan antenna bawaan ESP32. Pada pengujian lintasan lurus (*line-of-sight*), antenna mikrostrip secara konsisten menghasilkan nilai RSSI yang lebih tinggi pada setiap variasi jarak dan mampu mempertahankan komunikasi hingga 90 meter, sedangkan antenna bawaan ESP32 hanya mampu mempertahankan komunikasi hingga 55 meter, sehingga antenna mikrostrip meningkatkan jangkauan komunikasi

stabil sekitar 35 meter. Hasil pengujian pada delapan variasi arah di jarak 35 meter, 55 meter, dan 90 meter juga menunjukkan bahwa antenna mikrostrip menghasilkan nilai RSSI yang lebih baik dan tetap mampu mempertahankan komunikasi pada seluruh arah pengujian, sedangkan antenna bawaan ESP32 telah kehilangan komunikasi pada jarak 90 meter. Hasil tersebut didukung oleh analisis link budget, yang menunjukkan bahwa meskipun secara teoritis antenna bawaan ESP32 memiliki nilai EIRP dan *Received Power* sedikit lebih tinggi, antenna mikrostrip mampu mempertahankan *Link Margin* positif hingga jarak 90 meter. Perbedaan antara hasil teoritis dan hasil pengujian menunjukkan bahwa performa komunikasi aktual tidak hanya dipengaruhi oleh nilai *gain* teoritis, tetapi juga oleh kualitas impedance matching antenna ($S_{11} = -36$ dB) serta implementasi fisik antenna yang menghasilkan efisiensi radiasi lebih baik pada kondisi pengujian nyata.

Berdasarkan kelima poin di atas, seluruh rumusan masalah dan tujuan penelitian telah terjawab: antenna mikrostrip 2,4 GHz berhasil difabrikasi dan diintegrasikan dengan modul ESP32, memiliki karakteristik S_{11} dan *bandwidth* yang memenuhi kebutuhan Wi-Fi 2,4 GHz, serta terbukti unggul dibandingkan antenna bawaan ESP32 baik pada pengujian jarak lurus maupun berbagai arah, dengan penjelasan ilmiah mengenai kesenjangan antara prediksi link budget dan hasil pengukuran. Dengan demikian, penggunaan antenna mikrostrip 2,4 GHz terbukti mampu meningkatkan performa dan jangkauan komunikasi pada sistem pemantauan kualitas air sumur galian berbasis IoT dibandingkan antenna bawaan ESP32.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut.

1. Pengujian antenna dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter antenna lainnya seperti VSWR, pola radiasi (*radiation pattern*), efisiensi

antena, dan *gain* hasil pengukuran sehingga karakteristik antenna dapat dianalisis secara lebih komprehensif.

2. Pengujian komunikasi dapat dilakukan pada berbagai kondisi lingkungan, seperti area terbuka, area perkotaan, maupun lingkungan dengan banyak penghalang, sehingga dapat diketahui pengaruh kondisi propagasi terhadap performa antenna.
3. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan antenna dengan nilai *gain* yang lebih tinggi atau desain antenna yang berbeda sehingga dapat dibandingkan peningkatan jangkauan komunikasi yang dihasilkan.
4. Sistem pemantauan kualitas air dapat dikembangkan dengan menambahkan lebih banyak parameter kualitas air, seperti pH, suhu, kekeruhan (turbidity), maupun parameter lainnya sehingga informasi yang diperoleh menjadi lebih lengkap.
5. Penelitian selanjutnya juga dapat mengembangkan sistem menggunakan platform IoT atau teknologi komunikasi lainnya, seperti LoRa, NB-IoT, atau Wi-Fi 6, sehingga dapat dilakukan perbandingan performa komunikasi terhadap sistem yang telah dikembangkan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). A survey on *Internet of Things* : Architecture, enabling technologies, applications, and open research challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376.
- Balanis, C. A. (2016). *Antenna Theory: Analysis and Design* (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Benge, C. D. W. (2024). Evaluasi performa antenna Telex 2. 1(1), 1–10.
- de Camargo, E. T., Spanhol, F. A., Slongo, J. S., et al. (2023). Low-cost water quality sensors for IoT: A systematic review. *Sensors*, 23(9), 4424. <https://doi.org/10.3390/s23094424>
- Elabbasi, M. K., Madi, M., Kabalan, K. Y., & Salah, J. (2025). Optimizing microstrip *patch* antenna performance: Leveraging machine learning for comparative analysis of antenna dimensions and slot structures. *Results in Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107523>
- Espressif Systems. (2023). ESP32 Series Datasheet.
- Huang, X., et al. (2022). Research on IEEE 802.11 OFDM packet detection algorithms for household wireless sensor communication. *Applied Sciences*, 12(14), 7232. <https://doi.org/10.3390/app12147232>
- IEEE. (2021). IEEE Standard for Information Technology—Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
- Islam, O., & Shikha, S. A. (2022). IoT application using a unique rectangular 2.4 GHz microstrip *patch* antenna. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2211.13096>
- Khan, M., Mazhar, T., Zaman, F., So, H. C., & Kwak, D. (2024). Antenna systems for IoT applications: A review. *Discover Sustainability*, 5(1). <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00638-z>
- Ma'ruf. (2024). Perancangan antenna mikrostrip *patch* square pada frekuensi 2.4 GHz. *Jurnal Teknologi Terpadu (JTT)*. <https://jurnal.poltekba.ac.id/index.php/jtt/article/view/495>
- Molins-Benlliure, J., Cabedo-Fabrés, M., Antonino-Daviu, E., & Ferrando-Bataller, M. (2023). Miniaturized on-ground 2.4 GHz IoT LTCC chip antenna and its positioning on a *ground plane*. *Sensors*, 23(6), 3007.

- Mozaffariahrar, E., Theoleyre, F., & Menth, M. (2022). A survey of Wi-Fi 6: Technologies, advances, and challenges. *Future Internet*, 14(10), 293. <https://doi.org/10.3390/fi14100293>
- Mujahidin, I. (2025). Evaluasi kinerja multi antena mikrostrip 2,4 GHz directional untuk aplikasi komunikasi nirkabel. *Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial*, 19(3). <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/orbith/article/view/527>
- Mulyantika, Ismail, & Rasyid, M. R. (2023). Sistem deteksi kualitas air sumur galian menggunakan mikrokontroler Arduino berbasis web. *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Keteknikan & Informatika (SENARAI 2023)*, 95–110.
- Musdalifah, Ruslan, & Zulhajji. (2024). Development of Water Quality Monitoring System in Shrimp Ponds Based on *Internet of Things* (IoT). *Journal of Electrical Engineering and Informatics*, 2(1). <https://doi.org/10.59562/jeeni.v2i1.4503>
- Nurfitriani, Arsen, D., & Wahyu, Y. (2018). Pengaruh dimensi feeder terhadap antena mikrostrip *patch* persegi untuk DBS Ku-Band. *SENIATI*, 309–314. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/seniati/article/download/1382/1240>
- Pangestu, W. N., Aribowo, D., & Fatkhurrokhman, M. (2024). Design of Microstrip Antennas for Use in Digital Television Network Systems. *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, 4(2), 159–165. <https://doi.org/10.29103/jreece.v4i2.14812>
- Permata Isra, G., Nasrul, & Yulindon. (2024). Design of Rectangular *Patch* Microstrip Antenna with Rectangular Slot on 2.4 GHz *Ground plane* for Wi-Fi Application. *International Journal of Wireless and Multimedia Communications*, 1(1), 1–5. <https://doi.org/10.62671/jowim.v1i1.3>
- Prabhakar, D., Karunakar, P., Rao, S. V. R., & Srinivas, K. (2024). Prediction of microstrip antenna dimension using optimized auto-metric graph neural network. *Intelligent Systems with Applications*, 21, 200326. <https://doi.org/10.1016/j.iswa.2024.200326>
- Prasetyo, B. D., Widodo, E., & Ardiatma, D. (2024). Sistem monitoring kualitas air sumur berbasis IoT dengan fuzzy logic dan interface berbasis web.
- Putra, D. A., Hidayat, R., & Saputra, M. (2024). Rancang bangun sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT.

- Putri, R. D., & Nawi, N. (2025). Antena mikrostrip rectangular *patch* dengan *inset-feed* dan array frekuensi 2.1 GHz untuk memperkuat jaringan 5G. 4(3), 1177–1183.
- Rai, H. M., Rehman, A.-U., Pal, A., Mishra, S., Shukla, K. K., & Kumar, A. (2023). Use of *Internet of Things* in the Context of Execution of Smart City Applications: A Review. *Discover Internet of Things* , 3, Article 8. <https://doi.org/10.1007/s43926-023-00037-2>
- Satrianata, L. J., Setiawan, E., Juniani, A. I., & Nugraha, A. T. (2024). Implementasi sistem filtrasi air alami terintegrasi sensor TDS dan ESP32 untuk pemenuhan baku mutu air kelas. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 11(3), 690–699. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i3.6157>
- Singh, Y., & Walingo, T. (2024). Smart Water Quality Monitoring with IoT Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 24, 2871. <https://doi.org/10.3390/s24092871>
- Tun, H. M., Pradhan, D., Behera, M., Nwe, M. S., Aye, S. M., Mon, A. T., & Niang, Z. M. (2023). Development of Square *Patch* Microstrip Antenna Design by Using Three-Dimensional Finite Difference Time Domain Methods. *Journal of New Science, Engineering and Technology*, 2, 83–88. <https://doi.org/10.56741/jnest.v2i03.412>
- Vauzia, R., & Kirana, D. (2025). Optimasi antena mikrostrip 2,4 GHz untuk peningkatan jangkauan komunikasi IoT. *Jurnal Rekayasa Telekomunikasi*, 11(1), 1–9.
- Yusri, M., Maulita, Y., & Sembiring, H. (2024). Penerapan IoT dalam monitoring dan pengendalian kualitas air. *Repeater: Publikasi Teknik Informatika dan Jaringan*, 2(4). <https://doi.org/10.62951/repeater.v2i4.250>

LAMPIRAN

Lampiran A Program Yang Digunakan

Program yang di gunakan pada kedua ESP32

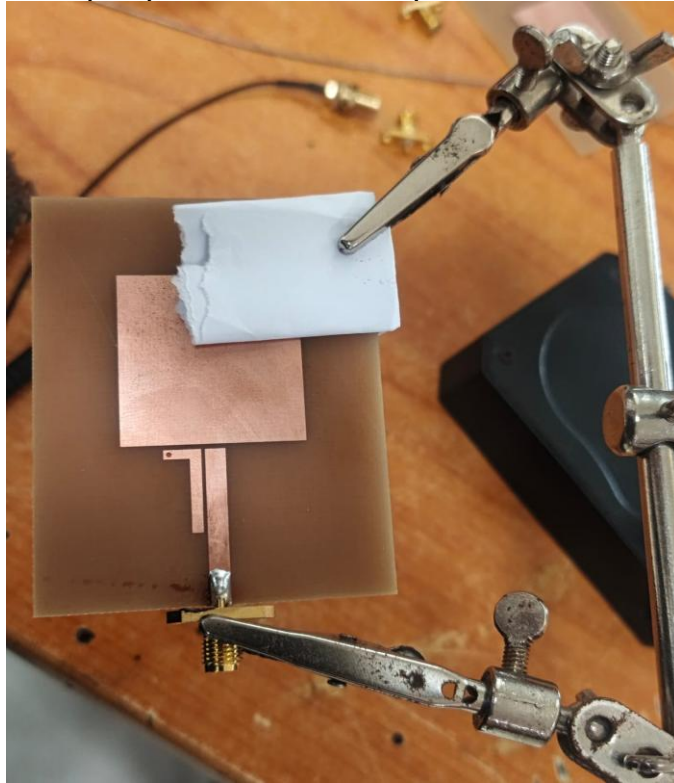
```

1
2
3 #include <WiFi.h>
4 #include <WebServer.h>
5
6 // =====
7 // BAGIAN 1: KONFIGURASI WIFI
8 // =====
9 const char* ssid      = "Skripsi_IoT";
10 const char* password = "12345678";
11
12 // =====
13 // BAGIAN 2: KONFIGURASI SENSOR TDS
14 // =====
15 #define TDS_SENSOR_PIN 34      // Pin analog sensor TDS (GPIO34)
16 #define VREF            3.3     // Tegangan referensi ADC ESP32
17 #define ADC_RESOLUTION 4096.0  // Resolusi ADC 12-bit (0 - 4095)
18 #define TDS_SAMPLE_COUNT 30    // Jumlah sampel ADC untuk median filter
19
20 int analogBuffer[TDS_SAMPLE_COUNT];
21 int analogBufferTemp[TDS_SAMPLE_COUNT];
22
23 // =====
24 // BAGIAN 3: KONFIGURASI PENGUKURAN OTOMATIS
25 // =====
26 const int TOTAL_SAMPLES      = 5;    // Jumlah sampel per pengukuran
27 const unsigned long SAMPLE_INTERVAL = 3000; // Interval antar sampel (ms)
28
29 bool measuring      = false; // Status sedang mengukur atau tidak
30 bool measurementDone = false; // Status pengukuran terakhir sudah selesai
31
32 float readTDSValue() {
33     for (int i = 0; i < TDS_SAMPLE_COUNT; i++) {
34         analogBuffer[i] = analogRead(TDS_SENSOR_PIN);
35     }
36     for (int i = 0; i < TDS_SAMPLE_COUNT; i++) {
37         analogBufferTemp[i] = analogBuffer[i];
38     }
39
40     float averageVoltage = getMedianNum(analogBufferTemp, TDS_SAMPLE_COUNT) * (float)VREF / ADC_RESOLUTION;
41
42     float temperature = 25.0;
43     float compensationCoefficient = 1.0 + 0.02 * (temperature - 25.0);
44     float compensationVoltage = averageVoltage / compensationCoefficient;
45
46     // Rumus konversi tegangan ke ppm (standar sensor TDS Analog V1.0)
47     float tdsValue = (133.42 * compensationVoltage * compensationVoltage * compensationVoltage
48         - 255.86 * compensationVoltage * compensationVoltage
49         + 857.39 * compensationVoltage) * 0.5;
50
51     if (tdsValue < 0) {
52         tdsValue = 0;
53     }
54     return tdsValue;
55 }

```

Lampiran B Dokumentasi

Tahap penyolderan port pada antena mikrostrip



Set-up pengukuran menggunakan VNA



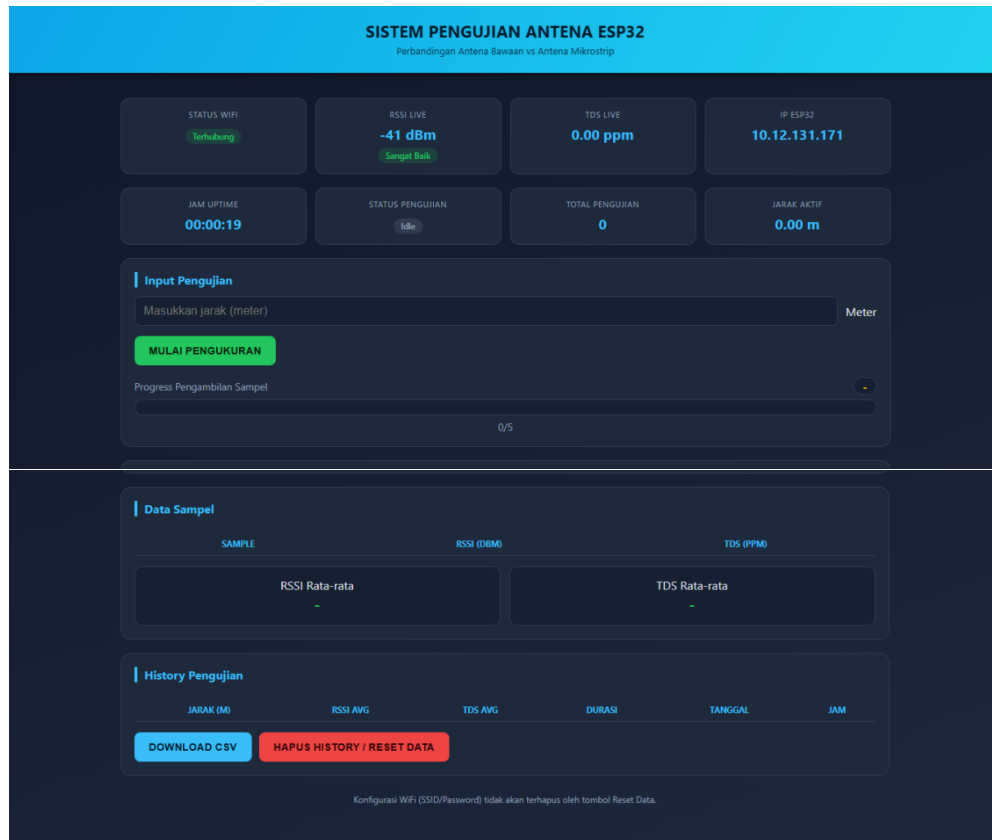
Pengukuran menggunakan antena mikrostrip



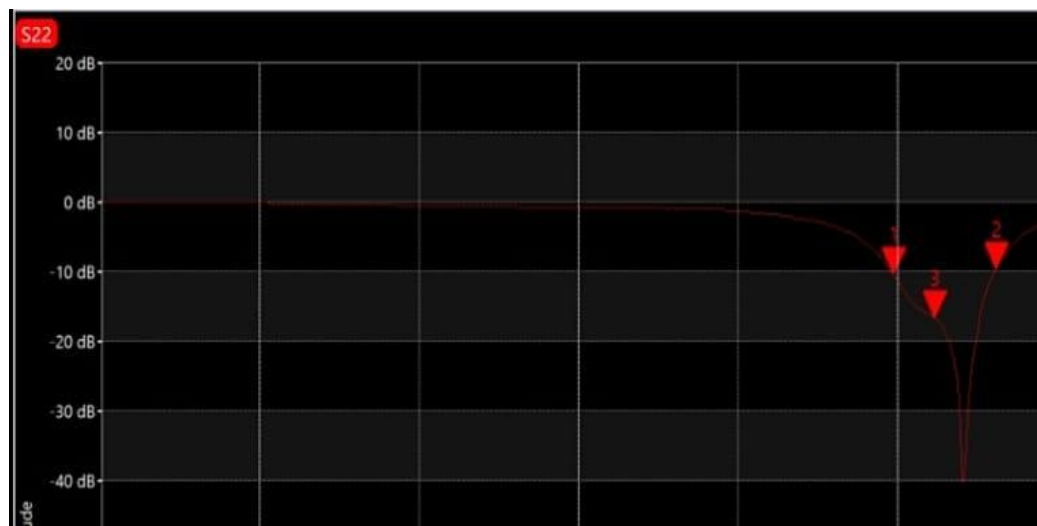
Pengukuran menggunakan antena bawaan ESP32



Tampilan web ESP32



Grafik return loss hasil pengukuran



Lampiran C Data Sheet

Data sheet *gain* antenna bawaan ESP32

recovery...

Gain:

Model	Test Item	Test State	Frequency (MHz)	Efficiency (%)	Gain (dB)	Note
ESP-ANT B	Gain	Free Space	2412	73.79	2.39	Vertical 30°
			2417	77.04	2.97	
			2422	79.83	2.80	
			2427	81.19	2.89	
			2432	80.54	3.04	
			2437	78.86	2.86	
			2442	76.17	2.99	
			2447	73.99	2.96	
			2452	72.00	2.80	
			2457	70.71	2.72	
			2462	71.31	2.94	
			2467	71.32	3.12	
			2472	72.03	3.28	
			2477	72.71	3.24	
			2482	75.42	3.40	

Data sheet kabel konektor



TECHNICAL DATA SHEET
Description: Low loss Mini Coax Jumper Cable
Series: Cable Assembly
PART NUMBER: W90XX

CABLE ASSEMBLY FOR WIRELESS APPLICATION

Part Number	VSWR 2.4GHz/6GHz	Insertion Loss 2.4GHz/6GHz	Cable Length (in/mm)	Connector Types
W9003	1.3/1.6	-0.6dB/-1.4dB	3/76	RP-SMA Female to U.FL
W9003M	1.3/1.6	-0.6dB/-1.4dB	3/76	SMA Female to U.FL
W9006	1.3/1.6	-0.8dB/-1.7dB	6/150	RP-SMA Female to U.FL
W9006M	1.3/1.6	-0.8dB/-1.7dB	6/150	SMA Female to U.FL
W9009C	1.3/1.6	-1.0dB/-1.9dB	9/229	RP-SMA Female to U.FL
W9009M	1.3/1.6	-1.0dB/-1.9dB	9/229	SMA Female to U.FL
W9011	1.3/1.6	-1.3dB/-2.6dB	11/280	RP-SMA Female to U.FL
W9011M	1.3/1.6	-1.3dB/-2.6dB	11/280	SMA Female to U.FL
W9015	1.3/1.6	-1.4dB/-2.8dB	15/381	RP-SMA Female to U.FL
W9015M	1.3/1.6	-1.4dB/-2.8dB	15/381	SMA Female to U.FL
W9020	1.3/1.6	-1.6dB/-3.2dB	20/508	RP-SMA Female to U.FL
W9020M	1.3/1.6	-1.6dB/-3.2dB	20/508	SMA Female to U.FL

Issue: 1717

In the effort to improve our products, we reserve the right to make changes judged to be necessary.
 CONFIDENTIAL AND PROPRIETARY INFORMATION
 This document contains confidential and proprietary information of Pulse Electronics, Inc. (Pulse) and is protected by copyright, trade secret and other state and federal laws. Its receipt or generation does not convey any rights to reproduce, disclose its contents, or to manufacture, use or sell anything it may describe. Reproduction, disclosure or use without specific written authorization of Pulse is strictly forbidden.



2

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMBA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMATIKA DAN INFORMATIKA
Jl. Tugu Pahlawan No. 4, Jakarta Pusat, 10110
Telp. (021) 5000000 Fax. (021) 5000000
Email: info@umh.ac.id

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PROF. DR. HAMBA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMATIKA DAN INFORMATIKA
Jl. Tugu Pahlawan No. 4, Jakarta Pusat, 10110
Telp. (021) 5000000 Fax. (021) 5000000
Email: info@umh.ac.id

LEMBAR BIMBINGAN SKRIPSI

Nama : Adhira
NIM : 52010150249
Program Studi : Teknik Informatika
Judul : Analisis Sistem Informasi (ASI) Berbasis Web untuk Meningkatkan Efisiensi
Penelitian : Dr. Budi Aji, sebagai ahli S.T., A.M., dan I.T.

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	25/05/25	Revisi abstrak dan isi.	<i>[Signature]</i>
2	07/06/25	Revisi isi dan daftar isi.	<i>[Signature]</i>
3	11/06/25	Revisi bab 2. Latar belakang.	<i>[Signature]</i>
4	22/06/25	Revisi Parameter yang digunakan.	<i>[Signature]</i>
5	26/06/25	Revisi bab 3. Simulasi.	<i>[Signature]</i>
6	29/06/25	Revisi bab 4. Kesimpulan.	<i>[Signature]</i>
7	01/07/25	Revisi bab 5. Kesimpulan dan saran.	<i>[Signature]</i>
8	06/07/25	Revisi bab 6. Kesimpulan dan saran.	<i>[Signature]</i>
9	09/07/25	Revisi bab 7. Kesimpulan dan saran.	<i>[Signature]</i>

No.	Tanggal	Keterangan	Paraf
10	11/07/25	Revisi bab 8 dan bab 9.	<i>[Signature]</i>
11	12/07/25	Revisi bab 10.	<i>[Signature]</i>

Mengarahkan
Dekan Fakultas
Pusi Astuti
MOR

Mahasiswa
Sukhal
NIM. 2203025024

Digitized dengan CamScanner

Lampiran E Halaman Persetujuan**HALAMAN PERSETUJUAN****RANCANG BANGUN DAN ANALISIS PERBANDINGAN
ANTENA MIKROSTIP 2,4 GHz DENGAN ANTENA BAWAAN
ESP32 PADA SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS AIR
SUMUR GALIAN BERBASIS IoT****SKRIPSI**

Dibuat untuk Memenuhi Persyaratan Kelulusan Sarjana Teknik

Oleh:

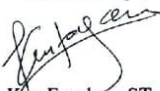
Sukria

2203025024

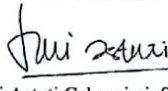
Telah diperiksa dan disetujui untuk diajukan ke Sidang Ujian Skripsi Program
Studi Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri dan Informatika UHAMKA

Tanggal, 17 Juli 2026

Pembimbing-1


Ir. Kun Fayakun, ST, MT
NIDN. 0305125701

Pembimbing-2


Dr. Dwi Astuti Cahyasiwi, S.T., M.T.
NIDN. 0323027401

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Elektro


Ir. Harry Ramza, S.T., M.T., Ph.D.
NIDN. 0303097006

Lampiran F Surat-Surat

Surat pernyataan kelayakan sidang pembimbing 1

 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA	Surat Pernyataan Kelayakan Sidang Sarjana	Kode Arsip :
		04/Prodi-EI/Akad/2026
		Program Studi Teknik Elektro

Jakarta, 24 Juli 2026

Bismillahirrahmanirrahim,

Dengan ini, saya sebagai pembimbing I / II ¹ menyatakan bahwa,

Nama : Sukria
 NIM : 2205025024
 Alamat : Kampung Cipanas Ds. Cikadandeng Kec. Cikeseik
Kab. Pangkalany Prov. Banten RT 01 / RW 01

Judul Tugas Akhir : Rancang Bangun dan Analisis Perbandingan Antena Mikrostrip 2,4 GHz dengan
Antena Bowtie ESP 32 pada Sistem Pemantauan Kualitas Air Jumur Bahan Berbahaya IoT

bahwa nama yang tertera diatas dinyatakan **Layak / Tidak Layak** ² untuk mengikuti sidang sarjana (S-1) pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. Hamka.

Segala kekurangan dan kelebihan selama melakukan pengawasan dalam melakukan penelitian dan penulisan menjadi tanggung jawab saya sebagai pembimbing I / II ². Terima kasih atas perhatian dan kerjasama.

Mengetahui
 Ketua Program Studi
 Teknik Elektro – FT UHAMKA

(Ir. Harry Ramza, ST, MT, PhD)

Cc :

1. Yang bersangkutan.
2. Arsip.

Jakarta, 24 Juli 2026
 Pembimbing I / II ³

(Ir. Kun Fayakun, ST, MT)

¹ Coret yang tidak perlu.

² Coret yang tidak perlu.

³ Coret yang tidak perlu

Surat pernyataan kelayakan sidang peminmbing 2

 Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. HAMKA	Surat Pernyataan Kelayakan Sidang Sarjana	Kode Arsip :
		04/Prodi-EI/Akad/2026
		Program Studi Teknik Elektro

Jakarta, 24 Juli 2026

Bismillahirrahmanirrahim,

Dengan ini, saya sebagai pembimbing I / II¹ menyatakan bahwa,

Nama : Sukria
 NIM : 0803095024
 Alamat : Kp. Cipas. Ds. Cikadondang. Kec. Cikuseuk
Kab. Pandeglang. Prov. Banten RT 01 / RW 01

Judul Tugas Akhir : Rancangan dan Analisis Perbandingan Antena mikrostrip di GHz Dengan
Antena Bow-tie Eyr 32 Pada Sistem Pemantauan Kualitas Air Sumur dalam Berbasis IoT
 bahwa nama yang tertera diatas dinyatakan **Layak / Tidak Layak**² untuk mengikuti sidang sarjana (S-1) pada Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Prof. DR. Hamka.

Segala kekurangan dan kelebihan selama melakukan pengawasan dalam melakukan penelitian dan penulisan menjadi tanggung jawab saya sebagai pembimbing I / II².
 Terima kasih atas perhatian dan kerjasama.

Mengetahui
 Ketua Program Studi
 Teknik Elektro – FT UHAMKA

(Ir. Harry Ramza, ST, MT, PhD)

Jakarta, 24 Juli 2026
 Pembimbing I / II³



(Dr. Dwi Astuti Cahyasiwi, S.T., M.T.)

Cc :

1. Yang bersangkutan.
2. Arsip.

¹ Coret yang tidak perlu.

² Coret yang tidak perlu.

³ Coret yang tidak perlu

Lampiran G Lembar Hasil Turnitin

Lembar Hasil Turnitin

52 52

sukria-Rancang Bangun Dan Analisis Perbandingan Antena Mikrostrip 2.4 GHz Dengan Antena Bawaan ESP32

11/8/2026

Document Details

Submission ID
trnoid::3618:147948552

Submission Date
Aug 11, 2026, 3:06 PM GMT+7

Download Date
Aug 11, 2026, 3:09 PM GMT+7

File Name
Sukria_2203025024-turnitin - Sukria.pdf

File Size
2.2 MB

84 Pages

15,977 Words

93,224 Characters

turnitin

Page 1 of 97 - Cover Page

Submission ID: trnoid::3618:147948552

turnitin

Page 2 of 97 - Integrity Overview

Submission ID: trnoid::3618:147948552

17% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

9%

Internet sources

4%

Publications

16%

Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

turnitin

Page 2 of 97 - Integrity Overview

Submission ID: trnoid::3618:147948552

Lampiran H Perhitungan

Perhitungan FSPL menggunakan persamaan:

$$FSPL = 32,44 + 20 \log(d) + 20 \log(f)$$

dengan d = jarak (km) dan f = frekuensi kerja (2400 MHz).

a. Jarak 5 meter (0.005 km) $FSPL = 32,44 + 20 \log(0.005) + 20 \log(2400)$ $FSPL = 32,44 + 20(-2.3010) + 20(3.3802)$ $FSPL = 32,44 + (-46.02) + 67.60$ $FSPL = 54.02 \text{ dB}$	b. Jarak 15 meter (0.015 km) $FSPL = 32,44 + 20 \log(0.015) + 20 \log(2400)$ $FSPL = 32,44 + 20(-1.8239) + 20(3.3802)$ $FSPL = 32,44 + (-36.48) + 67.60$ $FSPL = 63.56 \text{ dB}$
c. Jarak 25 meter (0.025 km) $FSPL = 32,44 + 20 \log(0.025) + 20 \log(2400)$ $FSPL = 32,44 + 20(-1.6021) + 20(3.3802)$ $FSPL = 32,44 + (-32.04) + 67.60$ $FSPL = 68.00 \text{ dB}$	d. Jarak 35 meter (0.035 km) $FSPL = 32,44 + 20 \log(0.035) + 20 \log(2400)$ $FSPL = 32,44 + 20(-1.4559) + 20(3.3802)$ $FSPL = 32,44 + (-29.12) + 67.60$ $FSPL = 70.92 \text{ dB}$
e. Jarak 45 meter (0.045 km) $FSPL = 32,44 + 20 \log(0.045) + 20 \log(2400)$ $FSPL = 32,44 + 20(-1.3468) + 20(3.3802)$ $FSPL = 32,44 + (-26.94) + 67.60$ $FSPL = 73.10 \text{ dB}$	
f. Jarak 55 meter (0.055 km) $FSPL = 32,44 + 20 \log(0.055) + 20 \log(2400)$ $FSPL = 32,44 + 20(-1.2596) + 20(3.3802)$ $FSPL = 32,44 + (-25.19) + 67.60$ $FSPL = 74.85 \text{ dB}$	g. Jarak 60 meter (0.06 km) $FSPL = 32,44 + 20 \log(0.06) + 20 \log(2400)$ $FSPL = 32,44 + 20(-1.2218) + 20(3.3802)$ $FSPL = 32,44 + (-24.44) + 67.60$ $FSPL = 75.60 \text{ dB}$

h. Jarak 65 meter (0.065 km) $FSPL = 32,44 + 20 \log(0.065) + 20 \log(2400)$ $FSPL = 32,44 + 20(-1.1871) + 20(3.3802)$ $FSPL = 32,44 + (-23.74) + 67.60$ $FSPL = 76.30 \text{ dB}$	i. Jarak 75 meter (0.075 km) $FSPL = 32,44 + 20 \log(0.075) + 20 \log(2400)$ $FSPL = 32,44 + 20(-1.1249) + 20(3.3802)$ $FSPL = 32,44 + (-22.50) + 67.60$ $FSPL = 77.56 \text{ dB}$
j. Jarak 85 meter (0.085 km) $FSPL = 32,44 + 20 \log(0.085) + 20 \log(2400)$ $FSPL = 32,44 + 20(-1.0706) + 20(3.3802)$ $FSPL = 32,44 + (-21.41) + 67.60$ $FSPL = 78.63 \text{ dB}$	k. Jarak 90 meter (0.09 km) $FSPL = 32,44 + 20 \log(0.09) + 20 \log(2400)$ $FSPL = 32,44 + 20(-1.0458) + 20(3.3802)$ $FSPL = 32,44 + (-20.92) + 67.60$ $FSPL = 79.12 \text{ dB}$
l. Jarak 95 meter (0.095 km) $FSPL = 32,44 + 20 \log(0.095) + 20 \log(2400)$ $FSPL = 32,44 + 20(-1.0223) + 20(3.3802)$ $FSPL = 32,44 + (-20.45) + 67.60$ $FSPL = 79.60 \text{ dB}$	

Perhitungan *Received Power* (P_r) – Antena Bawaan ESP32

Perhitungan *Received Power* menggunakan persamaan:

$$P_r = EIRP - FSPL$$

dengan EIRP antena bawaan ESP32 = 22.39 dBm. Perhitungan dilakukan pada rentang jarak 5 m sampai dengan 55 m, sesuai dengan jarak komunikasi yang masih berhasil dipertahankan oleh antena bawaan ESP32 pada hasil pengujian (Tabel 4.13). Pada jarak di atas 55 m, komunikasi antena bawaan sudah tidak

stabil/terputus (lihat Tabel 4.16 dan 4.18) sehingga nilai P_r teoritis tidak lagi dibandingkan dengan data pengukuran.

a. Jarak 5 meter $P_r = 22.39 - 54.02$ $P_r = -31.63 \text{ dBm}$	b. Jarak 15 meter $P_r = 22.39 - 63.56$ $P_r = -41.17 \text{ dBm}$	c. Jarak 25 meter $P_r = 22.39 - 68.00$ $P_r = -45.61 \text{ dBm}$
d. Jarak 35 meter $P_r = 22.39 - 70.92$ $P_r = -48.53 \text{ dBm}$	e. Jarak 45 meter $P_r = 22.39 - 73.10$ $P_r = -50.71 \text{ dBm}$	f. Jarak 55 meter $P_r = 22.39 - 74.85$ $P_r = -52.46 \text{ dBm}$

Perhitungan *Received Power* (P_r) – Antena Mikrostrip

Perhitungan yang sama dilakukan untuk antena mikrostrip dengan EIRP = 20.9 dBm, untuk seluruh jarak pengujian dari 5 m sampai dengan 95 m karena antena mikrostrip masih mampu menerima sinyal hingga jarak tersebut (meskipun pada jarak 95 m komunikasi sudah berada pada batas sensitivitas penerima).

a. Jarak 5 meter $P_r = 20.9 - 54.02$ $P_r = -33.12 \text{ dBm}$	b. Jarak 15 meter $P_r = 20.9 - 63.56$ $P_r = -42.66 \text{ dBm}$	c. Jarak 25 meter $P_r = 20.9 - 68.00$ $P_r = -47.10 \text{ dBm}$
d. Jarak 35 meter $P_r = 20.9 - 70.92$ $P_r = -50.02 \text{ dBm}$	e. Jarak 45 meter $P_r = 20.9 - 73.10$ $P_r = -52.20 \text{ dBm}$	f. Jarak 55 meter $P_r = 20.9 - 74.85$ $P_r = -53.95 \text{ dBm}$
g. Jarak 60 meter $P_r = 20.9 - 75.60$ $P_r = -54.70 \text{ dBm}$	h. Jarak 65 meter $P_r = 20.9 - 76.30$ $P_r = -55.40 \text{ dBm}$	i. Jarak 75 meter $P_r = 20.9 - 77.56$ $P_r = -56.66 \text{ dBm}$
j. Jarak 85 meter $P_r = 20.9 - 78.63$ $P_r = -57.73 \text{ dBm}$	k. Jarak 90 meter $P_r = 20.9 - 79.12$ $P_r = -58.22 \text{ dBm}$	l. Jarak 95 meter $P_r = 20.9 - 79.60$ $P_r = -58.70 \text{ dBm}$

Perhitungan *Link Margin* (LM)

1. Antena Bawaan ESP32

Perhitungan *Link Margin* menggunakan persamaan:

$$LM = RSSI - \text{Receiver Sensitivity}$$

dengan *Receiver Sensitivity* ESP32-WROOM = -98 dBm.

a. Jarak 5 meter $LM = (-61.4) - (-98)$ $LM = 36.6 \text{ dB}$	b. Jarak 15 meter $LM = (-70) - (-98)$ $LM = 28.0 \text{ dB}$	c. Jarak 25 meter $LM = (-76) - (-98)$ $LM = 22.0 \text{ dB}$
d. Jarak 35 meter $LM = (-81) - (-98)$ $LM = 17.0 \text{ dB}$	e. Jarak 45 meter $LM = (-86) - (-98)$ $LM = 12.0 \text{ dB}$	f. Jarak 55 meter $LM = (-90,6) - (-98)$ $LM = 7,4 \text{ dB}$

g. Jarak 60 meter (*komunikasi sudah tidak stabil, nilai RSSI hanya hasil pembacaan, bukan komunikasi berhasil)

$$LM = (-96) - (-98)$$

$$LM = 2.0 \text{ dB}$$

Pada jarak di atas 60 meter, antena bawaan ESP32 sudah tidak lagi mampu melakukan komunikasi sehingga nilai RSSI dan *Link Margin* tidak diperoleh (lihat keterangan Tabel 4.18).

2. Antena Mikrostrip

a. Jarak 5 meter $LM = (-43) - (-98)$ $LM = 55.0 \text{ dB}$	b. Jarak 15 meter $LM = (-49) - (-98)$ $LM = 49.0 \text{ dB}$	c. Jarak 25 meter $LM = (-56) - (-98)$ $LM = 42.0 \text{ dB}$
d. Jarak 35 meter $LM = (-61) - (-98)$ $LM = 37.0 \text{ dB}$	e. Jarak 45 meter $LM = (-66) - (-98)$ $LM = 32.0 \text{ dB}$	f. Jarak 55 meter $LM = (-71) - (-98)$ $LM = 27.0 \text{ dB}$

g. Jarak 60 meter $LM = (-75) - (-98)$ $LM = 23.0 \text{ dB}$	h. Jarak 65 meter $LM = (-77) - (-98)$ $LM = 21.0 \text{ dB}$	i. Jarak 75 meter $LM = (-82) - (-98)$ $LM = 16.0 \text{ dB}$
j. Jarak 85 meter $LM = (-87) - (-98)$ $LM = 11.0 \text{ dB}$	k. Jarak 90 meter $LM = (-97.6) - (-98)$ $LM = 0.4 \text{ dB}$	

Jarak 95 meter (*RSSI mencapai batas sensitivitas penerima, komunikasi tidak lagi andal)

$$LM = (-98) - (-98)$$

$$LM = 0.0 \text{ dB}$$