© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kualitas Udara

Kualitas udara merupakan kondisi udara pada suatu wilayah yang ditinjau berdasarkan kandungan zat pencemar yang terdapat di dalamnya. Udara yang memiliki kualitas baik sangat penting bagi kehidupan manusia karena berperan dalam proses pernapasan serta mendukung kesehatan lingkungan. Sebaliknya, udara yang tercemar dapat menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap kesehatan manusia dan lingkungan, seperti gangguan pernapasan, iritasi mata, serta penurunan kualitas hidup masyarakat (Pebralia et al., 2024; Hidayati et al., 2024).

Kualitas udara dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, baik yang berasal dari aktivitas manusia maupun faktor alam. Aktivitas manusia yang berpotensi menurunkan kualitas udara antara lain emisi kendaraan bermotor, aktivitas industri, pembakaran sampah, dan penggunaan bahan bakar fosil. Selain itu, faktor alam seperti debu dan kondisi cuaca juga dapat memengaruhi konsentrasi polutan di udara (Hidayati et al., 2024).

Pemantauan kualitas udara diperlukan untuk mengetahui kondisi lingkungan secara berkala serta sebagai dasar dalam pengambilan tindakan pengendalian pencemaran udara. Dengan adanya sistem pemantauan kualitas udara, masyarakat dapat memperoleh informasi mengenai kondisi udara di sekitarnya sehingga dapat mengurangi risiko paparan polutan yang berbahaya bagi kesehatan, Gambar 2.1 menunjukan kondisi pencemaran udara di kawasan perkotaan (Pebralia et al., 2024).

Gambar 2.2. Kondisi Pencemaran Udara di Kawasan Perkotaan

Sumber: DLHK Badung

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.2 *Particulate Matter* (PM)

Particulate Matter (PM) merupakan campuran partikel padat maupun cair yang melayang di udara dengan ukuran yang sangat kecil. Partikel ini berasal dari berbagai sumber seperti emisi kendaraan bermotor, aktivitas industri, pembakaran bahan bakar, pembakaran sampah, dan debu jalanan. Karena ukurannya yang kecil, particulate matter dapat bertahan cukup lama di atmosfer dan mudah terhirup oleh manusia melalui sistem pernapasan (Syahrani, 2025; Wellid et al., 2024).

Particulate matter menjadi salah satu parameter utama dalam pemantauan kualitas udara karena memiliki dampak yang signifikan terhadap kesehatan manusia. Paparan PM dalam jangka panjang dapat meningkatkan risiko berbagai penyakit seperti infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), asma, bronkitis, serta penyakit paru-paru lainnya. Selain berdampak pada kesehatan, konsentrasi PM yang tinggi juga dapat menurunkan kualitas lingkungan dan mengurangi jarak pandang akibat meningkatnya kabut udara (Wellid et al., 2024).

Berdasarkan ukuran diameternya, *particulate matter* dibedakan menjadi beberapa kategori, yaitu PM1, PM2.5, dan PM10. Setiap kategori memiliki karakteristik dan tingkat bahaya yang berbeda terhadap kesehatan manusia sehingga digunakan sebagai indikator dalam pemantauan kualitas udara, Gambar 2.3 menunjukan ilustrasi ukuran *particulate matter* (Syahrani, 2025).

Gambar 2.4. Ilustrasi Ukuran *Particulate Matter*

Sumber: Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika (BMKG)

2.2.1 PM1

PM1 merupakan partikel udara yang memiliki diameter kurang dari 1 mikrometer (µm). Partikel ini termasuk dalam kategori partikel ultrahalus yang memiliki ukuran sangat kecil sehingga mampu menembus sistem pernapasan manusia hingga mencapai bagian terdalam paru-paru. Bahkan pada kondisi tertentu,

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

partikel PM1 dapat masuk ke dalam aliran darah dan menyebar ke berbagai organ tubuh (Faradila et al., 2025).

PM1 umumnya dihasilkan dari proses pembakaran tidak sempurna seperti emisi kendaraan bermotor, pembakaran sampah, pembakaran biomassa, serta aktivitas industri. Karena ukurannya yang sangat kecil, partikel ini dapat bertahan lebih lama di udara dibandingkan partikel berukuran lebih besar dan mudah terbawa oleh aliran udara ke berbagai lokasi, Gambar 2.5 menunjukan ilustrasi PM1 (Faradila et al., 2025).

Gambar 2.6. Ilustrasi PM1

Sumber: AQI Indonesia, 2026

Gambar 2.3 menunjukkan bahwa PM1 memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga mampu mencapai alveoli paru-paru dan pada kondisi tertentu dapat masuk ke dalam aliran darah. Hal tersebut menyebabkan PM1 memiliki potensi risiko kesehatan yang lebih tinggi dibandingkan partikel berukuran lebih besar (Faradila et al., 2025).

Paparan PM1 dalam jangka panjang dapat memberikan dampak yang serius terhadap kesehatan manusia. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa PM1 berpotensi meningkatkan risiko gangguan sistem pernapasan dan berbagai masalah kesehatan lainnya. Oleh karena itu, PM1 banyak digunakan sebagai salah satu indikator tambahan dalam sistem pemantauan kualitas udara modern Tabel 2.1 menunjukan nilai ambang batas PM1 (Faradila et al., 2025).

Tabel 2.2. Nilai Ambang Batas PM1

Kategori	Nilai (ug/m^3)
Baik	0–25
Sedang	26–37
Buruk	38–62
Tidak Sehat	63–97
Parah	98–132
Berbahaya	≥133

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sumber: Naura, 2025

Tabel 2.1 menunjukkan kategori kualitas udara berdasarkan konsentrasi PM1 yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini. Klasifikasi tersebut digunakan untuk menentukan kondisi kualitas udara sehingga hasil pengukuran PM1 dapat diinterpretasikan dengan lebih mudah sesuai tingkat risikonya terhadap kesehatan.

2.2.2 PM2.5

PM2.5 merupakan partikel udara yang memiliki diameter kurang dari atau sama dengan 2,5 mikrometer. Ukurannya yang sangat kecil memungkinkan partikel ini masuk hingga ke bagian terdalam paru-paru saat terhirup. PM2.5 umumnya berasal dari emisi kendaraan bermotor, aktivitas industri, pembakaran bahan bakar fosil, pembakaran sampah, serta berbagai aktivitas pembakaran lainnya (Wellid et al., 2024).

Paparan PM2.5 dalam jangka pendek dapat menyebabkan iritasi saluran pernapasan, batuk, dan sesak napas. Sementara itu, paparan dalam jangka panjang dapat meningkatkan risiko penyakit paru-paru kronis, penyakit jantung, dan gangguan kesehatan lainnya. Oleh karena itu, PM2.5 menjadi salah satu parameter utama yang digunakan dalam pemantauan kualitas udara karena memiliki dampak yang cukup besar terhadap kesehatan manusia Gambar 2.7 ilustrasi partikel PM2.5 pada sistem pernapasan manusia (Wellid et al., 2024; Syahrani, 2025).

Gambar 2.8. Ilustrasi Partikel PM2.5 pada Sistem Pernapasan Manusia

Sumber: NAFAS Indonesia, 2023

Berdasarkan pedoman kualitas udara yang digunakan dalam penelitian ini, konsentrasi PM2.5 dibagi menjadi beberapa kategori untuk menunjukkan tingkat kualitas udara dan potensi dampaknya terhadap kesehatan. Nilai ambang batas PM2.5 yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 2.3. Nilai Ambang Batas PM2.5

Kategori	Nilai (ug/m^3)
Baik	0-30
Sedang	31-60
Buruk	61-90
Tidak Sehat	91-120
Parah	121-250
Berbahaya	251-380+

Sumber: AQI Indonesia, 2026

Berdasarkan tabel tersebut, semakin tinggi konsentrasi PM2.5 maka semakin buruk kualitas udara yang dihasilkan dan semakin besar risiko gangguan kesehatan yang dapat terjadi.

2.2.3 PM10

PM10 merupakan partikel udara yang memiliki diameter kurang dari atau sama dengan 10 mikrometer. Partikel ini dapat berasal dari debu jalanan, aktivitas konstruksi, aktivitas industri, pembakaran sampah, dan emisi kendaraan bermotor. Karena ukurannya lebih besar dibandingkan PM2.5, sebagian besar partikel PM10 akan tertahan pada saluran pernapasan bagian atas seperti hidung dan tenggorokan (Syahrani, 2025).

Meskipun demikian, paparan PM10 dalam konsentrasi tinggi tetap dapat menimbulkan berbagai gangguan kesehatan seperti iritasi mata, hidung, tenggorokan, batuk, dan sesak napas. Selain berdampak pada kesehatan manusia, konsentrasi PM10 yang tinggi juga dapat menurunkan kualitas udara dan mengurangi jarak pandang akibat meningkatnya jumlah partikel yang melayang di atmosfer, Gambar 2.9 menunjukan ilustrasi partikel PM10 (Wellid et al., 2024).

Gambar 2.10. Ilustrasi Partikel PM10

Sumber: NAFAS Indonesia, 2023

Untuk memudahkan penentuan kondisi kualitas udara, konsentrasi PM10 dibagi ke dalam beberapa kategori berdasarkan nilai ambang batas tertentu.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Kategori tersebut digunakan sebagai acuan dalam menentukan tingkat pencemaran udara dan potensi dampaknya terhadap kesehatan. Nilai ambang batas PM10 yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.4. Nilai Ambang Batas PM10

Kategori	**Nilai (ug/m^3)**
Baik	0-50
Sedang	51-100
Buruk	101-250
Tidak Sehat	251-350
Parah	351-430
Berbahaya	431-510+

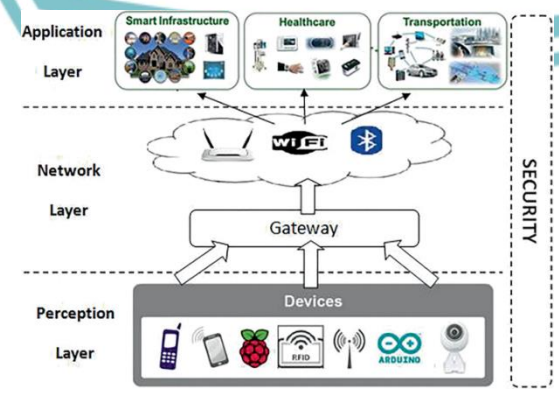
Sumber: AQI Indonesia, 2026

Berdasarkan tabel diatas, semakin tinggi konsentrasi PM10 maka semakin buruk kualitas udara yang dihasilkan dan semakin besar risiko gangguan kesehatan yang dapat terjadi.

2.3 *Internet of Things* (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang memungkinkan berbagai perangkat elektronik saling terhubung dan bertukar data melalui jaringan internet. Teknologi ini menghubungkan perangkat yang dilengkapi sensor, aktuator, perangkat lunak, dan media komunikasi sehingga dapat mengumpulkan, mengirim, serta menerima data secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung (Pebralia et al., 2024; Hidayati et al., 2024).

IoT terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu perangkat sensor, jaringan komunikasi, media penyimpanan data, dan antarmuka pengguna. Perkembangan teknologi IoT telah dimanfaatkan pada berbagai bidang seperti industri, kesehatan, transportasi, pertanian, dan pendidikan karena mampu meningkatkan efisiensi dalam proses monitoring dan pengendalian perangkat secara *real-time*, Gambar 2.11 menunjukan arsitektur IoT (Internet of Things) (Hidayati et al., 2024).



Gambar 2.12. Arsitektur Internet of Things

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

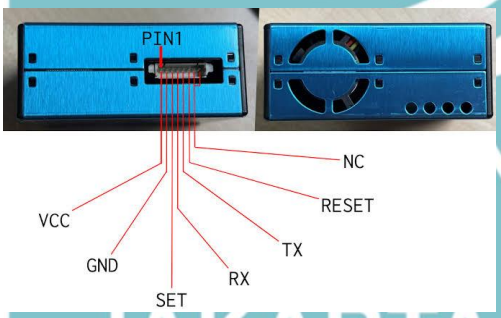
Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sumber : Hidayati et al., 2024

2.4 Sensor PMS5003T

Sensor PMS5003T merupakan sensor partikulat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi partikel PM1.0, PM2.5, dan PM10 di udara. Sensor ini bekerja menggunakan metode laser scattering, yaitu dengan memancarkan sinar laser ke ruang pengukuran untuk mendeteksi partikel yang melintas. Cahaya yang dipantulkan oleh partikel akan diterima oleh fotodetektor, kemudian diproses menjadi data konsentrasi partikulat dalam satuan mikrogram per meter kubik (µg/m³) (Suryantoro & Kusriyanto, 2023).

Sensor PMS5003T memiliki keluaran data digital yang dapat dikirim melalui komunikasi serial (UART) sehingga mudah diintegrasikan dengan berbagai mikrokontroler. Selain mampu mengukur PM1.0, PM2.5, dan PM10 secara bersamaan, sensor ini juga memiliki ukuran yang relatif kecil, konsumsi daya yang rendah, serta tingkat sensitivitas yang baik dalam mendeteksi perubahan konsentrasi partikel di udara, Gambar 2.13 menunjukan sensor PMS5003T (Suryantoro & Kusriyanto, 2023).



Gambar 2.14. Sensor PMS5003T

Sumber: Suryantoro & Kusriyanto, 2023

2.5 ESP32

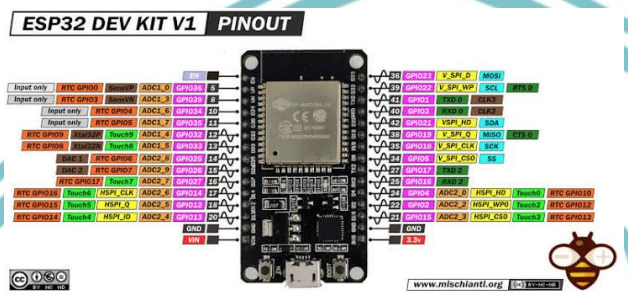
ESP32 merupakan mikrokontroler yang dikembangkan oleh *Espressif Systems* dan dirancang untuk mendukung komunikasi nirkabel melalui teknologi Wi-Fi dan Bluetooth. Mikrokontroler ini memiliki kemampuan pemrosesan data yang cukup baik serta dilengkapi berbagai antarmuka komunikasi seperti UART, SPI, I2C, PWM, dan ADC yang memungkinkan integrasi dengan berbagai sensor maupun perangkat elektronik lainnya (Hidayati et al., 2024).

ESP32 memiliki ukuran yang relatif kecil, konsumsi daya yang rendah, serta performa yang lebih tinggi dibandingkan beberapa mikrokontroler sekelasnya.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Selain itu, modul Wi-Fi dan Bluetooth yang telah terintegrasi menjadi salah satu keunggulan utama ESP32 karena tidak memerlukan perangkat tambahan untuk melakukan komunikasi nirkabel. Dengan berbagai fitur yang dimiliki, ESP32 banyak digunakan dalam pengembangan perangkat Internet of Things (IoT), sistem otomasi, dan aplikasi elektronika lainnya, Gambar 2.15 menunjukan pinout ESP32 (Hidayati et al., 2024).



Gambar 2.16. Mikrokontroler ESP32

Sumber: Hidayati et al., 2024

2.6 *Access Point*

Access Point (AP) merupakan perangkat jaringan yang digunakan untuk menghubungkan perangkat pengguna ke jaringan nirkabel atau *Wireless Local Area Network* (WLAN). *Access Point* berfungsi memancarkan dan menerima sinyal Wi-Fi sehingga perangkat seperti laptop, komputer, dan telepon pintar dapat terhubung ke jaringan tanpa menggunakan kabel. Dalam suatu jaringan nirkabel, *Access Point* menjadi salah satu komponen penting yang menentukan kualitas komunikasi dan jangkauan sinyal yang diterima oleh pengguna (Linda & Ali, 2024).

Kualitas sinyal yang dihasilkan oleh *Access Point* dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti posisi pemasangan, jarak terhadap pengguna, serta adanya penghalang berupa dinding, kaca, atau material bangunan lainnya. Penempatan *Access Point* yang kurang tepat dapat menyebabkan penurunan kekuatan sinyal dan munculnya area yang tidak terjangkau sinyal (blank spot). Oleh karena itu, penempatan *Access Point* perlu direncanakan dengan baik agar cakupan sinyal Wi-Fi dapat menjangkau seluruh area yang diinginkan secara optimal, Gambar 2.17 menunjukan gambar *access point* TP-Link (Linda & Ali, 2024).

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 2.18. Access Point

Sumber: TP-Link, 2015

2.7 Antena

Antena adalah komponen sistem yang dirancang untuk memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik. Antena adalah transduser elektromagnetik yang digunakan untuk mengubah, dalam mode transmisi, gelombang terpandu dalam saluran transmisi untuk memancarkan gelombang ruang bebas atau untuk mengubah, dalam menerima mode, gelombang ruang bebas ke gelombang terpandu (Lumembang, 2025). Adapun beberapa parameter antena yang digunakan untuk menganalisis suatu antena adalah *return loss, Voltage Wave Standing Ratio (VSWR), bandwith, gain, beamwidth*, polarisasi, dan pola radiasi, yang dijelaskan sebagai berikut:

2.7.1 *Return Loss*

Return loss merupakan koefisien refleksi dalam bentuk logaritmik yang menunjukkan daya yang hilang karena antena dan saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena) (Bagus & Bagaskara, 2020). Sehingga tidak semua daya diradiasikan, melainkan ada yang dipantulkan kembali. Return Loss digambarkan sebagai perbandingan antara amplitudo dari perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan dimana peningkatan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan ($V0-$) dibanding dengan gelombang ($V0+$), persamaan 2.1 dan 2.2 menunjukan persamaan *return loss* (Yulianti & Elisma, 2020).

$$\Gamma = \frac{V_o}{V_o} = \frac{ZL - Zo}{ZL - Zo} \qquad (2.1)$$

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$\text{Return Loss} = 20_{log10}\,|\Gamma| \qquad (2.2)$$

Nilai Return Loss yang baik pada suatu antena adalah lebih kecil atau sama dengan dua, sehingga nilai return loss yang baik adalah sebesar lebih kecil atau sama dengan - 9,54 dB.

2.7.2 *Voltage Wave Standing Ratio* (VSWR)

VSWR adalah perbandingan antara amplitude gelombang berdiri maksimum dengan minimum. Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan dan tegangan yang direfleksikan (Lumembang, 2025).

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1, yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran berada dalam keadaan matching sempurna. Namun pada kenyataannya nilai tersebut sulit didapatkan sehingga nilai dasar VSWR yang digunakan pada antena umumnya ≤ 2 (Lumembang, 2025).

2.7.3 Gain

Gain atau penguatan adalah salah satu parameter penting pada antena yang mengukur kemampuan antena dalam mengarahkan radiasi sinyal ke arah tertentu dibandingkan dengan antena referensi, yang umumnya berupa antena isotropis atau antena horn standar (Nurmantris, 2023). Berbeda dengan direktivitas yang hanya memperhitungkan pola radiasi, gain juga memperhitungkan nilai efisiensi dari antena tersebut.

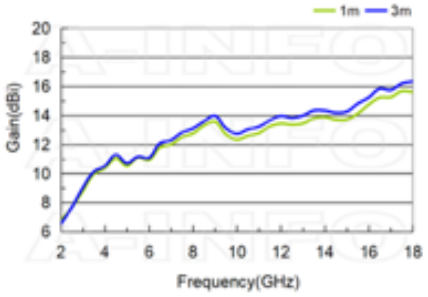
Dalam melakukan pengujian gain pada antena mikrostrip yang dirancang, metode yang digunakan adalah metode perbandingan (*gain comparison method*). Metode ini mengacu pada prosedur standar pengujian antena internasional (IEEE Std 149-1979) yang memanfaatkan sebuah antena referensi standar yang telah diketahui nilai gain-nya secara pasti (Nurmantris, 2023). Pada penelitian ini, antena referensi yang digunakan adalah *Broadband Horn Antenna* tipe LB-20180-SF yang bekerja pada frekuensi 2 GHz hingga 18 GHz dengan nilai penguatan standar sebesar 12 dB.

Proses pengukuran dilakukan dengan mengukur daya terima dari antena referensi terlebih dahulu, kemudian menggantinya dengan antena uji (*antenna*

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

under test atau AUT) pada posisi dan jarak yang sama. Skema pengujian penguatan antena dengan metode perbandingan ini ditunjukkan pada Gambar 2.10 (Nurmantris, 2023).



(a)

Frequency(GHz)	1m		3m	
	Gain(dBi)	AF(dB/m)	Gain(dBi)	AF(dB/m)
2.0	6.77	29.46	6.54	29.69
3.0	8.80	30.95	9.03	30.72
4.0	10.38	31.87	10.53	31.73
5.0	10.53	33.66	10.71	33.48
6.0	10.92	34.85	11.06	34.71
7.0	12.00	35.11	12.30	34.82
8.0	12.76	35.51	13.11	35.17
9.0	13.58	35.71	13.97	35.33
10.0	12.34	37.87	12.74	37.47
12.0	13.44	38.35	13.96	37.84
14.0	13.87	39.26	14.33	38.80
16.0	14.75	39.55	15.24	39.05
18.0	15.62	39.70	16.35	38.96

(b)

Gambar 2.19. Pengukuran Daya Terima Antena Referensi

Sumber: Nurmantris, 2023

Berdasarkan skema pengujian di atas, nilai penguatan (*gain*) dari antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2 dapat dihitung secara matematis menggunakan persamaan 2.3 (Nurmantris, 2023):

$$G_{AUT}(dB) = G_{Ref}(dB) + P_{AUT}(dBm) - P_{Ref}(dBm) \quad (2.3)$$

Dimana keterangan dari masing-masing variabel pada Persamaan (2.3) adalah sebagai berikut:

G_{AUT} : Gain atau penguatan dari antena uji / mikrostrip yang dirancang (dB)

G_{Ref} : Gain dari antena horn referensi LB-20180-SF, yaitu sebesar 12 dB

P_{AUT} : Daya yang diterima oleh antena uji / mikrostrip (dBm)

P_{Ref} : Daya yang diterima oleh antena horn referensi (dBm)

Melalui persamaan tersebut, apabila daya terima antena uji (P_{AUT}) lebih besar daripada daya terima antena referensi (P_{Ref}), maka antena yang dirancang memiliki karakteristik penguatan yang baik dalam mengarahkan sinyal pada frekuensi kerja 2,4 GHz.

2.7.4 *Beamwidth*

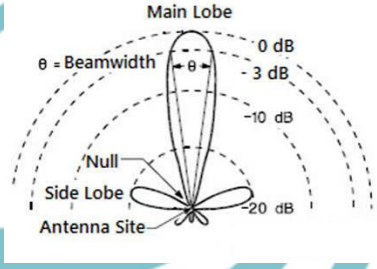
Beamwidth antena merupakan besar berkas antena yang ditunjukkan dengan sudut pancaran antena. Berkas antena ini memiliki luas yang disebut luas berkas (beam area) yaitu luas sudut ruang yang mewakili arah pancaran daya dari antena.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HPBW adalah sudut antara 2 titik pada main lobe dimana daya turun menjadi setengah dari daya maksimum. Setengah daya bila dinyatakan dalam dB adalah -3 dB, sehingga HPBW sering disebut -3 dB beamwidth (Irtawaty et al., 2018). HPBW adalah sudut dari selisih titik-titik pada setengah pola daya dalam main lobe yang dapat dinyatakan dalam rumus 2.4 (Irtawaty et al., 2018):

$$\left[\frac{70\ x\ (lamda)}{D}\right] \quad (2.4)$$



Gambar 2.20. Beamwidth Antena

Sumber: Irtawaty et al., 2018

2.7.5 Polarisasi

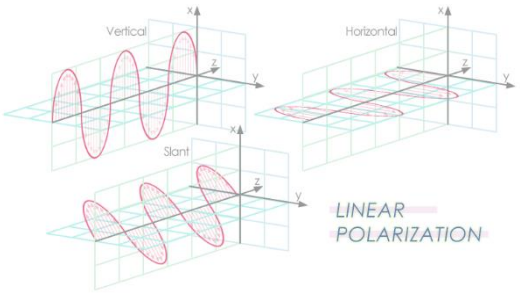
Polarisasi dari gelombang yang teradiasi didefinisikan sebagai suatu keadaan gelombang elektromagnet yang menggambarkan daerah dari magnitudo vector medan elektrik yang bervariasi menurut waktu. Selain itu, polarisasi juga dapat didefinisikan sebagai gelombang yang diradiasikan dan diterima oleh antena pada suatu arah tertentu (Irtawaty et al., 2018). Ada dua macam polarisasi antena yaitu polarisasi vertikal dan polarisasi horizontal.

a) Polarisasi Vertikal Radiasi gelombang elektromagnetik dibangkitkan oleh medan magnetik dan gaya listrik yang selalu berada di sudut kanan. Kebanyakan gelombang elektromagnetik dalam ruang bebas dapat dikatakan berpolarisasi linier. Arah dari polarisasi searah dengan vektor listrik. Bahwa polarisasi tersebut adalah vertikal jika garis medan listrik yang disebut dengan garis E berupa garis vertikal maka gelombang dapat dikatakan sebagai polarisasi vertikal.
b) Polarisasi Horizontal Antena dikatakan berpolarisasi horizontal jika elemen antena horizontal terhadap permukaan tanah. Polarisasi horizontal digunakan

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pada beberapa jaringan wireless, Gambar 2.21 menunjukan polarisasi antena (Irtawaty et al., 2018).



Gambar 2.22. Polarisasi Antena

Sumber: Irtawaty et al., 2018

2.7.6 Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan gambaran distribusi daya radiasi yang dipancarkan antena terhadap arah tertentu. Pola radiasi biasanya ditampilkan dalam bentuk grafik dua dimensi (*polar plot*) maupun tiga dimensi untuk menunjukkan karakteristik pancaran antena pada berbagai arah. Melalui pola radiasi, dapat diketahui arah pancaran utama, besar cakupan sinyal, serta karakteristik antena dalam mentransmisikan maupun menerima gelombang elektromagnetik. Berdasarkan karakteristik arah pancarannya, pola radiasi antena secara umum dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu pola radiasi isotropis, directional, dan omnidirectional (Brahmana et al., 2023).

1. Pola Radiasi Isotropis

Pola radiasi isotropis merupakan pola radiasi ideal yang memancarkan energi elektromagnetik secara merata ke seluruh arah dengan intensitas yang sama. Antena isotropis hanya digunakan sebagai model teoritis atau referensi dalam analisis antena karena pada praktiknya tidak ada antena yang mampu memancarkan daya secara sempurna ke segala arah. Oleh sebab itu, antena isotropis umumnya dijadikan acuan dalam menentukan nilai gain antena yang dinyatakan dalam satuan dBi (*decibel isotropic*).

2. Pola Radiasi Directional

Pola radiasi directional merupakan pola radiasi yang memusatkan pancaran energi pada satu arah tertentu sehingga menghasilkan berkas radiasi (*beam*) yang

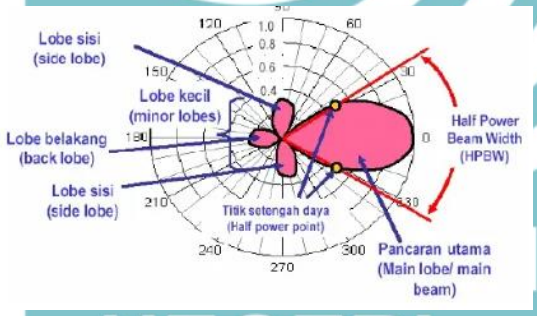
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sempit dengan intensitas radiasi yang tinggi. Karakteristik tersebut menyebabkan antena directional memiliki nilai gain dan direktivitas yang lebih besar dibandingkan antena omnidirectional, sehingga sesuai digunakan pada sistem komunikasi yang membutuhkan jangkauan lebih jauh dan arah pancaran yang terfokus, seperti komunikasi *point-to-point* (Brahmana et al., 2023).

3. Pola Radiasi Omnidirectional

Pola radiasi omnidirectional merupakan pola radiasi yang memancarkan energi secara merata pada seluruh arah dalam satu bidang, umumnya bidang horizontal (360°). Dengan karakteristik tersebut, antena omnidirectional mampu memberikan cakupan area yang luas sehingga banyak digunakan pada perangkat komunikasi nirkabel, seperti access point, router Wi-Fi, dan base station yang melayani banyak pengguna dari berbagai arah. Meskipun memiliki cakupan yang lebih luas, antena omnidirectional umumnya memiliki gain yang lebih rendah dibandingkan antena directional, Gambar 2.23 menunjukan bentuk pola radiasi (Brahmana et al., 2023).



Gambar 2.24. Bentuk Pola Radiasi

Sumber: Hakim, 2022

2.8 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan antena kecil berbentuk lempengan yang dapat dibuat dari plat PCB yang terdiri atas tiga elemen, yaitu paradiasi (radiator), elemen substrat (substrate) dan elemen pertanahan (ground). Antena mikrostrip dikenal dalam beberapa bentuk sesuai dengan bentuk *patch* nya, diantaranya adalah antena mikrostrip *patch* persegi panjang (rectangular), antena mikrostrip *patch* persegi (square), antena mikrostrip *patch* elips (elliptical), antena mikrostrip *patch* segitiga (triangular), antena mikrostrip *patch* lingkaran (circular), antena mikrostrip patch cicular ring (Christyonoet al., 2016).

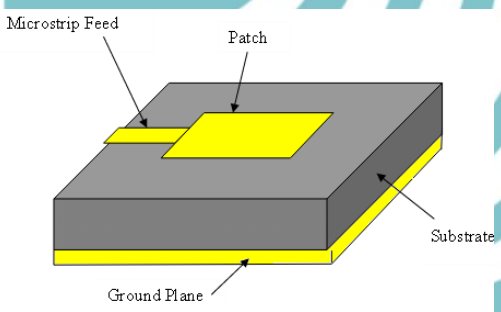
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

a) *Conducting Patch* Bagian ini merupakan lapisan paling luar mikrostrip yang terbuat dari konduktor yang berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik.

b) *Substrate* Berfungsi sebagai bahan dielektrik dari antena mikrostrip yang membatasi elemen peradiasi dengan elemen ground. Dielektrik dengan ketebalan h memiliki permitivitas relatif (r) berkisar antara 2,2 hingga 10.

c) Ground merupakan lapisan paling bawah dan berfungsi sebagai pembumian bagi sistem antena mikrostrip. yang memiliki bentuk geometri sederhana, misalkan lingkaran, persegi panjang, segitiga atau bentuk lain yang berfungsi sebagai reflektor untuk memantulkan sinyal yang tidak diinginkan, Gambar 2.25 menunjukan bentuk antena mikrostrip (Christyonoet al., 2016).



Gambar 2.26. Antena Mikrostrip

Sumber: Christyonoet al., 2016

2.9 Antena *Patch Triangular*

Antena mikrostrip dengan bentuk *triangular patch* adalah jenis antena yang cukup umum digunakna karena bentuknya unik dan mudah dalam desain. Untuk melakukan desain antena triangular dibutuhkan beberapa parameter:

Untuk menentukan dimensi segitiga dapat menggunakan persamaan berikut (Annisa et al., 2024):

a) Panjang sisi *patch* menggunakan persamaan berikut:

$$fr = \frac{2c}{3a\sqrt{\varepsilon r}} \tag{2.5}$$

$$a = \frac{2c}{3 \times f_o \times \sqrt{\varepsilon r}} \tag{2.6}$$

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$aeff = a + h(\varepsilon r)^{-0,5} \quad (2.7)$$

b) Tinggi *patch* menggunakan persamaan:

$$tinggi = 0,5 \times a \times \sqrt{3} \quad (2.8)$$

c) Outer radius menggunakan persamaan:

$$Outer\ radius = \frac{a}{2 \times cos30°} \quad (2.9)$$

d) Lebar ground dan substrat menggunakan persamaan:

$$Wg = 6h + 2t \quad (2.10)$$

e) Menentukan panjang ground dan substrat menggunakan persamaan:

$$Lg = 6h + 2a \quad (2.11)$$

f) Menentukan lebar feed menggunakan persamaan berikut:

$$W_f = \frac{2h}{\pi}((B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\varepsilon r - 1}{2\varepsilon r}(\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\varepsilon r})) \quad (2.12)$$

$$B_1 = \frac{60\pi^2}{70,7\sqrt{\varepsilon r}} \quad (2.13)$$

g) Menentukan panjang feed menggunakan persamaan:

$$lf = \frac{\lambda_g}{4} \quad (2.14)$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_g}{\sqrt{\varepsilon r}} \quad (2.15)$$

$$\lambda_g = \frac{c}{f_o} \quad (2.16)$$

2.10 Saluran Pencatu

Dalam perancangan impedansi saluran pencatu yang digunakan yaitu 50 Ω. Berikut perhitungan untuk menentukan lebar dan panjang saluran pencatu (Rafsyam, 2024):

$$Wzl = \frac{377}{\sqrt{\varepsilon r}} \times \frac{h}{ZL} \quad (2.17)$$

Persamaan 2.17 merupakan rumus untuk perhitungan Wzl.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$ZT = \sqrt{ZL \times Zo} \quad (2.18)$$

$$Wzt = \frac{377}{\sqrt{\varepsilon r}} \times \frac{h}{ZT} \quad (2.19)$$

Persamaan 2.18 dan 2.19 merupakan rumus perhitungan wzt.

$$Zo = 2 \times impedansi\ karakteristik \quad (2.20)$$

$$Wzo = \frac{377}{\sqrt{\varepsilon r}} \times \frac{h}{ZO} \quad (2.21)$$

Persamaan 2.20 dan 2.21 merupakan rumus perhitungan wzo.

$$d = \frac{\lambda 0}{2} \quad (2.22)$$

Persamaan 2.21 merupakan perhitungan untuk mencari jarak antar elemen.

$$\lambda \mathrm{d} = \frac{\lambda 0}{\sqrt{\varepsilon r}} \quad (2.23)$$

Persamaan 2.23 merupakan menentukan panjang gelombang pada bahan dielektrik (λd) menggunakan persamaan.

$$L_T = \frac{\lambda d}{4} \quad (2.24)$$

Persamaan 2.24 merupakan rumus untuk menentukan panjang saluran transmisi (Lt).

2.11 CST Studio 2019

CST (*Computer Simulation Technology*) Studio Suite 2019 merupakan salah satu perangkat lunak simulator gelombang elektromagnetik tiga dimensi (3D) berskala tinggi yang banyak digunakan untuk merancang, menganalisis, serta mengoptimasi performa komponen frekuensi radio (RF) dan gelombang mikro, khususnya antena (Aulia, 2025). Perangkat lunak ini menyediakan berbagai fitur pemodelan parametrik yang presisi sehingga memudahkan dalam penentuan dimensi fisis antena sebelum memasuki tahapan fabrikasi, Gambar 2.27 menunjukan logo *software* CST Studio Suite 2019.

Gambar 2.28. CST Studio Suite 2019

Sumber: Aulia, 2025

Dalam perancangan antena mikrostrip, CST Studio Suite 2019 menggunakan metode komputasi numerik elektromagnetik untuk mensimulasikan parameter-parameter penting antena secara akurat. Simulator ini mampu menampilkan visualisasi hasil pengujian performa secara terperinci, seperti nilai *Return Loss*, *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR), nilai penguatan (*gain*), nilai direktivitas, hingga pemetaan pola radiasi medan jauh (*far-field radiation pattern*) baik dalam bentuk grafik dua dimensi (2D) maupun tiga dimensi (3D) (Aulia, 2025). Melalui proses simulasi dan optimasi pada perangkat lunak ini, risiko kegagalan fungsi atau ketidaksesuaian frekuensi kerja pada saat antena direalisasikan dapat diminimalisir secara optimal.

2.12 Quality of Service (QOS)

Quality of Service (QoS) merupakan suatu metode atau mekanisme yang digunakan untuk mengukur, mengevaluasi, serta menentukan tingkat keberhasilan performa dari suatu jaringan komputer atau koneksi internet dalam melayani proses pengiriman data. Penerapan pengujian QoS menjadi hal yang sangat krusial dalam pembangunan arsitektur sistem komunikasi data berbasis teknologi digital, sebab parameter ini berfungsi untuk mengetahui seberapa stabil, efisien, dan responsif pertukaran data yang dilakukan oleh perangkat keras dan perangkat lunak. Melalui analisis QoS, performa lalu lintas data di dalam jaringan dapat diidentifikasi secara menyeluruh, terutama pada sistem atau aplikasi yang mengutamakan penyampaian informasi secara berkala, kontinu, serta dituntut berjalan secara waktu nyata atau *real-time* (Hasbi & Saputra, 2021).

2.12.1 Throughput

Throughput yaitu kecepatan (rate) transfer data efektif, yang diukur dalam *bit per second* (bps). Throughput adalah jumlah total kedatangan paket yang sukses yang diamati pada tujuan selama interval waktu tertentu dibagi oleh durasi interval

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

waktu tersebut. *Throughput* ditentukan pada persamaan (Hasbi & Saputra, 2021). Rumus untuk menghitung nilai *throughput* adalah seperti pada rumus 2.25 (Nisa et al., 2024):

$$Throughput = \frac{\text{Jumlah data terkirim (kb)}}{\text{Waktu pengiriman data (s)}} \quad (2.25)$$

Untuk menentukan suatu jaringan sudah baik atau belum dapat menyesuaikan data *throughput* yang diukur dengan kategori pada Tabel 2.4.

Tabel 2.5. Kategori *Throughput*

Kategori	Throughput	Indeks
Sangat Baik	>2,1 Mbps	4
Baik	1,2 – 2,1 Mbps	3
Cukup	700 – 1.200 Kbps	2
Kurang Baik	338 – 700 Kbps	1
Buruk	0 – 338 Kbps	0

Sumber: TIPHON, 2007

2.12.2 *Packet Loss*

Packet loss merupakan suatu parameter yang menggambarkan suatu kondisi yang menunjukkan jumlah total paket yang hilang dapat terjadi karena collision dan congestion pada jaringan (Hasbi & Saputra, 2021). Rumus untuk menghitung persentase *packet loss* adalah seperti pada rumus 2.26 (Nisa et al., 2024):

$$Packet\ Loss = \frac{\text{Paket data dikirim} - \text{Paket data diterima}}{\text{paket data dikirim}}\ x\ 100\% \quad (2.26)$$

Untuk menentukan suatu jaringan sudah baik atau belum dapat menyesuaikan data *packet loss* yang diukur dengan kategori pada Tabel 2.5.

Tabel 2.6. Kategori *Packet Loss*

Kategori Degredasi	Packet Loss (%)	Indeks
Sangat Baik	0-2	4
Baik	3-14	3
Cukup	14-24	2
Buruk	>25	1

Sumber: TIPHON, 2007

2.12.3 Delay (Latency)

Delay atau latensi merupakan representasi dari total waktu yang dihabiskan oleh suatu paket data selama melakukan perjalanan di dalam jaringan komunikasi. Waktu ini dihitung sejak paket data pertama kali dilepaskan oleh titik asal (pengirim atau *sender*) melewati koneksi jaringan hingga paket tersebut sukses menyentuh dan diterima secara utuh di titik tujuan (penerima atau *receiver*). Nilai *delay* pada

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

suatu jaringan dapat berfluktuasi secara dinamis karena sangat dipengaruhi oleh faktor jarak geografis antar perangkat, tingkat kepadatan lalu lintas data, serta kapasitas lebar pita (*bandwidth*) yang tersedia (Hasbi & Saputra, 2021).

Tabel 2.7. Kategori Delay

Kategori Latensi	Besar Delay	Indeks
Sangat Bagus	< 150ms	4
Bagus	150ms s/d 300ms	3
Sedang	300ms s/d 450ms	2
Jelek	> 450ms	1

Sumber: TIPHON, 2007

Untuk menentukan suatu jaringan sudah baik atau belum bisa dengan menyesuaikan data delay yang diukur dengan kategori pada Tabel 2.6. Delay ditentukan pada persamaan 2.27 (Nisa et al., 2024).

$$Delay = \frac{\text{waktu pengiriman data}}{\text{packet yang diterima}} \quad (2.27)$$

2.13 *Received Signal Strength Indicator* (RSSI)

RSSI adalah pengukuran terhadap daya yang diterima oleh sebuah perangkat *Wireless*. Pengukuran dilakukan berdasarkan *Signal Strength* yang diterima. Hal ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keakurasian pengukuran dan perhitungan dengan menggunakan *Wireless* (Akram et al., 2023). RSSI digunakan sebagai indeks yang menunjukkan kekuatan sinyal yang diterima oleh *receiver* dari *Access point*, satuan kekuatan *signal wireless* ditunjukan dengan satuan dBm dengan rentang *Signal Strength* yaitu -10 dBm sampai kurang lebih -100 dBm. Semakin mendekati angka positif maka kualitas signal semakin bagus. Standarisasi *Signal Strength* ditunjukan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.8. Kategori RSSI

Kategori	Signal Strength
Sangat Baik	>-70 dBm
Baik	-70 dBm s/d -86 dBm
Normal	-86 dBm s/d -100 dbm
Buruk	<-100 s/d -110 dBm
Sangat Buruk	<-110 dBm

Sumber: TIPHON, 2007

2.14 Wi-Fi (*Wireless Fidelity)*

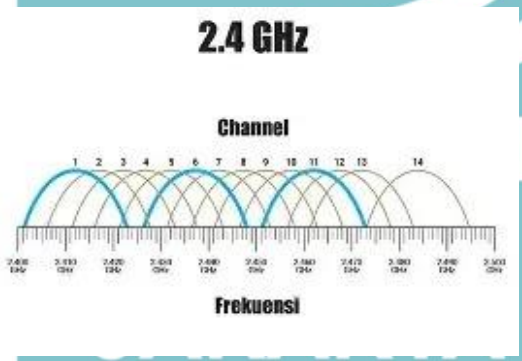
Wi-Fi (*Wireless Fidelity*) merupakan teknologi jaringan lokal nirkabel (*Wireless Local Area Network* / WLAN) yang memanfaatkan gelombang radio berfrekuensi tinggi untuk menyediakan koneksi internet dan memfasilitasi pertukaran data antarperangkat elektronik tanpa membutuhkan kabel fisik (Sinaga

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

et al., 2023). Dalam penerapannya pada teknologi *Internet of Things* (IoT), Wi-Fi menjadi media komunikasi data yang sangat vital karena menawarkan fleksibilitas serta kemampuan transmisi data berkecepatan tinggi tanpa keterbatasan jarak kabel. Modul nirkabel pada sistem monitoring (seperti ESP32) memanfaatkan teknologi ini sebagai jalur utama untuk mengirimkan data hasil pembacaan kualitas udara secara instan menuju *cloud database*.

Dalam pengoperasiannya, teknologi Wi-Fi bekerja menggunakan pita frekuensi bebas atau ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*) *band*, di mana salah satu yang paling umum digunakan untuk perangkat IoT adalah pita frekuensi 2,4 GHz. Rentang alokasi frekuensi serta pembagian saluran (*channel*) pada jaringan Wi-Fi 2,4 GHz ini ditunjukkan secara rinci pada Gambar 2.16. Berdasarkan Gambar 2.16, pita frekuensi 2,4 GHz tersebut dibagi menjadi beberapa saluran spektrum yang saling tumpang tindih (*overlapping*) mulai dari frekuensi 2,412 GHz hingga 2,472 GHz. Pemahaman terhadap rentang frekuensi ini sangat penting dalam perancangan antena mikrostrip agar antena dapat bekerja secara optimal pada saluran frekuensi Wi-Fi yang tepat tanpa mengalami gangguan interferensi sinyal.



Gambar 2.29. Rentang Frekuensi Wi-Fi Frekuensi 2,4 GHz

Sumber: Sinaga et al., 2023

2.15 Firebase

Firebase merupakan platform *Backend as a Service (BaaS)* yang dikembangkan oleh Google untuk membantu proses pengembangan aplikasi *web* maupun *mobile*. Firebase menyediakan berbagai layanan, salah satunya *Firebase Realtime Database*, yaitu basis data yang mampu menyimpan dan menyinkronkan data secara *real-time*. Melalui layanan ini, perubahan data yang terjadi pada basis

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

data akan langsung diperbarui pada seluruh perangkat yang terhubung tanpa memerlukan proses *refresh* secara manual (Leonardo, Arwani, & Ratnawati, 2020).

Firebase Realtime Database menggunakan konsep *NoSQL (Non-Relational Database)* dengan format penyimpanan *JavaScript Object Notation (JSON)* yang disusun dalam bentuk struktur pohon (*JSON tree*). Struktur tersebut memungkinkan proses penyimpanan, pembacaan, dan pembaruan data dilakukan secara cepat sehingga sesuai digunakan pada aplikasi yang memerlukan pertukaran data secara *real-time* (Leonardo, Arwani, & Ratnawati, 2020).

Agar suatu aplikasi dapat terhubung dengan *Firebase Realtime Database*, diperlukan konfigurasi dasar berupa *Database URL* dan *Database Secret*. *Database URL* berfungsi sebagai alamat basis data yang akan diakses, sedangkan *Database Secret* digunakan sebagai autentikasi agar aplikasi memiliki hak akses untuk membaca maupun menulis data pada basis data. Contoh konfigurasi dasar Firebase ditunjukkan pada Kode Program dibawah ini.

```
#define DATABASE_URL "https://nama-project-default-
rtdb.firebaseio.com/"
#define DATABASE_SECRET "Database_Secret"

FirebaseData firebaseData;
void setup() {
        Firebase.begin(DATABASE_URL, DATABASE_SECRET);
        Firebase.reconnectWiFi(true);
}
```

Kode Program diatas menunjukkan proses konfigurasi awal *Firebase Realtime Database*. Variabel `DATABASE_URL` digunakan untuk menyimpan alamat basis data (*Database URL*), sedangkan `DATABASE_SECRET` berisi *Database Secret* yang berfungsi sebagai autentikasi akses ke basis data. Selanjutnya, fungsi `Firebase.begin()` digunakan untuk menginisialisasi koneksi ke Firebase, sedangkan `Firebase.reconnectWiFi(true)` berfungsi menghubungkan kembali Firebase secara otomatis apabila koneksi internet terputus. (Leonardo, Arwani, & Ratnawati, 2020).

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB III
PERANCANGAN DAN REALISASI

3.1 Identifikasi Kebutuhan Sistem

Identifikasi kebutuhan sistem dilakukan untuk menentukan kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, dan parameter yang digunakan dalam perancangan sistem peringatan dini kualitas udara. Hasil identifikasi ini menjadi acuan dalam proses perancangan sistem.

3.3.1 Identifikasi Parameter Kualitas Udara PM1, PM2.5 dan PM10

Parameter kualitas udara yang digunakan pada sistem terdiri dari PM1, PM2.5 dan PM10. Ketiga parameter tersebut dipilih karena dapat menggambarkan tingkat pencemaran udara akibat partikel hasil pembakaran dan aktivitas pengolahan sampah.

PM1 adalah partikel berukuran sangat kecil yang mampu masuk hingga kedalam aliran darah. PM2.5 dapat mencapai alveolus paru-paru dan berpotensi menyebabkan gangguan pernapasan, sedangkan PM10 umumnya tertahan pada saluran pernapasan bagian atas namun tetap dapat menimbulkan gangguan kesehatan jika berada pada konsentrasi tinggi.

Nilai konsentrasi PM1, PM2.5, dan PM10 digunakan sebagai dasar penentuan kondisi kualitas udara yang terdiri dari kondisi aman, waspada, dan tidak sehat. Hasil identifikasi parameter tersebut menjadi acuan dalam perancangan sistem peringatan udara.

3.3.2 Penentuan Ambang Batas Sistem Peringatan

Penentuan nilai ambang batas pada sistem ini mengacu pada kategori kualitas udara yang telah dijelaskan pada Bab II. Namun, karena alat yang dirancang merupakan sistem peringatan dini, maka kategori kualitas udara disederhanakan menjadi tiga kondisi, yaitu aman, waspada, dan tidak sehat. Nilai ambang batas kondisi waspada ditentukan menggunakan nilai tengah dari rentang kategori Buruk, sedangkan kondisi tidak sehat menggunakan nilai tengah dari rentang kategori Tidak Sehat. Penggunaan nilai tengah dipilih agar sistem dapat memberikan peringatan lebih awal sebelum konsentrasi partikulat mencapai batas maksimum pada setiap kategori. Dengan demikian, pengguna masih memiliki kesempatan

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

untuk mengurangi paparan terhadap udara yang tercemar sebelum kondisi kualitas udara menjadi semakin buruk, Tabel 3.1 menunjukan kategori kualitas udara.

Tabel 3.2. Kategori Kondisi Kualitas Udara

Kondisi	PM1 (ug/m^3)	PM2.5 (ug/m^3)	PM10 (ug/m^3)	Indikator
Aman	< 50	< 75	< 175	LED dan buzzer mati
Waspada	≥ 50	≥ 75	≥ 175	LED kuning dan buzzer aktif
Tidak Sehat	≥ 80	≥ 115	≥ 350	LED merah dan buzzer aktif

Sumber: AQI Indonesia, 2026

Nilai ambang batas yang digunakan pada sistem diperoleh dari hasil perhitungan nilai tengah setiap rentang kategori. Pada kondisi waspada, nilai tengah diambil dari kategori Buruk pada Bab II, yaitu PM1 sebesar 50 µg/m³, PM2.5 sebesar 75 µg/m³, dan PM10 sebesar 175 µg/m³. Sementara itu, pada kondisi tidak sehat, nilai tengah diambil dari kategori Tidak Sehat, yaitu PM1 sebesar 80 µg/m³, PM2.5 sebesar 115 µg/m³, dan PM10 sebesar 350 µg/m³. Nilai tersebut dipilih sebagai batas aktivasi sistem sehingga indikator dapat bekerja lebih responsif dalam memberikan peringatan kepada pengguna ketika kualitas udara mulai memasuki tingkat yang berpotensi membahayakan kesehatan.

3.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem dilakukan untuk merancang sistem peringatan dini kualitas udara yang terdiri dari perangkat keras (*hardware*) dan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2. Sistem dirancang untuk mendeteksi konsentrasi PM1, PM2,5, dan PM10 menggunakan sensor PMS5003T, kemudian mengirimkan data secara *real-time* melalui jaringan nirkabel.

3.2.1 Rancangan Alat

Rancangan alat pada penelitian Tugas Akhir ini terdiri dari perancangan perangkat keras (*hardware*) dan antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2. Alat ini dirancang untuk mendeteksi kualitas udara (PM1, PM2.5, dan PM10) di lingkungan sekitar secara mandiri. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai pusat pengendali utama untuk memproses seluruh data masukan yang diperoleh dari sensor kualitas udara PMS5003T. Hasil pembacaan kadar polutan tersebut kemudian dikirimkan menuju basis data secara *real-time* memanfaatkan koneksi jaringan nirkabel.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Untuk memastikan komunikasi data berjalan dengan lancar dan stabil pada frekuensi 2,4 GHz, alat ini diintegrasikan dengan antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2 hasil fabrikasi. Antena ini berperan penting dalam mengoptimalkan kuat sinyal pancar dari modul nirkabel pada alat saat mentransmisikan data parameter kualitas udara ke sistem *cloud database*. Integrasi ini bertujuan agar performa transmisi data dari perangkat keras tetap terjaga dengan baik pada frekuensi kerja yang telah ditentukan.

3.2.2 Deskripsi Alat

Sistem peringatan dini kualitas udara ini merupakan suatu kesatuan perangkat yang berfungsi untuk memantau kualitas udara dengan mengukur konsentrasi partikel PM1.0, PM2.5, dan PM10 secara langsung di lokasi penempatan alat. Sistem ini dirancang agar dapat memberikan informasi visual mengenai kondisi kualitas udara secara *real-time* melalui layar LCD yang terpasang pada alat, sekaligus mengirimkan data parameter polutan tersebut ke sistem penyimpanan terpusat agar dapat diakses secara digital.

Dalam merancang sistem ini, digunakan sensor PMS5003T sebagai perangkat utama pengambil data kualitas udara dan ESP32 sebagai unit pemroses data pusat. Data hasil pengukuran yang diperoleh dari sensor akan diproses oleh mikrokontroler untuk langsung ditampilkan pada LCD berukuran 20×4, kemudian ditransmisikan menuju basis data Firebase melalui koneksi Wi-Fi. Informasi yang tersimpan di dalam Firebase tersebut menjadi rekaman data terpusat dari kualitas udara yang dipantau secara langsung oleh sistem.

Selain menyajikan informasi numerik mengenai kualitas udara pada layar, sistem ini juga dilengkapi dengan lampu LED dan *buzzer* sebagai pemancar sinyal peringatan dini secara fisik. Lampu LED berwarna kuning berfungsi untuk menandakan keadaan kualitas udara dalam status waspada, sementara lampu LED merah menunjukkan situasi udara yang sudah tidak sehat. *Buzzer* berperan sebagai alat indikator suara (alarm) yang akan aktif menyala ketika konsentrasi partikel udara mencapai tingkat tertentu sesuai dengan batas ambang aman yang telah dikonfigurasi pada program.

Proses komunikasi data nirkabel pada perangkat ini didukung oleh *access point* yang telah diintegrasikan dengan antena mikrostrip *triangular patch array*

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1×2 berfrekuensi 2,4 GHz. Antena hasil fabrikasi ini berfungsi optimal untuk memperkuat pancaran dan penerimaan sinyal gelombang radio, sehingga memungkinkan proses pengiriman data parameter kualitas udara dari sistem pemantauan menuju basis data awan dapat berjalan dengan lancar dan stabil tanpa adanya kendala diskoneksi jaringan.

Gambar 3.1 menunjukkan ilustrasi sistem kualitas udara menggunakan antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2.

Gambar 3.1. Ilustrasi Sistem Peringatan Dini Kualitas Udara

Berdasarkan Gambar 3.1, sensor PMS5003T mengukur kadar PM1.0, PM2.5, dan PM10 yang ada di sekitarnya. Informasi yang diperoleh dari pengukuran ini diterima oleh ESP32 untuk diproses dan disalurkan melalui koneksi Wi-Fi menggunakan access point yang dilengkapi dengan antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2. Data tersebut kemudian disimpan di Firebase dan ditampilkan pada layar LCD sebagai tampilan lokal alat.

3.2.3 Cara Kerja Alat

Cara kerja sistem diawali dengan proses inisialisasi seluruh perangkat keras yang terdiri dari mikrokontroler ESP32, sensor PMS5003T, layar LCD, lampu LED, dan *buzzer*. Setelah proses inisialisasi selesai dilakukan, sistem akan memeriksa apakah seluruh komponen elektronik tersebut telah terbaca dengan baik.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Apabila terdapat komponen yang belum terbaca, sistem akan otomatis mengulangi proses inisialisasi hingga seluruh perangkat berhasil dikenali.

Setelah seluruh perangkat berhasil diinisialisasi, ESP32 akan mencoba melakukan koneksi ke *access point* melalui jaringan Wi-Fi. Apabila koneksi belum berhasil dilakukan, ESP32 akan terus mencoba menghubungkan kembali secara berkala hingga koneksi Wi-Fi berhasil diperoleh. Setelah koneksi jaringan nirkabel berhasil terbentuk, ESP32 selanjutnya akan menginisialisasi tautan koneksi ke basis data Firebase untuk mempersiapkan jalur transmisi data.

Sensor PMS5003T kemudian bekerja melakukan pengukuran konsentrasi partikel PM1.0, PM2.5, dan PM10 yang terkandung di udara sekitar. Data hasil pengukuran berkala tersebut dikirimkan ke ESP32 untuk diproses secara digital dan nilainya akan dibandingkan dengan parameter angka ambang batas kualitas udara yang telah ditanamkan pada program mikrokontroler.

Kondisi pertama yang diperiksa oleh sistem adalah kondisi waspada. Apabila nilai PM1.0 lebih besar dari sama dengan 50 µg/m³, PM2.5 lebih besar dari sama dengan 75 µg/m³, atau PM10 lebih besar dari 175 µg/m³, maka ESP32 akan memproses data tersebut untuk mengaktifkan lampu LED berwarna kuning serta menyalakan *buzzer* sebagai alarm peringatan dini fisik di lokasi. Bersamaan dengan itu, ESP32 mengirimkan status kualitas udara "Waspada" beserta nilai parameternya ke Firebase secara *real-time*.

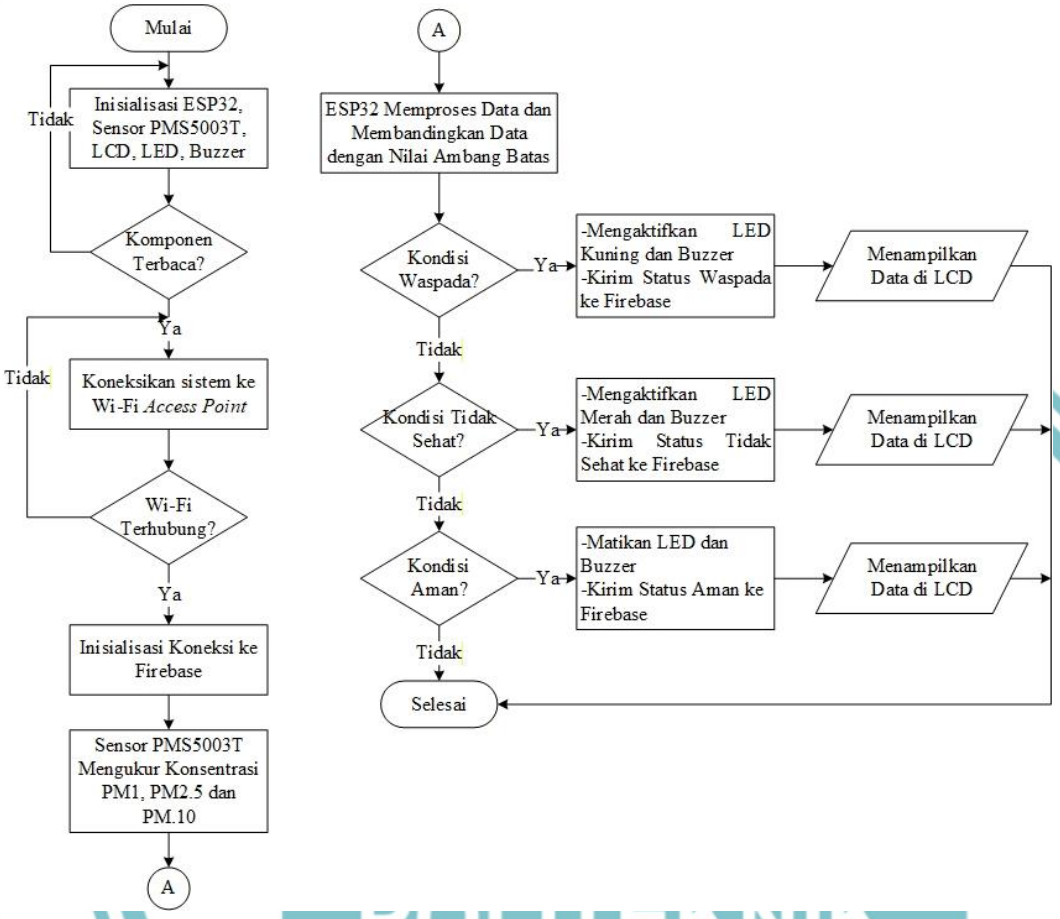
Apabila kondisi pertama tidak terpenuhi, sistem akan memeriksa kondisi kedua yaitu kondisi tidak sehat. Jika nilai pembacaan PM1.0, PM2.5, atau PM10 telah melewati ambang batas kategori tidak sehat, maka ESP32 akan mengaktifkan indikator fisik berupa lampu LED merah disertai bunyi alarm *buzzer*. Secara simultan, ESP32 juga akan mengirimkan pembaruan data dengan status kualitas udara "Tidak Sehat" menuju basis data Firebase.

Apabila konsentrasi partikel udara berada di bawah ambang batas bahaya (kondisi normal), alarm *buzzer* dan LED peringatan akan tetap berada dalam kondisi tidak aktif (mati). Namun, data hasil pengukuran riil dari sensor PMS5003T akan tetap ditampilkan secara visual melalui layar LCD pada alat dan datanya terus dikirimkan secara konstan menuju Firebase untuk keperluan pencatatan data kualitas udara.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3.2 menunjukkan flowchart cara kerja sistem peringatan dini kualitas udara.



Gambar 3.2. Flowchart sistem peringatan dini kualitas udara

Berdasarkan Gambar 3.2, sistem melakukan pembacaan kualitas udara secara terus-menerus dan mengirimkan hasil pengukuran ke Firebase melalui koneksi jaringan nirkabel sehingga informasi parameter polutan dapat diperbarui secara *real-time* pada basis data terpusat. Selain itu, sistem juga mampu memberikan sinyal peringatan dini secara fisik melalui bunyi alarm *buzzer* dan nyala lampu LED ketika nilai konsentrasi partikel udara berada pada kondisi waspada maupun tidak sehat sesuai dengan batas ambang aman yang telah ditentukan.

3.2.4 Spesifikasi Alat

Spesifikasi perangkat yang digunakan dalam perancangan sistem peringatan dini kualitas udara ditunjukkan pada Tabel 3.2.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 3.3. Spesifikasi Alat

Komponen	Fungsi
ESP32	Berfungsi sebagai mikrokontroler utama yang mengolah data dari sensor PMS5003T, mengendalikan LCD, LED, buzzer, serta mengirimkan data ke Firebase melalui jaringan Wi-Fi.
Sensor PMS5003T	Berfungsi untuk mendeteksi konsentrasi partikel PM1, PM2.5, dan PM10 di udara secara real-time menggunakan metode laser scattering.
Access Point TP-Link TD-W8151N	Berfungsi menyediakan jaringan Wi-Fi sehingga ESP32 dapat mengirimkan data hasil pengukuran ke Firebase dan aplikasi Android.
LCD I2C 20×4	Berfungsi menampilkan nilai PM1, PM2.5, PM10 serta status kualitas udara secara langsung pada alat.
LED Kuning	Berfungsi sebagai indikator visual ketika kualitas udara berada pada kondisi Waspada.
LED Merah	Berfungsi sebagai indikator visual ketika kualitas udara berada pada kondisi Tidak Sehat.
Buzzer	Berfungsi memberikan peringatan suara ketika kualitas udara mencapai kondisi waspada maupun tidak sehat.
Antena Mikrostrip Triangular Patch Array 1×2	Berfungsi sebagai antena pemancar dan penerima sinyal Wi-Fi pada frekuensi 2,4 GHz untuk meningkatkan kualitas komunikasi nirkabel dibandingkan antena bawaan access point.
Modul Stepdown LM2596	Berfungsi menurunkan tegangan dari baterai menjadi tegangan yang sesuai dengan kebutuhan setiap komponen pada sistem.
Baterai Charger Step Up 3S	Berfungsi sebagai sumber catu daya utama sehingga sistem dapat beroperasi secara portabel tanpa bergantung pada sumber listrik eksternal.

Berdasarkan Tabel 3.2, komponen yang digunakan terdiri dari bagian input, proses, dan output yang saling terhubung untuk mendukung sistem monitoring kualitas udara secara *real-time*.

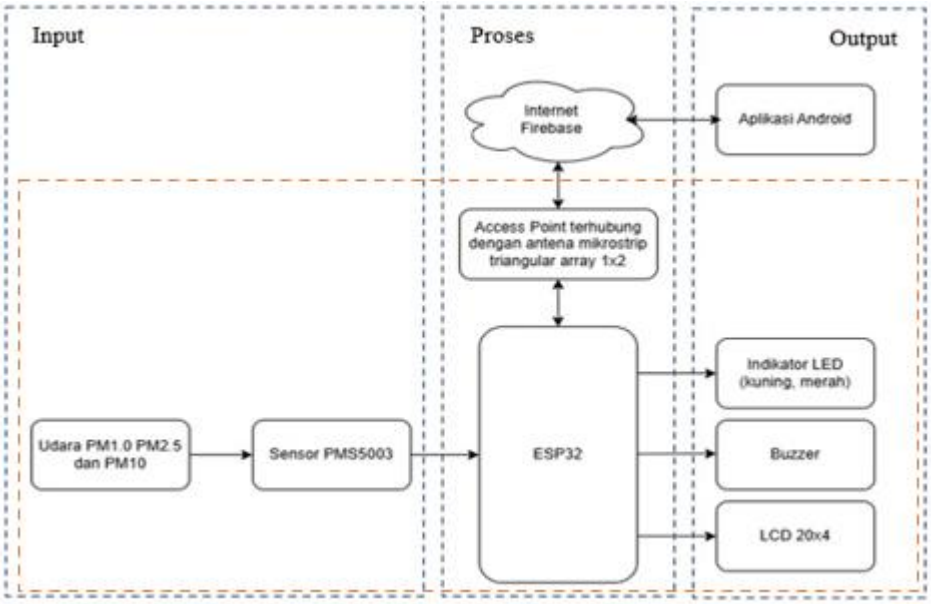
3.2.5 Diagram Blok Sistem

Sistem peringatan dini kualitas udara ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu unit masukan (*input*), unit pemroses (*processing*), dan unit keluaran (*output*). Perancangan diagram blok ini bertujuan agar alat dapat membaca kadar polutan, mengolah data berdasarkan ambang batas, dan mengirimkan hasilnya secara

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

nirkabel melalui antena eksternal. Struktur hubungan antar-komponen ini ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. Diagram blok sistem peringatan dini kualitas udara

Alur kerja pada diagram blok di atas dimulai dari sensor PMS5003T sebagai unit masukan yang mengukur konsentrasi partikel PM1.0, PM2.5, dan PM10 di udara. Data hasil pengukuran tersebut kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemroses utama untuk dicocokkan dengan nilai ambang batas kondisi udara (normal, waspada, atau tidak sehat) yang sudah diprogram.

Setelah data selesai diolah, ESP32 akan langsung mengirimkan hasilnya ke dua jenis unit keluaran secara bersamaan. Untuk keluaran lokal pada alat, data ditampilkan pada layar LCD 20x4 serta mengaktifkan lampu LED dan *buzzer* jika udara dalam kondisi bahaya. Sementara untuk keluaran berbasis IoT, modul Wi-Fi pada ESP32 akan mengirimkan data tersebut ke Firebase melalui *access point*. Proses pengiriman data nirkabel pada frekuensi 2,4 GHz ini diperkuat oleh antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2 agar koneksi tetap stabil.

3.3 Realisasi Prototype Alat

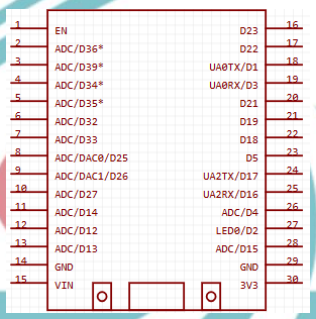
Pada realisasi alat akan dilakukan perancangan alat menjadi wujud sesungguhnya. Pada bagian ini membahas mengenai perealisasian alat yaitu rangkaian power baterai dan sistem mikrokontroler hingga terhubung ke basis data Firebase melalui *access point*.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.3.1 Perancangan Sistem Mikrokontroler

Pada sistem mikrokontroler ini menggunakan ESP32 sebagai pusat pengendali dihubungkan dengan input sensor PMS5003T dan output berupa LCD 20×4 I2C, LED indikator, serta buzzer. Selain itu, ESP32 juga digunakan untuk mengirimkan data hasil pengukuran kualitas udara ke Firebase melalui jaringan Wi-Fi sehingga dapat ditampilkan pada aplikasi Android. Skematik ESP32 dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Skematik ESP32

ESP32 digunakan untuk perancangan sistem mikrokontroler ini mengingat jumlah pin yang tersedia cukup untuk menghubungkan seluruh perangkat yang digunakan pada sistem. Penggunaan pin ESP32 dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 4. Penggunaan pin ESP32

Pin ESP32	Penggunaan
GPIO16 (RX2)	Sensor PMS5003T (TX)
GPIO17 (TX2)	Sensor PMS5003T (RX)
GPIO21 (SDA)	LCD 20×4 I2C
GPIO22 (SCL)	LCD 20×4 I2C
GPIO25 (SCL)	LED Kuning
GPIO26	LED Merah
GPIO27	Buzzer

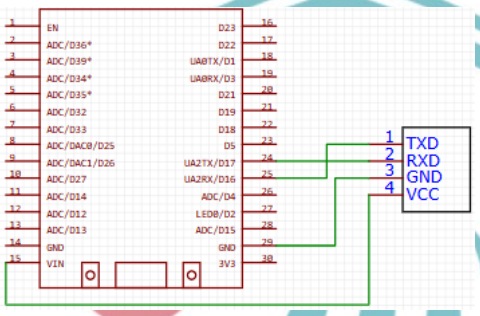
Berdasarkan Tabel 3.3 menunjukkan pin-pin yang digunakan pada sistem ini. Sensor PMS5003T dihubungkan dengan pin UART ESP32 yaitu GPIO16 dan GPIO17 untuk proses komunikasi data. LCD 20×4 I2C dihubungkan menggunakan jalur komunikasi I2C melalui pin GPIO21 sebagai SDA dan GPIO22 sebagai SCL. LED kuning dan LED merah dihubungkan pada pin digital sebagai indikator kondisi kualitas udara, sedangkan buzzer dihubungkan pada pin digital untuk menghasilkan alarm ketika kualitas udara berada pada kondisi waspada maupun tidak sehat.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

a) Rangkaian Sensor PMS5003T

Pada perancangan ini sensor PMS5003T digunakan sebagai sensor untuk mengukur konsentrasi PM1.0, PM2.5, dan PM10 di udara. Sensor PMS5003T dihubungkan dengan ESP32 menggunakan komunikasi serial UART. Skematik rangkaian sensor PMS5003T dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Skematik Sensor PMS5003T

Berdasarkan Gambar 3.5, pin TXD sensor PMS5003T dihubungkan dengan pin RX2 (GPIO16) ESP32 dan pin RXD sensor dihubungkan dengan pin TX2 (GPIO17) ESP32. Selanjutnya pin VCC sensor dihubungkan ke pin VIN ESP32 dan pin GND sensor dihubungkan ke pin GND ESP32. Konfigurasi tersebut digunakan agar data hasil pengukuran PM1.0, PM2.5, dan PM10 dapat diterima dan diproses oleh ESP32.

Tabel 3.5. Fungsi pin sensor PMS5003T

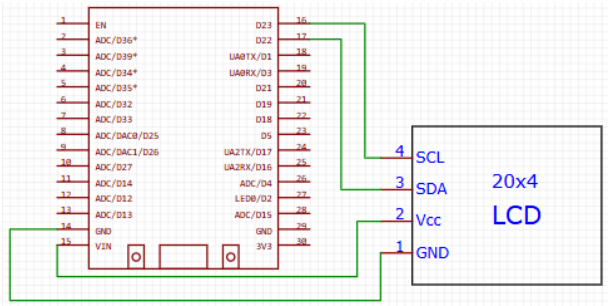
Pin PMS5003T	Pin ESP32	Fungsi
TXD	GPIO16 (RX2)	Mengirim data sensor ke ESP32
RXD	GPIO17 (TX2)	Menerima data dari ESP32
VCC	VIN/5V	Catu daya sensor
GND	GND	Ground

a) Rangkaian LCD

Pada perancangan ini LCD 20×4 I2C digunakan sebagai media untuk menampilkan nilai PM1.0, PM2.5, PM10, serta status kualitas udara yang terdeteksi oleh sistem. LCD dihubungkan dengan ESP32 menggunakan komunikasi I2C. Skematik rangkaian LCD 20×4 I2C dapat dilihat pada Gambar 3.6.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.6. Rangkaian Skematik LCD I2C 20x4

Berdasarkan Gambar 3.6, pin SDA pada LCD dihubungkan dengan pin GPIO21 (SDA) ESP32 dan pin SCL dihubungkan dengan pin GPIO22 (SCL) ESP32. Selanjutnya pin VCC LCD dihubungkan ke pin 3.3V ESP32 dan pin GND LCD dihubungkan ke pin GND ESP32. Konfigurasi tersebut digunakan agar data hasil pengukuran kualitas udara dapat ditampilkan pada LCD secara real-time.

Tabel 3.6. Fungsi pin LCD I2C 20x4

Pin LCD I2C 20x4	Pin ESP32	Fungsi
SDA	GPIO21	Sebagai jalur untuk mentransmisikan data serial
SCL	GPIO22	Sebagai jalur untuk mengirimkan sinyal clock
VCC	VIN/5V	Catu daya sensor
GND	GND	Ground

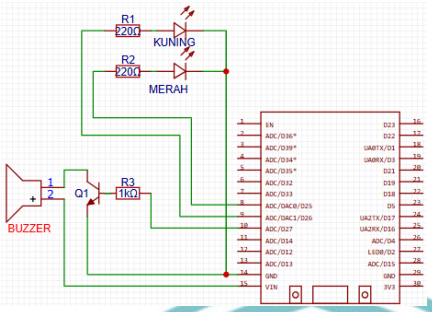
Tabel 3.5 menunjukan fungsi pin LCD 20x4 I2C dan hubungan antara pin LCD dengan pin ESP32.

b) Rangkaian LED dan Buzzer

Pada perancangan ini LED dan buzzer digunakan sebagai indikator peringatan dini kualitas udara. LED kuning digunakan sebagai indikator kondisi waspada, sedangkan LED merah digunakan sebagai indikator kondisi tidak sehat. Buzzer digunakan sebagai alarm yang akan aktif ketika kualitas udara melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Skematik rangkaian LED dan buzzer dapat dilihat pada Gambar 3.7.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.7. Rangkaian Skematik LED dan Buzzer

Berdasarkan Gambar 3.7, LED kuning dan LED merah dihubungkan ke pin digital ESP32 melalui resistor 220 Ω yang berfungsi sebagai pembatas arus. Sedangkan buzzer dihubungkan ke ESP32 melalui transistor sebagai saklar untuk mengendalikan aktif dan tidak aktifnya buzzer. Konfigurasi tersebut digunakan agar ESP32 dapat mengontrol LED dan buzzer sesuai dengan kondisi kualitas udara yang terdeteksi oleh sensor PMS5003T.

Tabel 3.7. Konfigurasi pin LED dan Buzzer pada ESP32

Pin ESP32	Komponen Terhubung	Fungsi
GPIO 26	LED Kuning	Mengendalikan LED kuning sebagai indikator kondisi Waspada.
GPIO 25	LED Merah	Mengendalikan LED merah sebagai indikator kondisi Tidak Sehat.
GPIO 27	Buzzer	Mengendalikan buzzer sebagai alarm peringatan kualitas udara.

3.3.2 Realisasi Pemrograman ESP32 di Arduino IDE

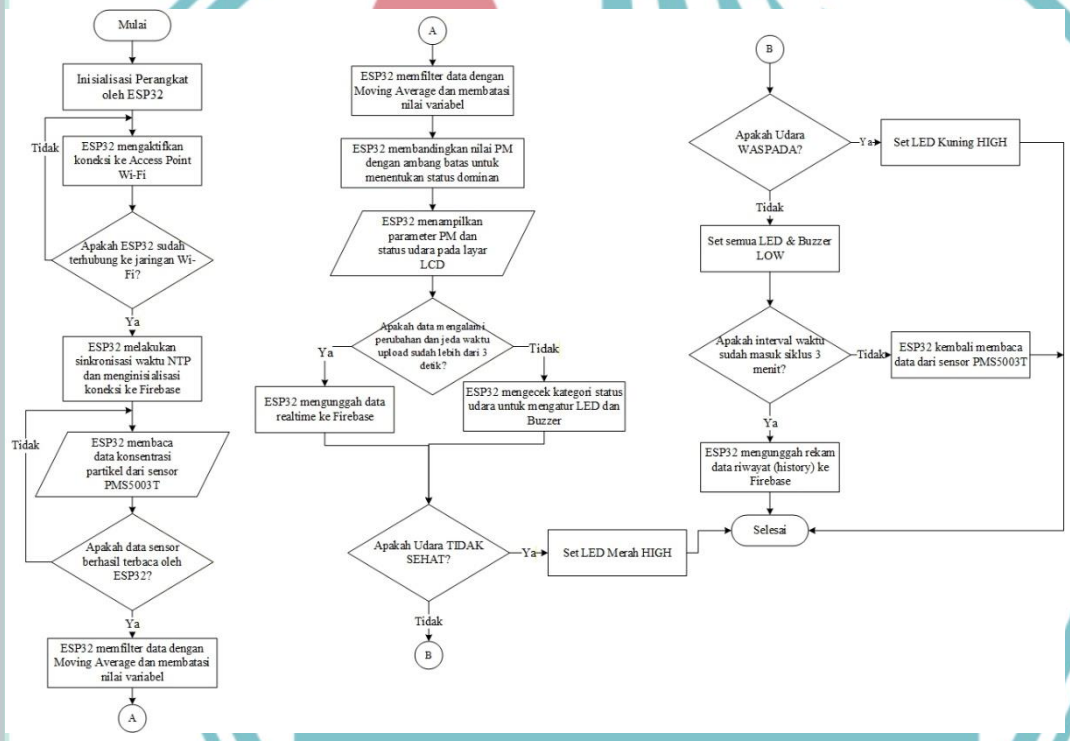
Pemrograman pada sistem peringatan dini kualitas udara menggunakan mikrokontroler ESP32 dilakukan dengan *software* Arduino IDE. Program yang dibuat berfungsi untuk melakukan pembacaan data sensor PMS5003T, mengolah data kualitas udara menggunakan metode *Moving Average*, mengendalikan layar LCD, lampu LED, dan *buzzer*, serta mengirimkan data hasil pengukuran maupun data riwayat (*history*) secara berkala ke Firebase melalui jaringan Wi-Fi.

Sketch program yang dibuat telah disesuaikan dengan alur kerja sistem yang dirancang. Proses dimulai dari inisialisasi perangkat oleh ESP32, dilanjutkan dengan menghubungkan koneksi ke jaringan Wi-Fi serta melakukan sinkronisasi waktu NTP dan koneksi ke Firebase. Setelah itu, ESP32 secara berkala membaca

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

data konsentrasi partikel dari sensor PMS5003T, memfilter data, serta membandingkannya dengan nilai ambang batas untuk menentukan status dominan yang ditampilkan pada layar LCD. Program kemudian mengecek kondisi pengiriman data *real-time* ke Firebase dan melakukan manajemen aktivitas *hardware* (LED dan *buzzer*) berdasarkan kategori kondisi udara yang terdeteksi. Pada akhir siklus, ESP32 akan mengunggah rekam data riwayat (*history*) ke Firebase setiap masuk interval 3 menit sebelum mengulangi kembali seluruh proses pembacaan sensor. Diagram alir pemrograman mikrokontroler ESP32 secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Diagram Alir Pemrograman Mikrokontroler ESP32

Berikut ini merupakan sketch program yang digunakan pada sistem.

1. Mengaktifkan Library pada Arduino IDE

Sebelum melakukan pemrograman, diperlukan beberapa library untuk mendukung komunikasi antara ESP32 dengan perangkat keras dan layanan yang digunakan pada sistem. Library yang digunakan dapat dilihat pada Program dibawah ini.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
#include <WiFi.h>
#include <Firebase_ESP_Client.h>
#include "time.h"
```

Pada kode program di atas dilakukan pemanggilan beberapa library yang digunakan untuk mendukung seluruh proses kerja sistem. Adapun fungsi masing-masing library adalah sebagai berikut:

a. `Wire.h` : Digunakan untuk komunikasi I2C (*Inter-Integrated Circuit*) antara ESP32 dan LCD.
b. `LiquidCrystal_I2C.h` : Digunakan untuk mengendalikan tampilan LCD 20×4.
c. `WiFi.h` : Digunakan untuk menghubungkan ESP32 ke jaringan Wi-Fi.
d. `Firebase_ESP_Client.h` : Digunakan untuk komunikasi data antara ESP32 dan Firebase Realtime Database.
e. `time.h` : Digunakan untuk memperoleh informasi waktu dari server NTP.

2. Inisialisasi Pin dan Parameter pada ESP32

Dilakukan inisialisasi pin dan parameter yang digunakan pada sistem. Program tersebut dapat dilihat pada Program dibawah ini.

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
#define RX2 16
#define TX2 17
#define LED_MERAH 25
#define LED_KUNING 26
#define BUZZER_PIN 27
```

Pada program di atas dilakukan konfigurasi pin yang digunakan oleh masing-masing perangkat. Adapun fungsi pin yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. `LCD I2C (0x27, 20×4)` : Digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran PM1.0, PM2.5, PM10, dan status kualitas udara.
b. `RX2 (GPIO16)` : Digunakan sebagai pin penerima (*receiver*) data serial dari sensor PMS5003T.
c. `TX2 (GPIO17)` : Digunakan sebagai pin pengirim (*transmitter*) data serial untuk komunikasi UART.
d. `LED_MERAH (GPIO25)` : Digunakan sebagai indikator kondisi kualitas udara tidak sehat.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

e. `LED_KUNING (GPIO26)` : Digunakan sebagai indikator kondisi kualitas udara waspada.

f. `BUZZER_PIN (GPIO27)` : Digunakan untuk mengendalikan buzzer sebagai alarm peringatan.

3. Inisialisasi Variabel Sensor PMS5003T

Dilakukan inisialisasi variabel yang digunakan untuk menyimpan data hasil pembacaan sensor PMS5003T. Program tersebut dapat dilihat pada Program dibawah ini.

```
uint8_t pmsBuffer[32];

int rawPM1 = 0;
int rawPM25 = 0;
int rawPM10 = 0;

float pm1 = 0;
float pm25 = 0;
float pm10 = 0;
```

Pada program di atas dilakukan deklarasi variabel yang digunakan untuk menyimpan data dari sensor PMS5003T. Adapun fungsi dari variabel tersebut adalah sebagai berikut:

a. `pmsBuffer[32]` : Digunakan untuk menyimpan paket data yang diterima dari sensor PMS5003T.

b. `rawPM1` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM1.0 hasil pembacaan sensor.

c. `rawPM25` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM2.5 hasil pembacaan sensor.

d. `rawPM10` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM10 hasil pembacaan sensor.

e. `pm1` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM1.0 setelah proses filter.

f. `pm25` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM2.5 setelah proses filter.

g. `pm10` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM10 setelah proses filter.

4. Inisialisasi Variabel Sistem

Dilakukan inisialisasi variabel yang digunakan untuk mendukung proses monitoring, pengiriman data, dan pengendalian alarm. Program tersebut dapat dilihat pada Program dibawah ini.

```
bool isMuted = false;
unsigned long lastSendHistory = 0;
unsigned long lastFirebaseCheck = 0;
```

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
unsigned long lastFirebaseUpload = 0;
int lastSentPM1 = -999;
int lastSentPM25 = -999;
int lastSentPM10 = -999;
String lastSentStatus = "";
String statusDominanTerakhir = "START";
```

Pada program di atas dilakukan deklarasi variabel yang digunakan untuk mendukung proses kerja sistem. Adapun fungsi dari variabel tersebut adalah sebagai berikut:

a. `isMuted` : Digunakan untuk menyimpan status buzzer, aktif atau tidak aktif.
b. `lastSendHistory` : Digunakan untuk menyimpan waktu terakhir pengiriman data riwayat.
c. `lastFirebaseCheck` : Digunakan untuk menyimpan waktu terakhir pengecekan status mute alarm dari Firebase.
d. `lastFirebaseUpload` : Digunakan untuk menyimpan waktu terakhir pengiriman data monitoring.
e. `lastSentPM1` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM1.0 terakhir yang dikirim ke Firebase.
f. `lastSentPM25` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM2.5 terakhir yang dikirim ke Firebase.
g. `lastSentPM10` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM10 terakhir yang dikirim ke Firebase.
h. `lastSentStatus` : Digunakan untuk menyimpan status kualitas udara terakhir yang dikirim.
i. `statusDominanTerakhir` : Digunakan untuk menyimpan status dominan sebelumnya untuk mendeteksi perubahan kondisi udara.

5. Inisialisasi Sistem

Dilakukan inisialisasi seluruh perangkat keras dan layanan yang digunakan sebelum sistem mulai melakukan monitoring kualitas udara. Program tersebut dapat dilihat pada Program dibawah ini.

```
void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RX2, TX2);
```

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

```
  pinMode(LED_MERAH, OUTPUT);
  pinMode(LED_KUNING, OUTPUT);
  pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);

  lcd.init();
  lcd.backlight();

  WiFi.begin(ssid, password);

  configTime(gmtOffset_sec,
             daylightOffset_sec,          ntpServer);

  Firebase.begin(&config, &auth);
}
```

Pada program di atas dilakukan proses inisialisasi perangkat keras dan koneksi sistem. Adapun fungsi dari program tersebut adalah sebagai berikut:

a. `Serial.begin(115200)` : Digunakan untuk mengaktifkan komunikasi serial antara ESP32 dan komputer.
b. `Serial2.begin()` : Digunakan untuk mengaktifkan komunikasi UART dengan sensor PMS5003T.
c. `pinMode()` : Digunakan untuk mengatur mode kerja LED dan buzzer sebagai output.
d. `lcd.init()` : Digunakan untuk menginisialisasi LCD.
e. `lcd.backlight()` : Digunakan untuk mengaktifkan lampu latar LCD.
f. `WiFi.begin()` : Digunakan untuk menghubungkan ESP32 ke jaringan Wi-Fi.
g. `configTime()` : Digunakan untuk sinkronisasi waktu dengan server NTP.
h. `Firebase.begin()` : Digunakan untuk menghubungkan ESP32 ke Firebase Realtime Database.

6. Pembacaan Data Sensor PMS5003T

Pembacaan data sensor dilakukan untuk memperoleh nilai konsentrasi PM1.0, PM2.5, dan PM10 dari sensor PMS5003T. Program pembacaan data sensor dapat dilihat pada Program dibawah ini.

```
if (readPMSData())
{
  pm1  = (0.4 * pm1) + (0.6 * rawPM1);
  pm25 = (0.4 * pm25) + (0.6 * rawPM25);
  pm10 = (0.4 * pm10) + (0.6 * rawPM10);
  pm1  = constrain(pm1, 0, 600);
  pm25 = constrain(pm25, 0, 600);
  pm10 = constrain(pm10, 0, 600);
}
```

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Pada program di atas dilakukan pembacaan dan pengolahan data yang diterima dari sensor PMS5003T. Adapun fungsi dari program tersebut adalah sebagai berikut:

a. `readPMSData()` : Digunakan untuk membaca data PM1.0, PM2.5, dan PM10 dari sensor PMS5003T.
b. pm1, pm25, dan pm10 : Digunakan untuk menyimpan hasil pengolahan data sensor.
c. Metode smoothing : Digunakan untuk mengurangi fluktuasi pembacaan sensor dengan menggabungkan data sebelumnya dan data terbaru.
d. `constrain()` : Digunakan untuk membatasi nilai pembacaan agar berada pada rentang 0–600 µg/m³.

7. Kalibrasi Data Sensor PMS5003T

Kalibrasi data sensor dilakukan untuk meningkatkan akurasi hasil pembacaan sensor PMS5003T, khususnya pada parameter PM2.5 dan PM10. Proses ini menggunakan persamaan regresi yang diperoleh dari hasil kalibrasi sehingga nilai yang dibaca sensor menjadi lebih mendekati nilai sebenarnya. Selain itu, dilakukan validasi terhadap hasil kalibrasi agar nilai yang dihasilkan tidak bernilai negatif sebelum digunakan pada proses pengolahan data selanjutnya. Program kalibrasi data sensor dapat dilihat pada Program di bawah ini.

```
// FUNGSI BACA SENSOR DENGAN KALIBRASI OFFSET
bool readPMSData()
{
  while (Serial2.available() > 32) { Serial2.read(); }
  if (Serial2.available() < 32) return false;
  if (Serial2.read() != 0x42) return false;
  if (Serial2.read() != 0x4D) return false;

  for (int i = 0; i < 30; i++)
  {
    unsigned long startWait = millis();
    while (!Serial2.available()) {
      if (millis() - startWait > 15) return false;
    }
    pmsBuffer[i] = Serial2.read();
  }

  rawPM1  = (pmsBuffer[8] << 8)  | pmsBuffer[9];

  int tempPM25 = ((pmsBuffer[10] << 8) | pmsBuffer[11]) - 43;
  int tempPM10 = ((pmsBuffer[12] << 8) | pmsBuffer[13]) - 16;
```

```
    rawPM25 = (tempPM25 < 0) ? 0 : tempPM25;
    rawPM10 = (tempPM10 < 0) ? 0 : tempPM10;

    return true;
}
```

Pada program di atas dilakukan proses pembacaan data dari sensor PMS5003T sekaligus proses kalibrasi terhadap nilai PM2.5 dan PM10 menggunakan metode *offset calibration*. Selain itu, program juga melakukan validasi data agar nilai hasil kalibrasi tidak bernilai negatif sebelum digunakan pada proses pengolahan data selanjutnya. Adapun fungsi dari setiap bagian program adalah sebagai berikut.

a. `bool readPMSData()` : Digunakan untuk mendeklarasikan fungsi pembacaan data sensor PMS5003T. Fungsi akan mengembalikan nilai **true** apabila proses pembacaan berhasil dan **false** apabila terjadi kesalahan.

b. `Serial2.available()` : Digunakan untuk memeriksa jumlah data yang tersedia pada komunikasi serial sebelum dilakukan proses pembacaan data sensor.

c. `while (Serial2.available() > 32) { Serial2.read(); }` : Digunakan untuk membersihkan *buffer* serial dengan menghapus data lama sehingga data yang diproses merupakan paket data terbaru dari sensor PMS5003T.

d. `Serial2.read()` : Digunakan untuk membaca setiap data yang dikirimkan oleh sensor PMS5003T melalui komunikasi UART.

e. `0x42` dan `0x4D` : Digunakan sebagai *header* paket data untuk memastikan bahwa data yang diterima berasal dari sensor PMS5003T dan memiliki format yang benar.

f. `pmsBuffer[i]` : Digunakan untuk menyimpan seluruh paket data hasil pembacaan sensor sebelum dilakukan proses pengolahan.

g. `millis()` dan `startWait` : Digunakan untuk memberikan batas waktu (*timeout*) selama proses pembacaan data. Apabila data tidak diterima dalam waktu yang ditentukan, proses pembacaan akan dihentikan.

h. `tempPM25` : Digunakan untuk menghitung nilai PM2.5 hasil kalibrasi dengan metode *offset calibration*, yaitu mengurangi nilai pembacaan sensor sebesar 43 µg/m³**.**

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

i. `tempPM10` : Digunakan untuk menghitung nilai PM10 hasil kalibrasi dengan metode *offset calibration*, yaitu mengurangi nilai pembacaan sensor sebesar 16 µg/m³**.**

j. `rawPM25` dan `rawPM10` : Digunakan untuk menyimpan hasil akhir kalibrasi PM2.5 dan PM10 serta melakukan validasi agar nilai yang dihasilkan tidak bernilai negatif. Apabila hasil kalibrasi kurang dari nol, maka nilai akan diubah menjadi 0 µg/m³**.**

k. `return false` : Digunakan untuk menghentikan proses pembacaan apabila paket data tidak lengkap, terjadi *timeout*, atau *header* paket data tidak sesuai.

l. `return true` : Digunakan untuk mengembalikan status bahwa proses pembacaan dan kalibrasi data sensor telah berhasil sehingga data dapat diproses pada tahap berikutnya.

8. Pengiriman Data ke Firebase

Pengiriman data ke Firebase dilakukan agar hasil pengukuran kualitas udara dapat ditampilkan secara real-time pada aplikasi Android. Program pengiriman data dapat dilihat pada Program dibawah ini.

```
FirebaseJson json;
json.set("pm1", cPM1);
json.set("pm25", cPM25);
json.set("pm10", cPM10);

json.set("status_pm1", s1);
json.set("status_pm25", s2);
json.set("status_pm10", s3);
json.set("status_dominan",
         statusDominanUtama);
Firebase.RTDB.updateNode(
    &fbdo,
    "/monitoring_udara",
    &json);
```

Pada program di atas dilakukan proses pengiriman data monitoring ke Firebase Realtime Database. Adapun fungsi dari program tersebut adalah sebagai berikut:

a. `FirebaseJson json` : Digunakan untuk membuat objek data dalam format JSON.

b. `json.set("pm1")` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM1.0.

c. `json.set("pm25")` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM2.5.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

d. `json.set("pm10")` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM10.
e. `status_pm1, status_pm25, status_pm10` : Digunakan untuk menyimpan status masing-masing parameter kualitas udara.
f. `status_dominan` : Digunakan untuk menyimpan status kualitas udara secara keseluruhan.
g. `updateNode()` : Digunakan untuk memperbarui data monitoring pada Firebase secara real-time.

9. Pengiriman Notifikasi

Program pengiriman notifikasi digunakan untuk memberikan informasi kepada pengguna ketika kualitas udara berada pada kondisi waspada atau tidak sehat. Program pengiriman notifikasi dapat dilihat pada Program dibawah ini.

```
FirebaseJson notif;
notif.set("title", titleText);
notif.set("message", bodyText);
notif.set("time", String(tgl));
notif.set("type", typeText);
notif.set("isRead", false);
Firebase.RTDB.pushJSON(
    &fbdo,
    "/notifications",
    &notif);
```

Pada program di atas dilakukan proses pembuatan dan pengiriman data notifikasi ke Firebase Realtime Database. Adapun fungsi dari program tersebut adalah sebagai berikut:

a. `FirebaseJson notif` : Digunakan untuk membuat objek notifikasi dalam format JSON.
b. `title` : Digunakan untuk menyimpan judul notifikasi.
c. `message` : Digunakan untuk menyimpan isi pesan notifikasi.
d. `time` : Digunakan untuk menyimpan waktu pengiriman notifikasi.
e. `type` : Digunakan untuk menyimpan jenis notifikasi.
f. `isRead` : Digunakan untuk menandai status notifikasi telah dibaca atau belum.
g. `pushJSON()` : Digunakan untuk menyimpan data notifikasi ke Firebase.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

10. Logika Pengiriman Notifikasi

Logika pengiriman notifikasi digunakan agar sistem tidak mengirimkan notifikasi secara berulang ketika kondisi kualitas udara tidak mengalami perubahan. Program logika pengiriman notifikasi dapat dilihat pada Program dibawah ini.

```
if (statusDominan !=
    statusDominanTerakhir)
{
  if (statusDominan ==
      "WASPADA" ||
      statusDominan ==
      "TDK SEHAT")
  {
    sendNotification(
        statusDominan);
  }

  statusDominanTerakhir =
     statusDominan;
}
```

Pada program di atas dilakukan pengecekan perubahan status kualitas udara. Adapun fungsi dari program tersebut adalah sebagai berikut:

a. `statusDominan` : Menyimpan kondisi kualitas udara saat ini.
b. `statusDominanTerakhir` : Menyimpan kondisi kualitas udara sebelumnya.
c. `Operator !=` : Digunakan untuk membandingkan perubahan status kualitas udara.
d. `sendNotification()` : Digunakan untuk mengirim notifikasi ke Firebase.
e. `statusDominanTerakhir = statusDominan` : Digunakan untuk memperbarui status terakhir setelah notifikasi dikirim.

11. Tampilan LCD

LCD digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran kualitas udara secara langsung. Program tampilan LCD dapat dilihat pada Program dibawah ini.

```
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.printf(
"PM1.0: %-3d %-9s",
(int)pm1,
s1.c_str());
```

Pada program di atas dilakukan proses penampilan data kualitas udara pada LCD 20×4. Adapun fungsi dari program tersebut adalah sebagai berikut:

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

a. `lcd.setCursor()` : Digunakan untuk menentukan posisi tampilan pada LCD.
b. `lcd.printf()` : Digunakan untuk menampilkan data pada LCD.
c. `pm1` : Digunakan untuk menampilkan nilai PM1.0.
d. `s1` : Digunakan untuk menampilkan status PM1.0.
e. Program yang sama juga digunakan untuk menampilkan nilai PM2.5 dan PM10 pada baris LCD berikutnya.

12. Pengendalian LED dan Buzzer

LED dan buzzer digunakan sebagai indikator peringatan dini kualitas udara. Program pengendalian LED dan buzzer dapat dilihat pada Program dibawah ini.

```
if (statusDominan ==
"TDK SEHAT")
{
digitalWrite(
LED_MERAH,
HIGH);

digitalWrite(
BUZZER_PIN,
HIGH);
}
```

Pada program di atas dilakukan pengendalian LED dan buzzer berdasarkan kondisi kualitas udara. Adapun fungsi dari program tersebut adalah sebagai berikut:

a. LED_MERAH : Digunakan sebagai indikator kondisi tidak sehat.
b. LED_KUNING : Digunakan sebagai indikator kondisi waspada.
c. BUZZER_PIN : Digunakan untuk mengendalikan buzzer.
d. `digitalWrite(HIGH)` : Digunakan untuk mengaktifkan LED atau buzzer.
e. `digitalWrite(LOW)` : Digunakan untuk menonaktifkan LED atau buzzer.
f. Pada kondisi waspada, LED kuning akan menyala dan buzzer berbunyi secara berkala.
g. Pada kondisi tidak sehat, LED merah akan menyala dan buzzer berbunyi secara terus-menerus.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

13. Penyimpanan Data Riwayat

Penyimpanan data riwayat dilakukan untuk merekam hasil pengukuran kualitas udara secara berkala ke dalam Firebase Realtime Database. Program penyimpanan data riwayat dapat dilihat pada Program dibawah ini.

```
FirebaseJson history;
history.set("pm1",
(int)pm1);
history.set("pm25",
(int)pm25);
history.set("pm10",
(int)pm10);
Firebase.RTDB.pushJSON(
&fbdo,
"/history_udara",
&history);
```

Pada program di atas dilakukan proses penyimpanan data kualitas udara ke Firebase Realtime Database. Adapun fungsi dari program tersebut adalah sebagai berikut:

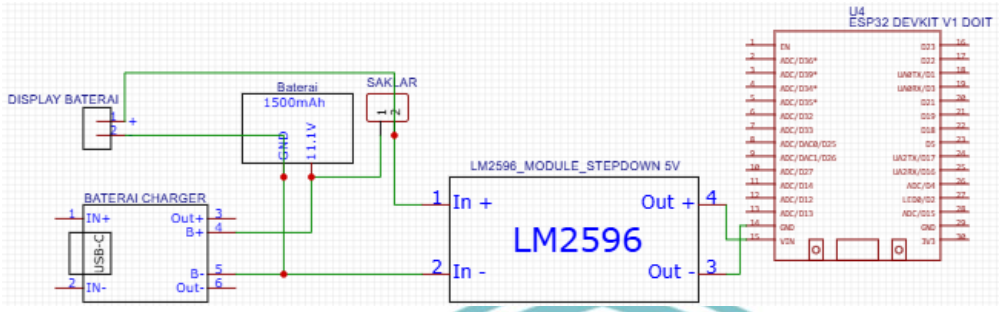
a. `FirebaseJson history` : Digunakan untuk membuat objek data riwayat dalam format JSON.
b. `history.set("pm1")` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM1.0.
c. `history.set("pm25")` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM2.5.
d. `history.set("pm10")` : Digunakan untuk menyimpan nilai PM10.
e. `pushJSON()` : Digunakan untuk menambahkan data riwayat ke Firebase.
f. `/history_udara` : Merupakan lokasi penyimpanan data riwayat pada Firebase Realtime Database.
g. Data riwayat disimpan secara berkala sehingga dapat digunakan untuk melihat perubahan kualitas udara dari waktu ke waktu melalui aplikasi Android.

3.3.3 Perancangan Baterai

Perancangan baterai dilakukan untuk menyediakan sumber daya portabel pada sistem peringatan dini kualitas udara. Sumber daya utama yang digunakan adalah baterai lithium-ion tipe 18650 dengan tegangan nominal 3,7 V. Baterai dihubungkan dengan modul charger untuk proses pengisian ulang, indikator baterai untuk memantau kapasitas daya, saklar ON/OFF sebagai pengendali sistem, serta modul step-down LM2596 untuk menyesuaikan tegangan yang dibutuhkan ESP32.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.9. Rancangan Sistem Catu Daya

Berdasarkan Gambar 3.9, tegangan dari baterai dialirkan menuju saklar ON/OFF kemudian masuk ke modul LM2596 melalui terminal input. Modul LM2596 digunakan untuk menurunkan dan menstabilkan tegangan keluaran sebelum disuplai ke ESP32 melalui pin VIN dan GND. Selain itu, indikator baterai dipasang secara paralel untuk menampilkan kapasitas baterai secara real-time.

Tabel 3.8. Komponen Perancangan Baterai

Komponen	Pin yang digunakan	Fungsi
Baterai Li-ion 18650	Terminal (+) dan (−)	Sumber daya utama sistem
Modul Charger	B+, B−	Mengisi ulang baterai
Indikator Baterai	Terminal (+) dan (−)	Menampilkan kapasitas baterai
Saklar ON/OFF	Input dan output	Menghubungkan dan memutus daya
LM2596	IN+, IN−, OUT+, OUT−	Menstabilkan tegangan keluaran
ESP32	VIN dan GND	Perangkat yang menerima suplai daya

Dengan rancangan tersebut, sistem dapat beroperasi secara portabel serta memperoleh suplai tegangan yang stabil sehingga mendukung kinerja ESP32 dalam proses pemantauan kualitas udara secara *real-time*.

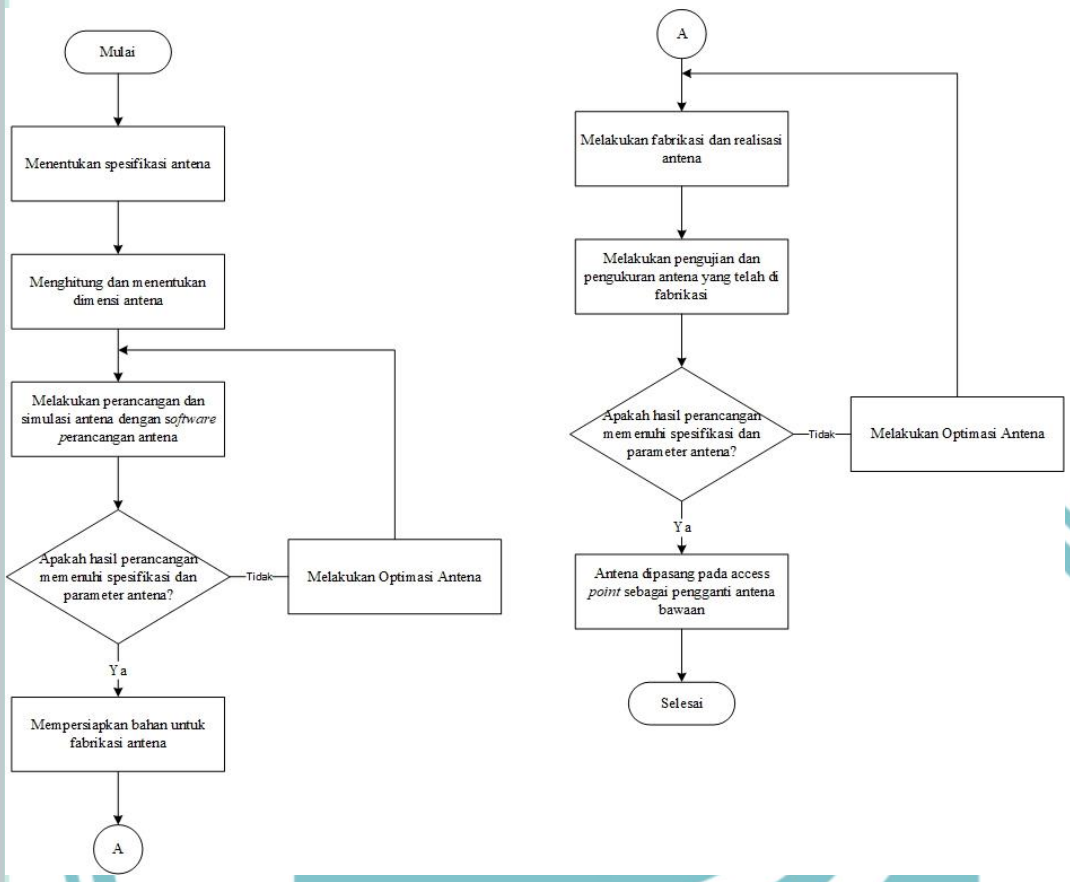
3.4 Perancangan Antena Mikrostrip *Triangular Patch Array* 1x2

3.4.1 Diagram Alir Perancangan Antena Mikrostrip *Triangular Patch Array* 1x2

Dalam merancang antena, diperlukan beberapa tahapan untuk memudahkan proses perancangan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1x2 untuk memudahkan dalam proses perancangan antena, yang di tunjukan pada Gambar 3.10.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



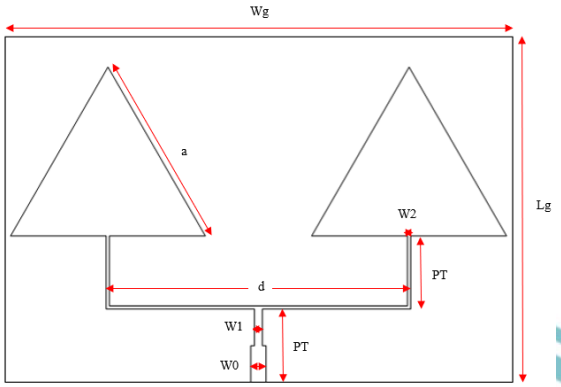
Gambar 3.10. Diagram alir perancangan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1x2

3.4.2 Menentukan Spesifikasi Antena

Langkah awal dalam melakukan perancangan antena adalah menentukan parameter dan spesifikasi antena yang akan digunakan sesuai dengan frekuensi kerja sebesar 2,4 GHz. Penentuan spesifikasi ini bertujuan agar antena yang dirancang dapat memenuhi kebutuhan sistem dan menghasilkan performa yang sesuai dengan target perancangan. Parameter yang ditentukan meliputi frekuensi kerja, nilai *return loss*, VSWR, gain, serta jenis substrat yang digunakan. Adapun spesifikasi antena dan substrat ditampilkan pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.11. Desain awal antena mikrostrip Triangular Patch Array 1×2

Berdasarkan spesifikasi yang telah ditentukan, dibuat desain awal antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2 sebagai acuan dalam proses perancangan dan simulasi. Desain awal tersebut terdiri dari dua buah patch berbentuk segitiga yang disusun dalam konfigurasi array 1×2 dan dihubungkan menggunakan saluran pencatu (*feed line*) dengan impedansi 50 Ω. Konfigurasi array dipilih untuk meningkatkan performa antena, terutama pada nilai gain, sehingga antena dapat digunakan sebagai pengganti antena bawaan access point.

Pada Gambar 3.11, parameter Wg dan Lg menunjukkan ukuran bidang ground, sedangkan a merupakan panjang sisi patch segitiga. Parameter d menyatakan jarak antar patch yang memengaruhi kopling antar elemen array. Selain itu, W0, W1, dan W2 merupakan lebar saluran pencatu yang digunakan untuk menyesuaikan impedansi, sedangkan PT menunjukkan panjang saluran pencatu menuju masing-masing patch. Seluruh dimensi tersebut masih merupakan desain awal yang selanjutnya akan dihitung berdasarkan persamaan perancangan antena mikrostrip dan kemudian dioptimasi menggunakan perangkat lunak CST Studio Suite.

Lalu dalam melakukan perancangan antena, diperlukan penentuan paramater dan spesifikasi substrat antena yang sesuai dengan frekuensi kerja yaitu 2.4 GHz. Penentuan paramater dan spesifikasi substrat antena, bertujuan agar antena yang dirancang dapat berfungsi dengan baik, sesuai yang diinginkan. Adapun paramater dan spesifikasi substrat antena yang dirancang, ditampilkan pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 3.9. Spesifikasi Antena.

Parameter	Spesifikasi
Frekuensi Kerja	2.4 Ghz
Return Loss	< -10 dB
VSWR	1 ≤ VSWR ≤ 2
Gain	≥ 5 dB
Bentuk Patch	Triangular 1x2

Pada Tabel 3.8 menunjukan parameter antena yang akan dirancang, memiliki spesifikasi frekuensi kerja 2.4 GHz, return loss bernilai kurang dari -10 dB. Nilai VSWR antena diharapkan memiliki nilai yang ideal yaitu kurang lebih sama dengan 1 hingga kurang lebih sama dengan 2. Nilai gain lebih besar sama dengan 5.

Tabel 3.10. Spesifikasi Substrat

Jenis Substrat	Spesifikasi
Bahan	FR-4 Epoxy
Konstanta Dielektrik Relatif	4.3
Ketebalan Substrat	1.6 mm
Ketebalan Konduktor	0.035 mm
Impedansi Bebas Saluran	50 Ohm

Pada Tabel 3.9, bahan substrat yang digunakan terbuat dari PCB yang berbahan FR-4 Epoxy, dengan nilai konstanta dielektrik relatif senilai 4.3 dengan ketebalan substrat 1.6 mm. Pada bagian ketebalan konduktor setebal 0.035 mm dengan impedansi beban saluran 50 Ohm.

3.5 Perhitungan Dimensi Patch Antena

Perhitungan dimensi antena dilakukan bertujuan agar antena yang dirancang, sesuai dengan spesifikasi dan parameter seperti pada Tabel 3.8 dan tabel 3.5. Perhitungan patch *triangular* dan saluran antena dijelaskan sebagai berikut:

a. Perhitungan Ukuran Patch *Triangular*

Bentuk patch yang akan di rancang pada antena mikrostrip ini, berbentuk patch *Triangular*. Untuk menentukan panjang sisi *triangular* (a) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.6):

$$a = \frac{2c}{(3)(f_0)(\sqrt{\varepsilon r})} = \frac{2\ (3x10^8 m/s)}{(3)(2{,}4x10^9)(\sqrt{4{,}3\ mm})} = 40\ mm$$

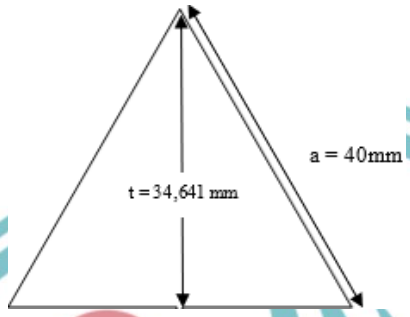
Setelah didapatkan nilai jari-jari *triangular* (r), maka dapat dihitung nilai tinggi *triangular* (t) dengan menggunakan persamaan (2.8).

$$tinggi = 0{,}5 \times 40\ mm \times \sqrt{3} = 34{,}641\ mm$$

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Setelah dilakukan perhitungan, hasil desain patch *triangular* dengan dimensi panjang sisi yang telah didapatkan berdasarkan perhitungan, dapat dilihat pada Gambar 3.12 yang merupakan desain antena dengan patch *triangular*.



Gambar 3.12. Dimensi patch triangular

b. Perhitungan Ukuran Saluran Mikrotrip

Untuk mendapatkan bentuk antena mikrostrip *triangular array*, maka perlu untuk menentukan ukuran saluran antena mikrostrip. Tujuan mengarray patch antena mikrostrip untuk mendapatkan gain antena yang lebih besar dibandingkan dengan patch tunggal.

Pada perancangan antena mikrostrip ini, jenis saluran transmisi yang akan digunakan adalah W0 = 50 Ω, W1 = 70,7 Ω dan W2 = 100 Ω dimana nilai besar masing-masing saluran dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

a) Besar Saluran Pencatu 50 Ω dapat dihitung menggunakan persamaan (2.17)

$$W_0 = \frac{2h}{\pi}\left((B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\varepsilon r - 1}{2\varepsilon r}(\ln(B - 1) + 0{,}39 - \frac{0{,}61}{\varepsilon r})\right)$$

$$W_0 = \frac{2(1{,}6\ mm)}{\pi}\left((5{,}711 - 1 - \ln(2 \times 5{,}711 - 1) + \frac{4{,}3 - 1}{2 \times 4{,}3}(\ln(5{,}711 - 1) + 0{,}39 - \frac{0{,}61}{4{,}3})\right)$$

$$W_0 = 1{,}01859((5{,}711 - 1 - 2{,}34392 + \frac{4{,}3 - 1}{2 \times 4{,}3}(1{,}5499 + 0{,}39 - \frac{0{,}61}{4{,}3}))$$

$$W_0 = 1{,}01859(3{,}05703) = 3{,}1138\ mm \sim 3{,}1\ mm$$

b) Besar Saluran Pencatu 70,7 Ω dapat dihitung menggunakan persamaan (2.18 dan 2.19)

$$Z_t = \sqrt{ZL\ x\ ZO} = \sqrt{50\Omega\ x\ 100\Omega} = 70{,}7\Omega$$

$$B_1 = \frac{60\pi^2}{70{,}7\Omega\sqrt{\varepsilon r}} = \frac{60\pi^2}{70{,}7\sqrt{4{,}3\ mm}} = 4{,}03922 \sim 4{,}04$$

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$W_1 = \frac{2h}{\pi}((B - 1 - ln(2B - 1) + \frac{\varepsilon r - 1}{2\varepsilon r}(ln(B - 1) + 0{,}39 - \frac{0{,}61}{\varepsilon r}))$$

$$W_1 = \frac{2(1{,}6\ mm)}{\pi}((4{,}04 - 1 - ln(2x\ 4{,}04 - 1) + \frac{4{,}3 - 1}{2\ x\ 4{,}3}(ln(4{,}04 - 1) + 0{,}39 - \frac{0{,}61}{4{,}3}))$$

$$W_1 = 1{,}01859((4{,}04 - 1 - 1{,}95727 + 0{,}38372(1{,}5499 + 0{,}39 - 0{,}14186))$$

$$W_1 = 1{,}6360mm \sim 1{,}64\ mm$$

c) Besar Saluran Pencatu 100 Ω dapat dihitung menggunakan persamaan (2.20 dan 2.21)

Zo = 2 x impedansi karakteristik = 2 x 50 Ω = 100 Ω

Hal ini dapat dibuktikan dari dua saluran dengan impedansi yang sama (100 Ω) yang di paralel kan menghasilkan:

$$\text{Zeq} = \frac{\text{Z x Z}}{\text{Z + Z}} = \frac{100\ \Omega \text{ x } 100\ \Omega}{100\ \Omega + 100\ \Omega} = 50\Omega$$

$$\text{B}_2 = \frac{60\pi^2}{100\Omega\sqrt{\varepsilon r}} = \frac{60\pi^2}{100\sqrt{4{,}3\ \text{mm}}} = 2{,}8557 \sim 2{,}86$$

$$\text{W}_2 = \frac{2\text{h}}{\pi}((\text{B} - 1 - \ln(2\text{B} - 1) + \frac{\varepsilon r - 1}{2\varepsilon r}(\ln(\text{B} - 1) + 0{,}39 - \frac{0{,}61}{\varepsilon r}))$$

$$\text{W}_2 = \frac{2(1{,}6\ \text{mm})}{\pi}((2{,}86 - 1 - \ln(2\text{x}\ 2{,}86 - 1) + \frac{4{,}3 - 1}{2\ \text{x}\ 4{,}3}(\ln(2{,}86 - 1) + 0{,}39 - \frac{0{,}61}{4{,}3}))$$

$$\text{W}_2 = 1{,}01859((2{,}86 - 1 - 1{,}55181 + 0{,}38372(0{,}62057 + 0{,}39 - 0{,}14186))$$

$$W_2 = 0{,}6540\ mm \sim 0{,}65\ mm$$

Setelah mendapatkan nilai lebar saluran, selanjutnya adalah menentukan panjang gelombang pada bahan dielektrik (λ_d) menggunakan persamaan (2.25):

$$\lambda_d = \frac{3 \times 10^8 m/s}{\frac{2{,}4 \times 10^8\ Hz}{\sqrt{4{,}31}mm}} = 59{,}59\ mm$$

Setelah mendapatkan λ_d maka panjang saluran transmisi (PT) dapat dihitung menggunakan persamaan (2.16)

$$PT = \frac{59{,}59mm}{4} = 15\ mm$$

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

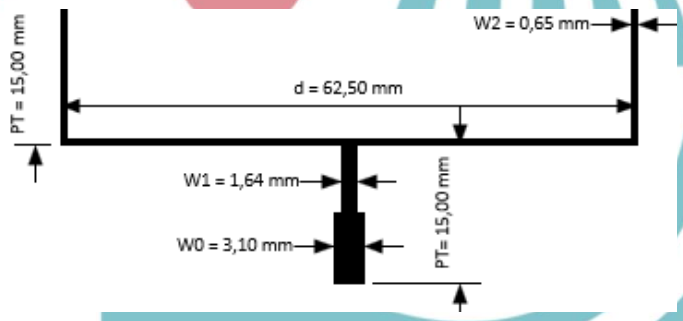
Setelah menghitung panjang saluran transmisi (PT) dilanjutkan menghitung panjang gelombang , menggunakan persamaan (2.25)

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3x10^8\ m/s}{2{,}4x10^9\ Hz} = 0{,}125m\ = 125\ mm$$

Setelah menghitung panjang gelombang (λ_0) dilanjutkan menghitung jarak antar elemen (d) menggunakan persamaan (2.24)

$$d = \frac{\lambda_0}{2} = \frac{125\ mm}{2} = 62{,}5\ mm$$

Bentuk desain saluran transmisi yang akan digunakan seperti diperlihatkan pada Gambar 3.13.



Gambar 3.13. Dimensi saluran pencatu

Berikutnya menentukan ukuran groundplane ($W_g\ dan\ L_g$) menggunakan persamaan berikut ini:

a) $W_g\ dan\ L_g$ dapat dihitung menggunakan persamaan (2.12) dan (2.13)

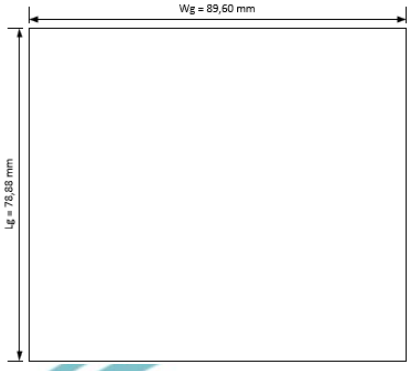
$$W_g = 6(h) + a = 6(1.6\ mm) + 2(40\ mm) = 89{,}6\ mm$$

$$L_g = 6(h) + t = 6(1.6\ mm) + 2(34{,}641\ mm) = 78{,}882\ mm$$

Bentuk desain groundplane untuk antena yang akan digunakan seperti diperlihatkan pada Gambar 3.14.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



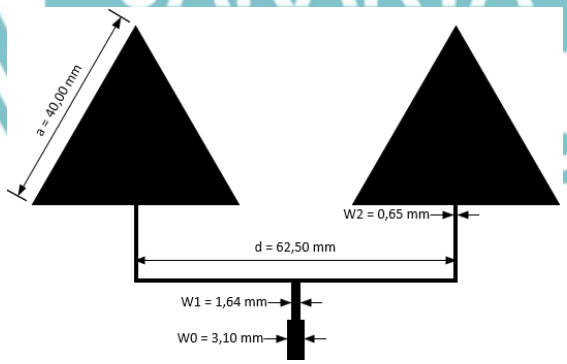
Gambar 3.14. Dimensi ground antena

Hasil perhitungan elemen antena diatas selanjutnya diringkas dan disusun kembali dalam bentuk tabel, seperti yang ditunjukan pada Tabel 3.10.

Tabel 3. 11. Parameter awal simulasi antena *triangular*

Parameter	Nilai	Keterangan
h	1.6 mm	Tebal substrat
t	0.035 mm	Tebal konduktor
wg	89,6 mm	Lebar Ground
lg	78,88 mm	Panjang Ground
a	40 mm	Panjang Efektif Segitiga
W0	3,1 mm	Saluran transmisi 50 Ω
W1	1.64 mm	Saluran transmisi 70.7 Ω
W2	0.65 mm	Saluran transmisi 100 Ω
PT	15 mm	Panjang Saluran Transmisi
d	62.5 mm	Jarak antar elemen

Tabel 3.10 menunjukan parameter awal antena yang akan digunakan sebagai acuan dalam merancang dan melakukan simulasi antena dengan menggunakan software CST Studio Suite 2019. Dapat dilihat pada Gambar 3.15 menunjukan hasil desain antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2.



Gambar 3.15. Desain awal antena *array triangular* 1x2

Gambar 3.15 memperlihatkan desain antena yang akan disimulasikan menggunakan software CST 2019, untuk melihat nilai parameter kerja antena yang

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

baik sesuai dengan syarat parameter yang akan diiginkan, sebelum dilakukan fabrikasi.

3.6 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip *Triangular Patch*

Simulasi antena dilakukan dengan memasukkan nilai-nilai parameter dimensi antena ke dalam tabel parameter software CST Studio Suite 2019, yang bertujuan agar spesifikasi dan ukuran antena yang dirancang sesuai dengan nilai pada parameter yang dapat dilihat pada Tabel 3.8 dan 3.9. Sebelum melakukan simulasi pada antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2 dengan antena mikrostrip 1 patch. Tabel 3.11 menunjukan nilai parameter antena patch triangular yang akan disimulasikan menggunakan software CST, di mana desain yang akan digunakan seperti pada Gambar 3.12 antena *patch triangular*.

Tabel 3.12. Parameter awal simulasi antena *triangular*

Parameter	Spesifikasi (mm)	Keterangan
h	1,6	Tebal substrat
t	0,035	Tebal konduktor
Lg	78,88	Panjang ground
Wg	89,6	Lebar ground
LT	3,1	Lebar saluran transmisi
PT	15	Panjang saluran transmisi
a	40	Panjang sisi segitiga

Tabel 3.11 menunjukan parameter awal antena yang akan digunakan sebagai acuan dalam merancang dan melakukan simulasi antena dengan menggunakan *software* CST Studio Suite 2019.

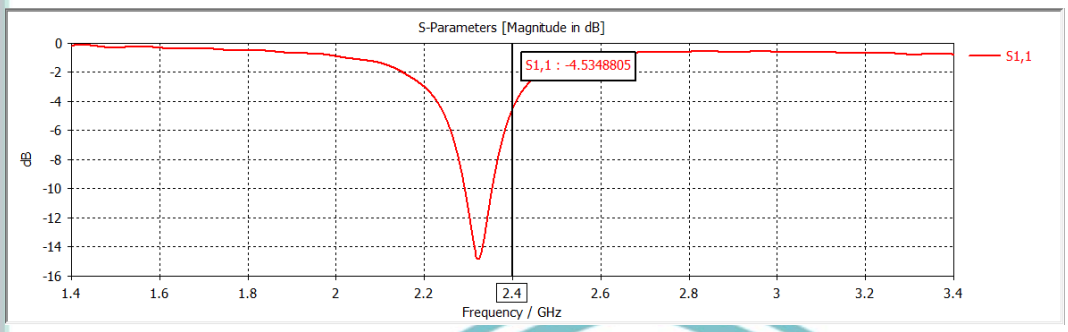
Dalam merancang dan melakukan simulasi antena menggunakan *software* CST Studio Suite 2019, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menunjukan parameter awal antena yang akan digunakan sebagai acuan.

a. Hasil Simulasi Parameter *Return Loss Triangular*

Semakin kecil nilai return loss yang didapatkan maka akan semakin baik performansi antena nya. Dapat dilihat pada Gambar 3.16 menunjukan return loss yang dihasilkan pada simulasi awal.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

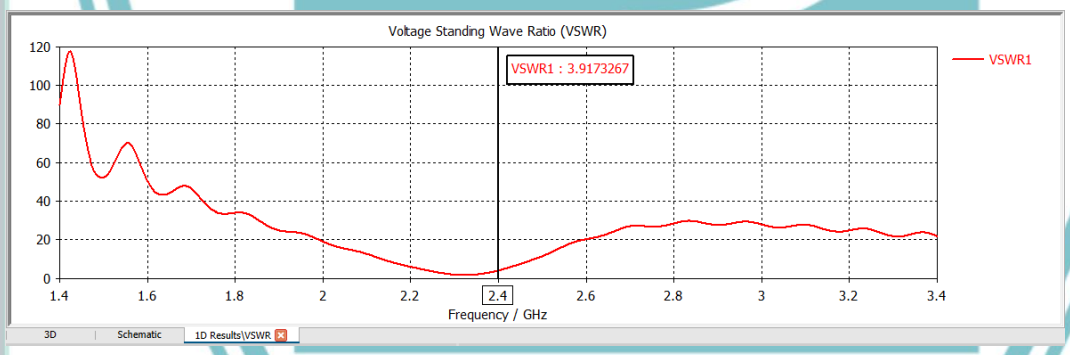


Gambar 3.16. Return Loss Triangular sebelum di optimasi

Gambar 3.16 menunjukan nilai retun loss yang didapatkan adalah -4,354. Hasil yang didapatkan tidak memenuhi syarat parameter yang sudah ditentukan yaitu ≤ 10dB. Hasil tersebut tidak dikatakan baik dimana frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 2,4 GHz. Nilai tersebut belum memenuhi spesifikasi antena sehingga perlu dilakukan optimasi agar didapatkan return loss yang lebih baik.

b. Hasil Simulasi Parameter VSWR Triangular

Nilai yang dihasilkan pada VSWR merupakan penentu matching atau tidaknya antena dengan saluran pencatu. Dapat dilihat pada Gambar 3.17 menunjukkan VSWR yang dihasilkan pada simulasi awal.



Gambar 3.17. VSWR Sebelum dioptimasi

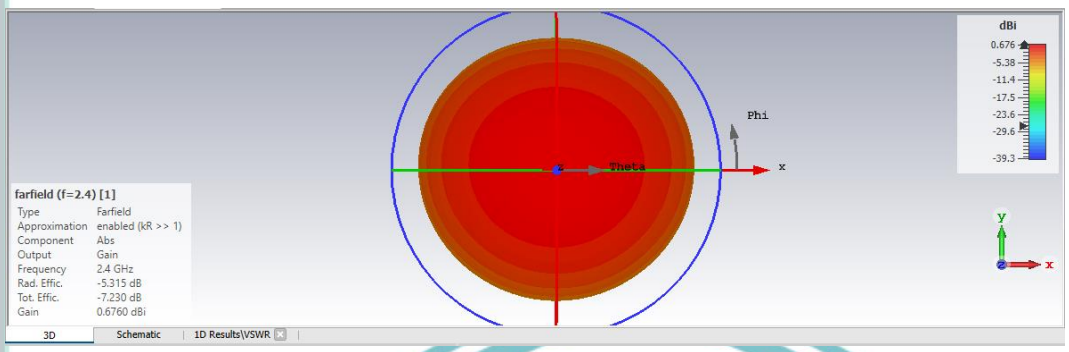
Gambar 3.17 menunjukkan VSWR antena mikrostrip *triangular patch* yaitu sebesar VSWR yang dihasilkan pada frekuensi 2.4 Ghz yaitu 3,91. Hasil yang didapati belum memenuhi syarat dimana VSWR < 2.

c. Hasil Simulasi Parameter Gain Triangular

Gain yang dihasilkan pada simulasi merupakan gambaran perkiraan kekuatan daya pancar sinyal yang dihasilkan antena mikrostrip. Dapat dilihat pada Gambar 3.18 menunjukkan gain yang dihasilkan pada simulasi awal.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

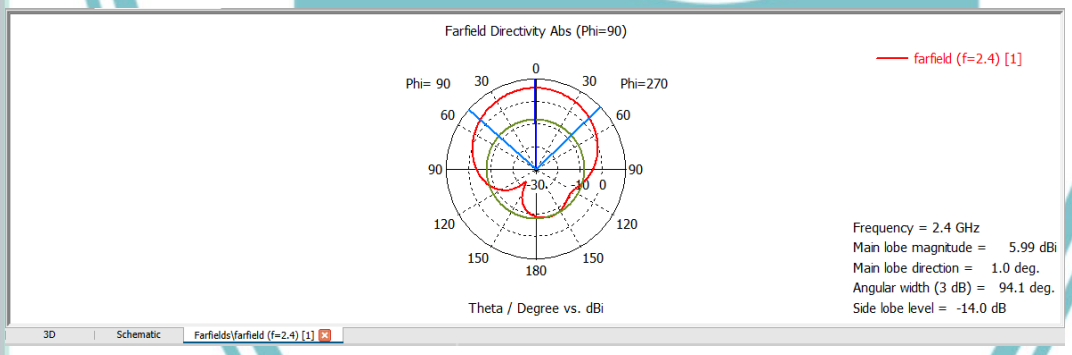


Gambar 3.18.Gain Triangular Sebelum dioptimasi

Gambar 3.18 menunjukkan gain antena mikrostrip 1 patch yaitu gain yang dihasilkan sebesar 0.676 dBi, dimana dalam hal ini tidak memenuhi persyaratan parameter dimana gain ≥ 5 dBi sehingga perlu dioptimasi kembali agar menghasilkan penguatan sinyal yang lebih baik ketika direalisasikan.

d. Hasil Simulasi Parameter Pola Radiasi Triangular

Pola radiasi menggambarkan sifat radiasi suatu antena pada medan jauh sebagai fungsi arah dimana berdasarkan hasil simulasi didapatkan pola radiasi direksional. Dapat dilihat pada Gambar 3.19 menunjukkan pola radiasi yang ditampilkan pada simulasi awal.



Gambar 3.19. Pola radiasi Triangular sebelum dioptimasi

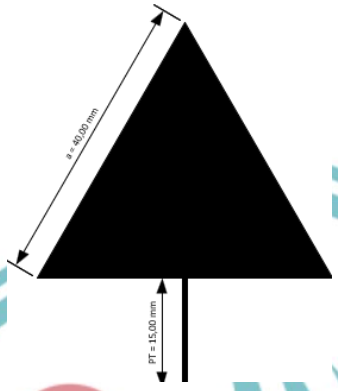
Gambar 3.19 Menunjukkan Pola Radiasi pada Bidang Horizontal (azimut) dimana untuk frekuensi 2,4 GHz lebar beamwidth sebesar 94,1° dengan daya main lobe sebesar 5,99 dB pada sudut 1°.

Berdasarkan data pada simulasi tersebut, dapat diketahui nilai yang dihasilkan untuk return loss, VSWR, dan gain belum memenuhi spesifikasi antena yang diharapkan sehingga perlu dilakukan optimasi agar mendapatkan hasil yang

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sesuai. Gambar 3.20 memperlihatkan antena *patch triangular* sebelum dilakukan optimasi.



Gambar 3.20. *Patch Triangular* Sebelum Optimasi

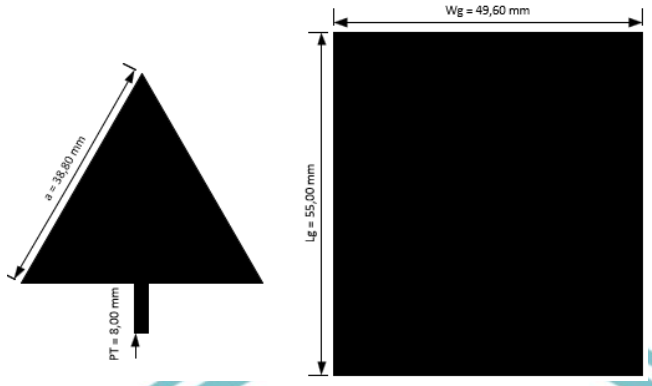
Gambar 3.20 memperlihatkan antena *patch triangul*ar sebelum optimasi, berdasarkan hasil simulasi nilai parameter yang digunakan masih belum sesuai spesifikasi sehingga harus dilakukan optimasi. Parameter *return loss* yang didapatkan -4,354, vswr 3,91, dan gain 0.676 dBi. Sesuai dengan hasil simulasi yang didapatkan tidak sesuai dengan spesifikasi yang sudah ditentukan seperti yang ada pada Tabel 3.8 dan 3.9.

3.5 Hasil Optimasi Antena Mikrostrip *Triangular Patch*

Optimasi dilakukan dengan cara mengubah dimensi atau nilai parameter antena hingga mendapatkan hasil simulasi yang memenuhi spesifikasi. Berdasarkan beberapa kali optimasi yang telah dilakukan, dapat diketahui bagian-bagian yang mempengaruhi parameter spesifikasi antena, seperti perubahan nilai pada ground berpengaruh terhadap nilai direktivitas yang dihasilkan, sedangkan ukuran lebar dan panjang saluran pencatu, patch berpengaruh terhadap nilai return loss, VSWR dan gain. Karena begitu banyak simulasi optimasi yang dilakukan, maka dapat dilihat pada Tabel 3.8 menunjukkan perbandingan parameter dimensi awal antena sebelum optimasi dan optimasi akhir.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.21. Dimensi antena *triangular* setelah optimasi

Berdasarkan Gambar 3.21 terlihat bahwa beberapa parameter antena mengalami perubahan dimensi untuk memperoleh performansi yang lebih baik pada frekuensi kerja 2,4 GHz. Hasil optimasi selanjutnya dibandingkan dengan dimensi awal antena seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.12.

Tabel 3.12. menunjukkan perbandingan dimensi antena sebelum dan sesudah proses optimasi.

Tabel 3.13. Perbandingan Dimensi Antena *Triangular patch array* 1x2 Sebelum dan Sesudah Optimasi

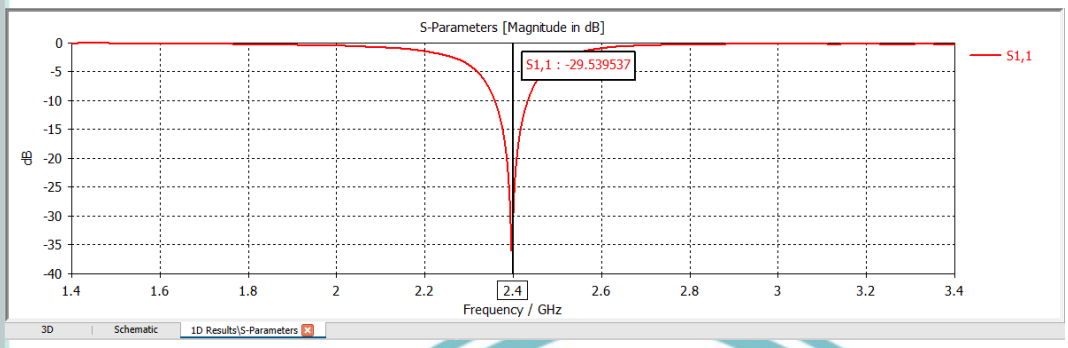
Parameter	Sebelum Optimasi (mm)	Setelah Optimasi (mm)	Keterangan
Wg	49,6	42	Lebar ground
Lg	55	54	Panjang ground
PT	15	8	Panjang saluran transmisi 50 Ω
LT	3,1	2,20	Lebar saluran transmisi 50 Ω
a	40	38.80	Panjang sisi segitiga

a. Hasil Pengujian Return Loss Setelah Optimasi

Nilai dari return loss berbanding lurus dengan VSWR dimana semakin kecil nilai yang dihasilkan maka akan semakin baik pula performansi antena. Dapat dilihat pada Gambar 3.22 menunjukkan return loss yang dihasilkan pada simulasi awal.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

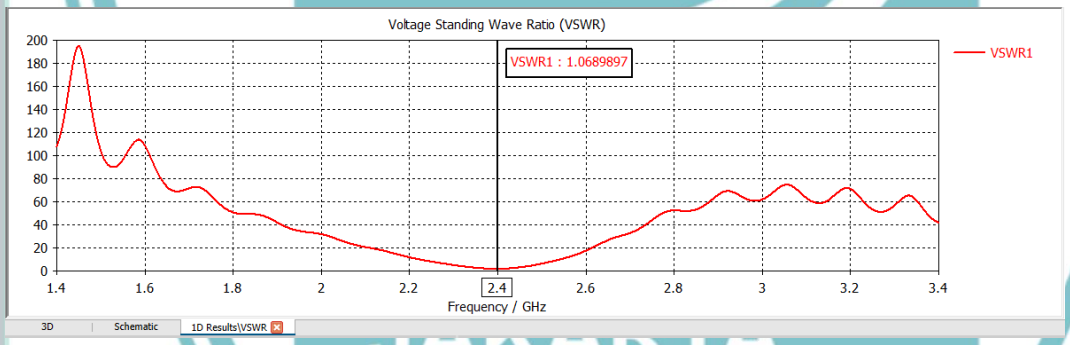


Gambar 3.22. Hasil optimasi return loss

Gambar 3.22 Menunjukan nilai return loss yang dihasilkan adalah tampak Nilai return loss yang dihasilkan adalah -29,539, yang telah memenuhi syarat dimana nilai Return Loss ≤10 dB. Hasil tersebut sudah dikatakan baik dimana frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 2,4 GHz.

b. Hasil Pengujian VSWR Setelah Optimasi

Nilai yang dihasilkan pada VSWR merupakan penentu matching atau tidaknya antena dengan saluran pencatu. Dapat dilihat pada Gambar 3.23 menunjukkan VSWR yang dihasilkan setelah optimasi.



Gambar 3.23. Hasil Optimasi VSWR

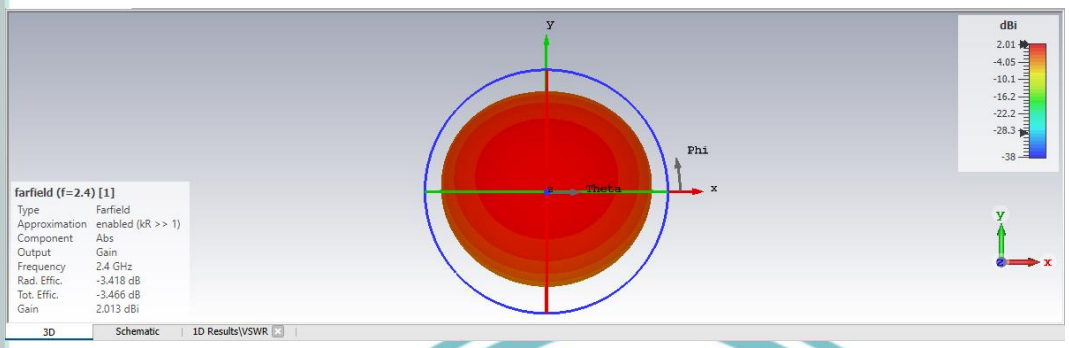
Gambar 3.23 menunjukkan VSWR antena mikrostrip triangular. Nilai VSWR yang dihasilkan pada frekuensi 2.4 Ghz yaitu 1.068. Hasil yang didapati sangat baik dan sudah memenuhi syarat dimana VSWR < 2.

c. Hasil Pengujian Gain Setelah Optimasi

Gain yang dihasilkan pada simulasi merupakan gambaran perkiraan kekuatan daya pancar sinyal yang dihasilkan antena mikrostrip. Dapat dilihat pada Gambar 3.24 menunjukkan gain yang dihasilkan setelah dilakukannya optimasi.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

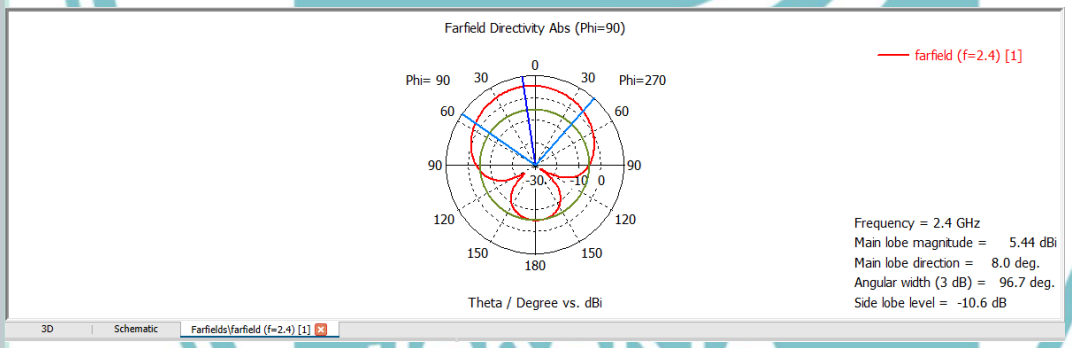


Gambar 3.24. Hasil Optimasi Gain

Gambar 3.24 menunjukkan gain antena mikrostrip yang dihasilkan sebesar 2.013 dBi, dimana dalam hal ini tidak memenuhi persyaratan parameter dimana gain ≥ 5 dBi.

d. Hasil Pengujian Pola Radiasi Setelah Optimasi

Pola radiasi menggambarkan sifat radiasi suatu antena pada medan jauh sebagai fungsi arah dimana berdasarkan hasil simulasi didapatkan pola radiasi unidireksional. Dapat dilihat pada Gambar 3.25 menunjukkan pola radiasi yang ditampilkan pada simulasi awal.



Gambar 3.25. Hasil Pola Radiasi Setelah Optimasi

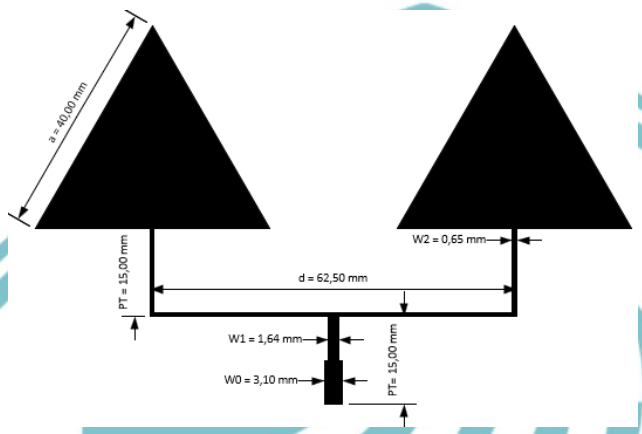
Gambar 3.25 menunjukkan pola radiasi pada bidang horizontal (azimut), dimana pada frekuensi 2,4 GHz diperoleh lebar *beamwidth* sebesar 96,7° dengan daya *main lobe* sebesar 95,44 dBi pada sudut 8.0°. Selain itu diperoleh nilai *side lobe level* sebesar -10,6 dB yang menunjukkan bahwa sebagian besar energi radiasi terpusat pada lobus utama. Berdasarkan hasil tersebut, antena mikrostrip *Triangular Patch* memiliki karakteristik radiasi directional sehingga pancaran sinyal lebih terfokus pada arah tertentu.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.7 Hasil Simulasi Antena Mikrostrip *Triangular Patch Array* 1x2

Setelah dilakukan simulasi pada antena mikrostrip 1 patch, hasil parameter yang dihasilkan masih tidak memenuhi dari parameter antena yang diinginkan. Untuk itu, maka dilakukan teknik array pada antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2. Berikut Gambar 3.26. Desain Antena Patch Array.



Gambar 3.26. Desain awal antena patch array sebelum optimasi

Simulasi antena dilakukan dengan memasukkan nilai-nilai parameter dimensi antena ke dalam tabel parameter software CST Studio Suite 2019 agar spesifikasi dan ukuran antena yang dirancang sesuai dengan nilai yang telah didapatkan seperti dapat dilihat pada Tabel 3.13.

Tabel 3.14. Parameter awal antena *triangular array* 1x2 sebelum optimasi

Parameter	Spesifikasi (mm)	Keterangan
h	1,6	Tebal Substrat
t	0,035	Tebal konduktor
Wg	89,6	Lebar Ground
Lg	78,88	Panjang Ground
PT	15	Panjang saluran transmisi
W0	3,1	Lebar saluran transmisi 50 Ω
W1	1,64	Lebar saluran transmisi 70,7 Ω
W2	0,65	Lebar saluran transmisi 100 Ω
a	40	Panjang sisi segitiga
d	62,5	Jarak antar elemen

Tabel 3.13 menunjukkan parameter awal antena yang akan digunakan sebagai acuan dalam merancang dan melakukan simulasi antena dengan menggunakan software CST Studio Suite 2019.

Dalam merancang dan melakukan simulasi antena menggunakan software CST Studio Suite 2019, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menunjukkan parameter awal antena yang akan digunakan sebagai acuan. Setelah simulasi

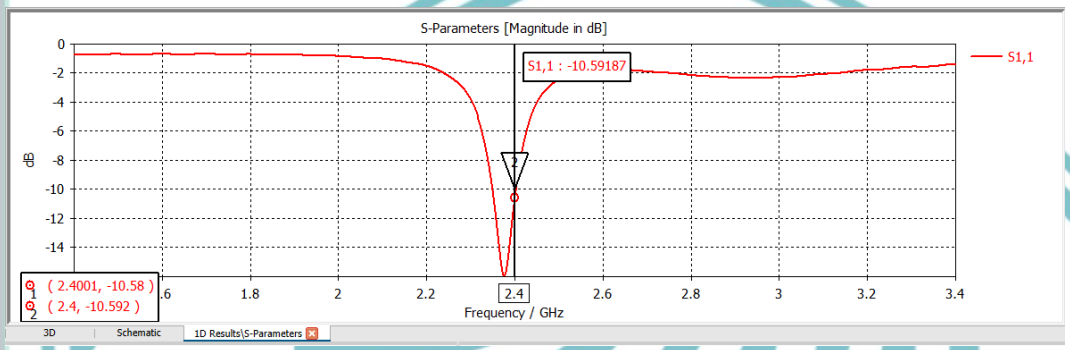
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

selesai, salah satu hasil yang penting untuk dievaluasi adalah parameter return loss antena tersebut.

a. Hasil Pengujian Simulasi Return Loss

Return loss berbanding lurus dengan VSWR dimana semakin kecil nilai yang dihasilkan maka akan semakin baik pula performansi antena. Dapat dilihat pada Gambar 3.27 menunjukkan return loss yang dihasilkan pada simulasi awal.

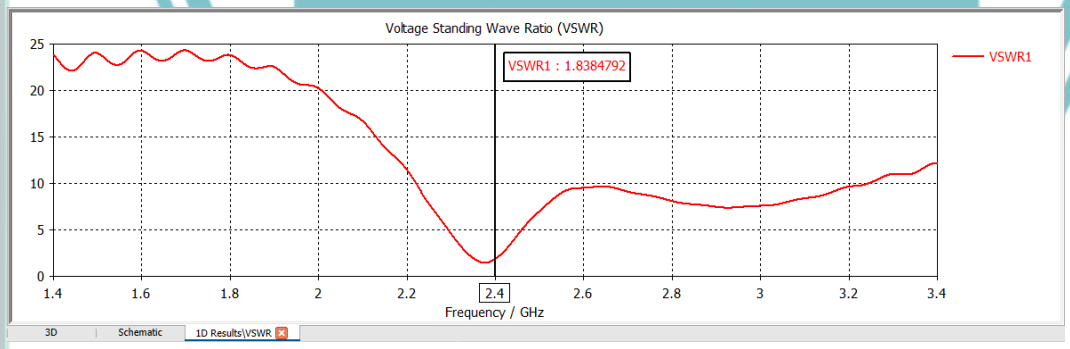


Gambar 3.27. hasil simulasi return loss

Gambar 3.27 Menunjukan nilai return loss yang dihasilkan adalah tampak Nilai return loss yang dihasilkan adalah -10,59187. Hasil yang didapatkan memenuhi syarat parameter yang sudah ditentukan yaitu ≤ 10dB.

b. Hasil Pengujian Simulasi VSWR

Nilai yang dihasilkan pada VSWR merupakan penentu matching atau tidaknya antena dengan saluran pencatu. Dapat dilihat pada Gambar 3.28 menunjukkan VSWR yang dihasilkan pada simulasi awal.



Gambar 3.28. Hasil simulasi VSWR

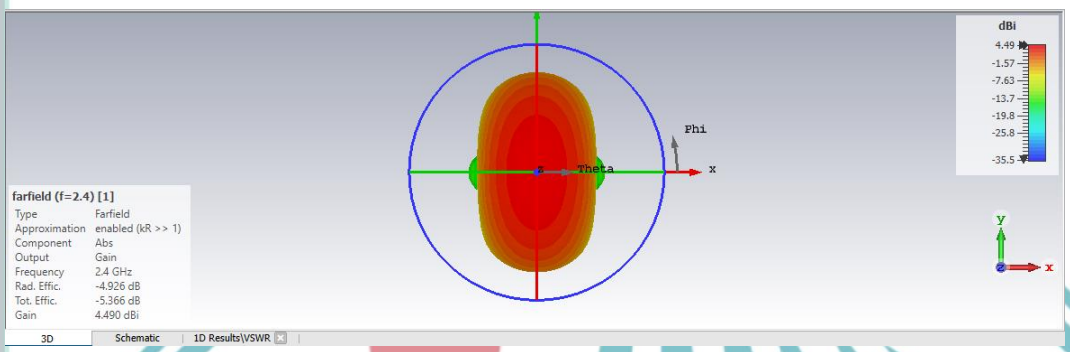
Gambar 3.28 menunjukkan VSWR antena mikrostrip sebesar yang dihasilkan pada frekuensi 2.4 Ghz yaitu 1.838. Hasil yang didapati sudah memenuhi syarat dimana nilai VSWR kurang dari sama dengan 2 (≤ 2). Namun, masih diperlukan optimasi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

c. Hasil Pengujian Simulasi Gain

Gain yang dihasilkan pada simulasi merupakan gambaran perkiraan kekuatan daya pancar sinyal yang dihasilkan antena mikrostrip. Dapat dilihat pada Gambar 3.29 menunjukkan gain yang dihasilkan pada simulasi awal.

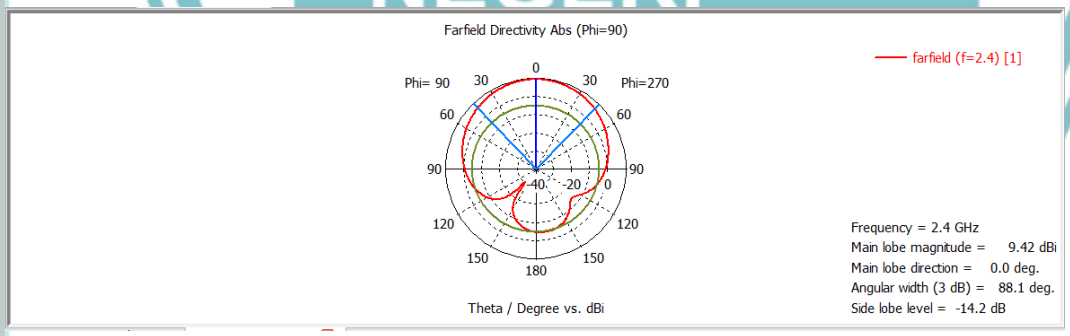


Gambar 3.29. Hasil simulasi Gain

Gambar 3.29 menunjukkan gain antena mikrostrip 1 patch yaitu gain yang dihasilkan sebesar 4,490 dBi, dimana dalam hal ini tidak memenuhi persyaratan parameter dimana gain ≥ 5 dBi sehingga perlu dioptimasi kembali agar menghasilkan penguatan sinyal yang lebih baik ketika direalisasikan.

d. Hasil Pengujian Simulasi Pola Radiasi

Pola radiasi menggambarkan sifat radiasi suatu antena pada medan jauh sebagai fungsi arah dimana berdasarkan hasil simulasi didapatkan pola radiasi direksional. Dapat dilihat pada Gambar 3.30 menunjukkan pola radiasi yang ditampilkan pada simulasi awal.



Gambar 3.30. Hasil simulasi Pola Radiasi

Gambar 3.30 menunjukkan pola radiasi antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2 pada frekuensi 2,4 GHz. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh lebar beamwidth (*angular width*) sebesar 88,1° dengan daya *main lobe* sebesar 9,42 dBi pada sudut 0°. Pola radiasi yang dihasilkan bersifat directional karena energi

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

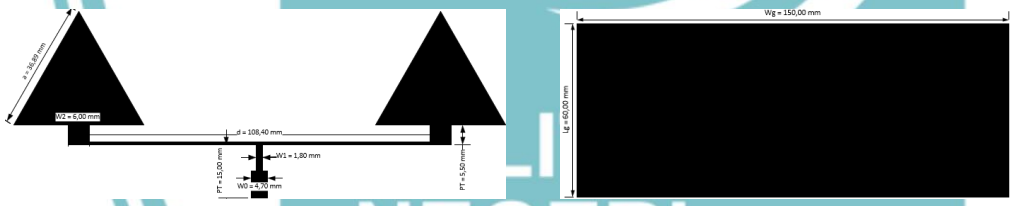
Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

radiasi lebih terfokus pada satu arah pancaran utama. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa antena mampu memfokuskan daya pancar ke arah tertentu sehingga dapat meningkatkan kualitas komunikasi data pada sistem yang dirancang.

3.8 Optimasi Antena Mikrostrip *Triangular Patch Array* 1x2

Setelah dilakukan simulasi menggunakan dimensi hasil perhitungan awal, diperoleh karakteristik antena yang belum sepenuhnya memenuhi spesifikasi yang diinginkan pada frekuensi kerja 2,4 GHz. Oleh karena itu dilakukan proses optimasi dengan mengubah beberapa parameter dimensi antena untuk memperoleh nilai *return loss*, VSWR, *gain*, dan pola radiasi yang lebih baik.

Proses optimasi dilakukan secara bertahap menggunakan perangkat lunak CST Studio Suite 2019 dengan mengubah dimensi *groundplane*, saluran pencatu (*feedline*), serta jarak antar elemen antena. Parameter yang dioptimasi meliputi panjang *groundplane* (Lg), lebar *groundplane* (Wg), panjang saluran pencatu (PT), jarak antar elemen (d), lebar saluran pencatu utama (W0), lebar saluran pencatu cabang (W1), dan lebar saluran pencatu array (W3).



Gambar 3.31. Dimensi antena *triangular array* 1x2 setelah proses optimasi

Berdasarkan Gambar 3.31 terlihat bahwa beberapa parameter antena mengalami perubahan dimensi untuk memperoleh performansi yang lebih baik pada frekuensi kerja 2,4 GHz. Hasil optimasi selanjutnya dibandingkan dengan dimensi awal antena seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.9.

Tabel 3.14. menunjukkan perbandingan dimensi antena sebelum dan sesudah proses optimasi.

Tabel 3.15. Perbandingan Dimensi Antena *Triangular patch array* 1x2 Sebelum dan Sesudah Optimasi

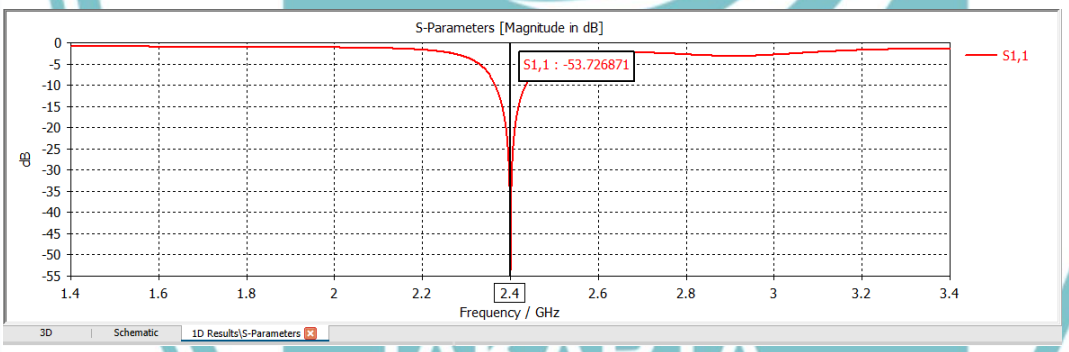
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Parameter	Sebelum Optimasi (mm)	Setelah Optimasi (mm)	Keterangan
Wg	89,6	150	Lebar ground
Lg	78,88	60	Panjang ground
PTW0	7,5	7,5	Panjang saluran transmisi 50 Ω
PTW1	7,5	7,5	Panjang saluran transmisi 70,7 Ω
PTW2	15	5,5	Panjang saluran transmisi 100 Ω
d	62,5	102,4	Jarak antar elemen
W0	3,1	4,7	Lebar saluran transmisi 50 Ω
W1	1,64	1,8	Lebar saluran transmisi 70,7 Ω
W2	7,5	6,0	Lebar saluran transmisi 100 Ω

a. Hasil Pengujian Return Loss Setelah Optimasi

Return loss berbanding lurus dengan VSWR dimana semakin kecil nilai yang dihasilkan maka akan semakin baik pula performansi antena. Dapat dilihat pada Gambar 3.32 menunjukkan return loss yang dihasilkan setelah proses optimasi.



Gambar 3.32. Hasil Simulasi return loss setelah optimasi

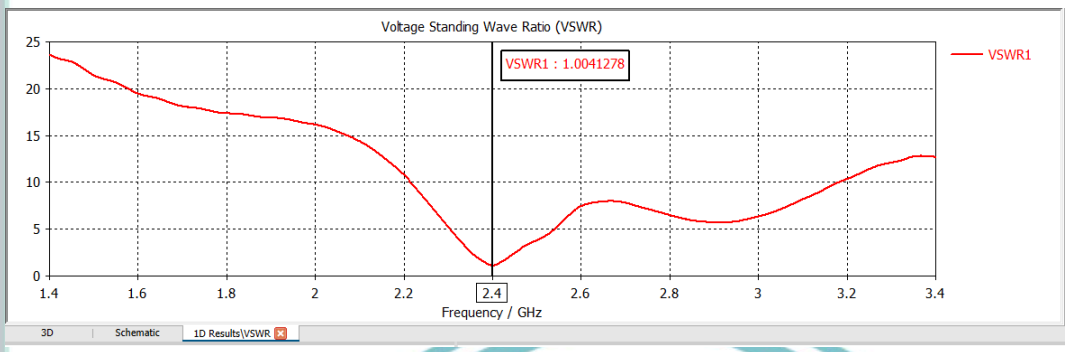
Gambar 3.32 Menunjukan nilai retrun loss yang dihasilkan adalah tampak Nilai return loss yang dihasilkan adalah -53,726871, yang telah memenuhi syarat dimana nilai Return Loss ≤10 dB. Hasil tersebut sudah dikatakan baik dimana frekuensi kerja berada pada frekuensi kerja yang diinginkan yaitu 2,4 GHz.

b. Hasil Pengujian VSWR Setelah Optimasi

Nilai yang dihasilkan pada VSWR merupakan penentu matching atau tidaknya antena dengan saluran pencatu. Dapat dilihat pada Gambar 3.33 menunjukkan VSWR yang dihasilkan setelah optimasi.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

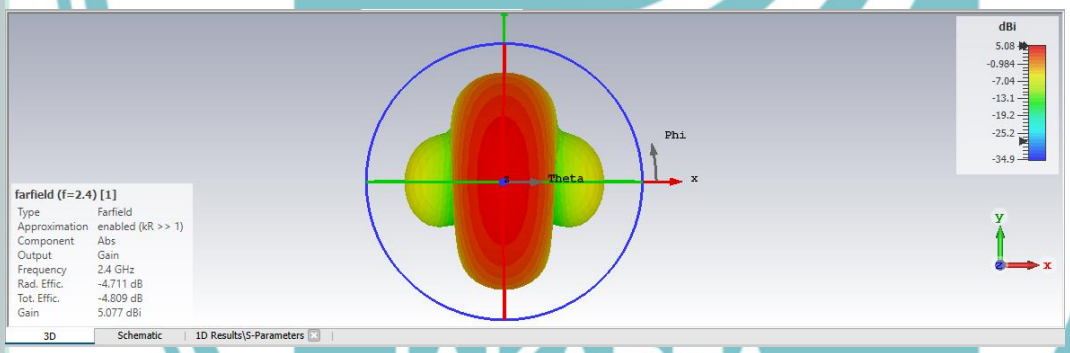


Gambar 3.33. Hasil Simulasi VSWR setelah optimasi

Gambar 3.33 menunjukkan VSWR antena mikrostrip triangular. Nilai VSWR yang dihasilkan pada frekuensi 2.4 Ghz yaitu 1.004. Hasil yang didapati sangat baik dan sudah memenuhi syarat dimana VSWR < 2.

c. Hasil Pengujian Gain Setelah Optimasi

Gain yang dihasilkan pada simulasi merupakan gambaran perkiraan kekuatan daya pancar sinyal yang dihasilkan antena mikrostrip. Dapat dilihat pada Gambar 3.34 menunjukkan gain yang dihasilkan setelah dilakukannya optimasi.



Gambar 3.34. Hasil Simulasi gain setelah optimasi

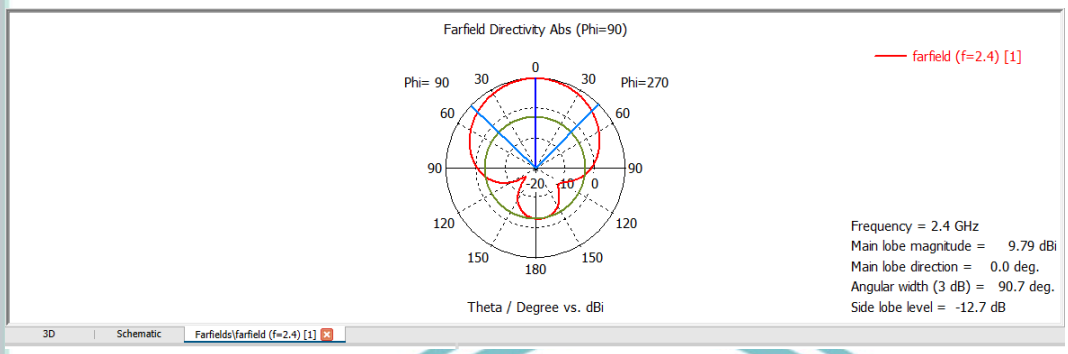
Gambar 3.34 menunjukkan gain antena mikrostrip yang dihasilkan sebesar 5.077 dBi, dimana dalam hal ini sudah memenuhi persyaratan parameter dimana gain ≥ 5 dBi.

d. Hasil Pengujian Pola Radiasi Setelah Optimasi

Pola radiasi menggambarkan sifat radiasi suatu antena pada medan jauh sebagai fungsi arah dimana berdasarkan hasil simulasi didapatkan pola radiasi unidireksional. Dapat dilihat pada Gambar 3.35 menunjukkan pola radiasi yang ditampilkan pada simulasi awal.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 3.35. Hasil Simulasi pola radiasi setelah optimasi

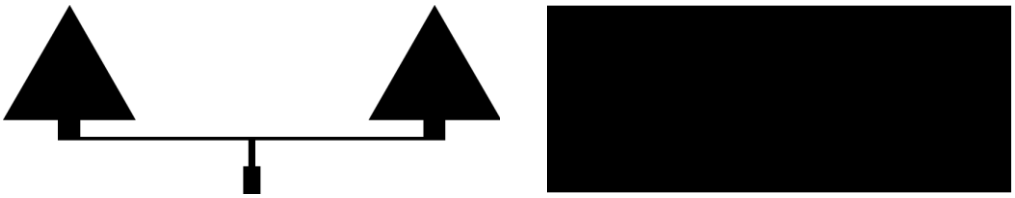
Gambar 3.35 menunjukkan pola radiasi pada bidang horizontal (azimut), dimana pada frekuensi 2,4 GHz diperoleh lebar *beamwidth* sebesar 90,7° dengan daya *main lobe* sebesar 9,79 dBi pada sudut 0°. Selain itu diperoleh nilai *side lobe level* sebesar -12,7 dB yang menunjukkan bahwa sebagian besar energi radiasi terpusat pada lobus utama. Berdasarkan hasil tersebut, antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2 memiliki karakteristik radiasi directional sehingga pancaran sinyal lebih terfokus pada arah tertentu.

Berdasarkan hasil nilai parameter yang telah disimulasikan pada software CST Studio 2019, Tabel 3.15 menunjukan perbandingan parameter antena *triangular patch* sebelum dan sesudah optimasi.

Tabel 3.16. Perbandingan Parameter Sesudah Dioptimasi

Parameter	Spesifikasi	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi	Keterangan
Return Loss	≥ 5 dB	-10,59	-53,726	Sesuai spesifikasi
VSWR	1 ≤ VSWR ≤ 2	1,83	1,004	Sesuai spesifikasi
Gain	<-10 dB	4,490	5,077	Sesuai spesifikasi

Tabel 3.15 menunjukkan data perbandingan setelah dilakukan optimasi. Berdasarkan data pada simulasi tersebut, dapat diketahui nilai yang dihasilkan untuk return loss, VSWR, dan gain telah memenuhi persyaratan dari perancangan parameter. Didapatkan desain akhir antena *patch array triangular* 1x2 setelah di optimasi seperti pada gambar 3.36.

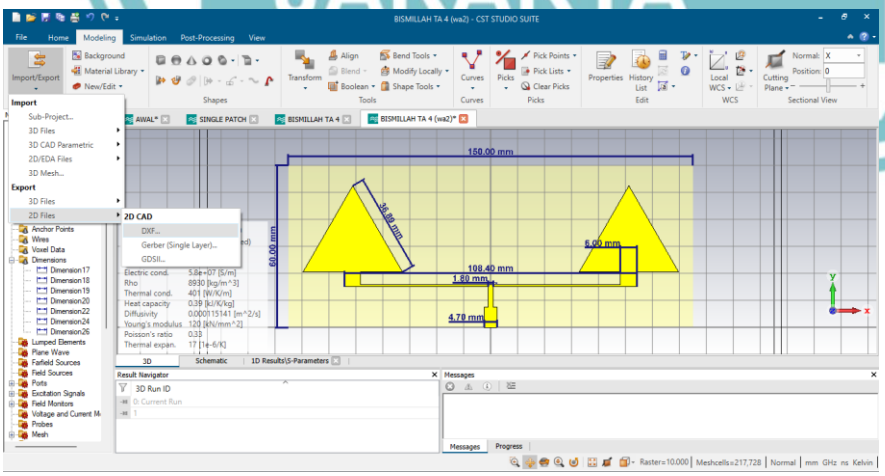


Gambar 3.36. Desain akhir antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2

3.9 Fabrikasi Antena Mikrostrip *Triangular Patch Array* 1x2

Setelah melakukan perancangan dan simulasi Antena Mikrostrip *Triangular Patch Array* 1x2 pada *software* CST Studio Suite 2019, dan nilai parameter yang dihasilkan sesuai dengan parameter yang diinginkan, maka langkah selanjutnya adalah merealisasikan antena secara fisik atau melakukan proses fabrikasi antena. Adapun langkah yang dilakukan dalam proses fabrikasi adalah sebagai berikut:

a) Mengkonversikan hasil antena miksotrip *triangular patch array* 1x2 pada software CST Studio Suite 2019, yang telah memenuhi spesifikasi yang diinginkan, menjadi format DXF agar dapat ditampilkan pada software Visio. Untuk merubah format yang telah dirancang di software CST Studio Suite 2019 menjadi format DXF, dilakukan dengan cara memilih Component 1, lalu mengklik pada tab Modeling yang ditandai dengan persegi panjang berwarna hitam. Setelah itu pada menu Import/Export yang ditandai dengan persegi panjang berwarna biru, selanjutnya memilih 2D files dan memilih format DXF yang ditandai dengan persegi panjang berwana hijau. Setelah itu, hasil konversi desain antena ditampilkan menggunakan Ms Visio seperti pada Gambar 3.36.



Gambar 3.37. Menkonversi desain akhir antena mikrostrip triangular patch array 1x2 menjadi format DXF

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

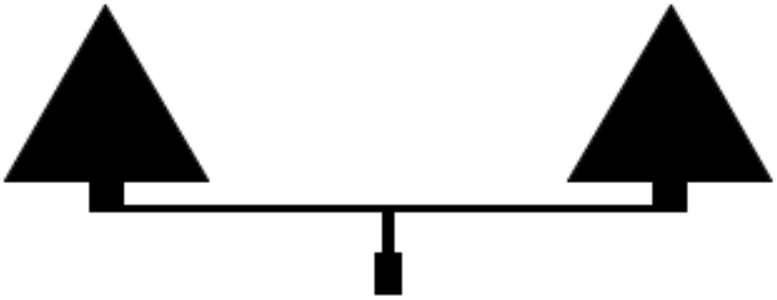
Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Setelah dikonversi menjadi format DXF, gambar 3.38 dan 3.39 menunjukan desain akhir antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2 pada software visio.

Gambar 3.38.Desain hasil optimasi tampak belakang (ground)



Gambar 3.39. Desain hasil optimasi tampak depan (patch)

Desain pada Gambar 3.38 dan Gambar 3.39 kemudian dicetak untuk keperluan fabrikasi antena *microstrip triangular patch array*.

b) Langkah selanjutnya, menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk membuat antena mikrostrip *triangular patch array* yang terdiri dari:
   1. Desain antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2 yang telah dicetak sebanyak satu buah.
   2. PCB FR-4 *double layer* 1 buah
   3. Konektor SMA Female impedansi 50 Ω 1 buah
   4. Solder 1 buah
   5. Amplas secukupnya
   6. Larutan FeCl3 secukupnya
   7. Timah secukupnya

c) Proses pembuatan antena setelah mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan, maka selanjutnya memproses antena yang telah didesain antena

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

kebagian PCB FR-4 Epoxy. Proses pembuatan antena dilakukan dengan langkah berikut:

1. Menyiapkan PCB FR-4 Epoxy double layer sesuai ukuran yang dibutuhkan yaitu sebesar 15 cm x 6 cm
2. Membersihkan PCB dengan menggunakan amplas.
3. Menempelkan desain antena yang telah dicetak sticker ke atas PCB. Pada bagian belakang ground diberikan stiker agar bagian tembaga dibagian ground tidak ikut ter etching.
4. Melarutkan bubuk FeCl3 menggunakan air hangat pada wadah agar proses pelarutan lebih maksimal.
5. Memasukkan PCB yang sudah terdapat desain antena ke dalam larutan FeCl3 lalu digoyangkan sampai tembaga yang tidak tertutup hilang.
6. Setelah bagian tembaga pada PCB yang tidak dinginkan telah ter etching sempurna, lalu membersihkan hasil etching menggunakan air bersih.
7. Selanjutnya membuka stiker pada bagian PCB yang sebelumnya sudah di tempel.
8. Menyolder konektor SMA female pada bagian ujung saluran transmisi. Gambar 3.22 memperlihatkan hasil fabrikasi antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2 tampak depan (kiri) dan tampak belakang (kanan) yang akan dihubungkan dengan access point pada sistem mikrokontroler alat pendeteksi kualitas udara.

Gambar 3.40. Hasil fabrikasi antena mikrostrip

Berdasarkan Gambar 3.40 merupakan hasil fabrikasi antena yang telah dibuat, dengan ukuran panjang, lebar substrat dan ground sesuai dengan hasil perancangan yaitu ukuran 15 cm x 6 cm.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.10 Konfigurasi Jaringan Internet

Konfigurasi jaringan internet menggunakan *access point* dibutuhkan untuk membangun jaringan agar sistem mikrokontroler dapat terhubung dengan koneksi internet. Untuk mendapatkan akses internet pada *access point*, perlu dilakukan konfigurasi, yaitu konfigurasi *Internet Protocol* (IP) yang merupakan identitas dari perangkat yang terhubung ke internet dan *Service Set Identifier* (SSID) yang merupakan nama yang digunakan untuk mengidentifikasi sebuah jaringan Wi-Fi. *Access point* membutuhkan sumber internet, sehingga perlu juga dilakukan pengaturan sumber internet yang digunakan agar *access point* dapat bekerja dan memiliki akses internet. Langkah-langkah yang dilakukan dalam melakukan proses konfigurasi *access point* adalah sebagai berikut:

1. Langkah pertama menghubungkan access point dengan laptop menggunakan kabel Local Area Network (LAN) agar dapat mengatur konfigurasi pada access point melalui laptop.
2. Setelah laptop dengan access point terhubung, Buka aplikasi peramban web seperti Google Chrome atau Microsoft Edge, lalu akses alamat IP default perangkat dengan mengetik 192.168.1.1 pada kolom URL kemudian tekan tombol Enter pada *keyboard*.
3. Masukkan kata admin pada kolom username dan kata admin pada kolom password di kotak dialog autentikasi yang muncul untuk masuk ke dalam halaman utama dasbor manajemen lokal TP-Link.
4. Pilih dan klik menu Interface Setup yang terletak pada bilah menu bagian atas, kemudian segera beralih dengan mengeklik sub-menu Wireless yang berada tepat di bawahnya.
5. Cari opsi pengaturan Channel pada bagian Access Point Settings lalu ubah konfigurasinya dari mode Auto menjadi angka 11, serta ubah nama jaringan lama pada kolom SSID dengan mengetik nama jaringan baru yaitu airmon-pm.
6. Ubah pilihan pada kolom Authentication Type menjadi WPA2-PSK, masukkan kata sandi baru pada kolom Pre-Shared Key dengan mengetik angka 12345678, lalu gulir layar hingga ke bagian paling bawah untuk mengeklik tombol SAVE.
7. Hubungkan kembali laptop ke jaringan Wi-Fi baru bernama airmon-pm dengan kata sandi 12345678, lalu buka kembali halaman browser di alamat

192.168.1.1 untuk masuk ke menu Interface Setup dan mengeklik sub-menu LAN.

8. Ganti alamat IP default pada kolom IP Address dari 192.168.1.1 menjadi alamat IP statis baru yaitu 192.168.8.200 agar berada di dalam segmen jaringan yang sama dengan Modem Telkomsel Orbit.
9. Hubungkan kabel LAN jenis RJ45 dari port LAN Modem Telkomsel Orbit menuju ke port LAN berwarna kuning di bagian belakang TP-Link TD-W8151N, serta pastikan pengaturan IP assignment pada adapter Wi-Fi di laptop sudah dikembalikan ke mode Automatic (DHCP) agar internet siap digunakan.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta
Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV
PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas mengenai hasil pengujian dan analisis sistem peringatan dini kualitas udara berbasis aplikasi Android menggunakan antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2 frekuensi 2,4 GHz. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja prototype alat dan performansi antena yang telah dirancang sehingga dapat diketahui kesesuaian hasil realisasi dengan parameter yang telah ditentukan. Berdasarkan hasil pengujian dan pengukuran yang dilakukan, diperoleh data-data yang selanjutnya dianalisis. Adapun pengujian yang dilakukan pada bab ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian Rangkaian Catu Daya
2. Pengujian Kualitas Udara
3. Pengujian Antena Mikrostrip *Triangular Patch Array* 1x2
4. Pengujian RSSI
5. Pengujian QoS (*Quality of Service)*
6. Pengujian Sistem Keseluruhan

4.1 Pengujian Rangkaian Catu Daya

Pengujian rangkaian baterai dilakukan untuk memastikan baterai yang telah dirangkai bekerja dengan baik sesuai fungsinya.

4.1.1 Deskripsi Pengujian Rangkaian Catu Daya

Pengujian dilaksanakan berdasarkan lokasi dan waktu berikut:

Lokasi : Jl.Bango 1, No.207, Pancoran Mas, Depok
Waktu : 25 Juni 2026
Pelaksana : Najwa Arliyana
Pembimbing : Rifqi Fuadi Hasani, S.T., M.T.

Pengujian rangkaian baterai adalah proses yang bertujuan untuk mengidentifikasi sifat catu daya sehingga memenuhi kriteria yang diinginkan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa rangkaian baterai dapat menyuplai tegangan dan arus yang konsisten, serta memenuhi kebutuhan daya seluruh elemen pada sistem yang digunakan. Hasil akhir dari pengujian ini adalah

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

memperoleh keluaran tegangan yang sesuai dengan tuntutan sistem, yaitu sekitar 5V, sehingga menjamin perangkat dapat berfungsi dengan optimal.

4.1.2 Alat-alat Pengujian

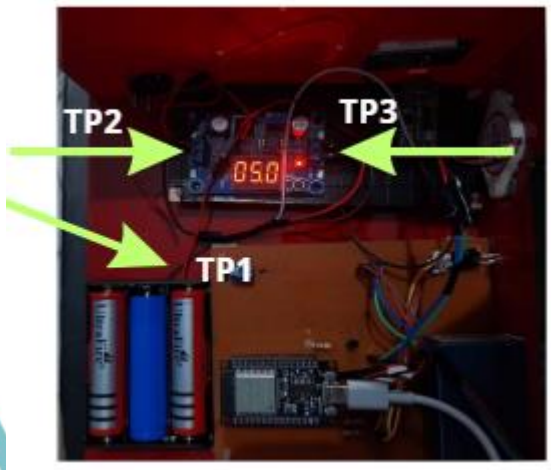
Adapun alat-alat yang digunakan dalam melakukan pengujian antara lain:

1. Multimeter Digital
2. Rangkaian Baterai
3. Kabel Multimeter

4.1.3 Prosedur Pengujian Rangkaian Catu Daya

Prosedur pengujian untuk mengukur tegangan pada rangkaian catu daya dilakukan secara tepat, sistematis, dan berurutan untuk memastikan akurasi hasil pengukuran serta keamanan selama proses berlangsung. Tahapan pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Menyalakan alat pendeteksi kualitas udara dengan menekan tombol saklar.
2. Menghubungkan probe multimeter ke TP1 yang ditunjukan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Titik Pengujian Catu Daya

Pada Gambar 4.1 terdapat tiga titik pengujian, yaitu TP1 sebagai *output* baterai, TP2 sebagai *input step-down*, dan TP3 sebagai *output step-down*. Ketiga titik tersebut digunakan sebagai acuan pengukuran tegangan untuk memastikan rangkaian catu daya bekerja sesuai dengan perancangan.

3. Melihat hasil pembacaan nilai tegangan pada multimeter.
4. Mencatat hasil pengukuran pada Tabel 4.1.
5. Mengulangi langkah 2 untuk pengukuran pada TP2 dan TP3.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

6. Melihat hasil pembacaan nilai tegangan pada multimeter.
7. Mencatat hasil pengukuran TP2 dan TP3 pada Tabel 4.1.

4.1.4 Hasil Pengujian Rangkaian Catu Daya

Hasil pengujian tegangan pada rangkaian catu daya dilakukan dengan mengggunakan multimeter digital sebagai alat ukur. Tegangan yang diukur merupakan tegangan input pada beberapa titik pengujian, yaitu TP1, TP2, dan TP3, yang masing-masing mempresentasikan bagian berbeda dari rangkaian. Pengukuran ini bertujuan untuk memastikan bahwa tegangan yang masuk ke setiap titik tersebut sesuai dengan nilai yang telah dirancang sebelumnya. Hasil lengkap dari pengukuran tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Hasil Pengukuran Tegangan pada Tiap Titik

Titik Pengukuran	Tegangan (V)
TP1	11.9
TP2	11,6
TP3	5

Tabel 4.1 menunjukkan hasil pengukuran tegangan pada tiga titik pengujian, yaitu TP1, TP2, dan TP3. Berdasarkan hasil pengukuran, tegangan pada TP1 sebesar 11,9 V, kemudian mengalami sedikit penurunan menjadi 11,6 V pada TP2. Penurunan tegangan tersebut disebabkan oleh adanya rugi-rugi tegangan (*voltage drop*) pada kabel, konektor, serta arus yang mulai mengalir menuju modul *step-down* dan komponen lainnya. Selanjutnya, tegangan pada TP3 menjadi 5 V setelah melalui modul *step-down*, sesuai dengan kebutuhan tegangan kerja mikrokontroler ESP32 dan komponen pendukung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rangkaian catu daya bekerja sesuai dengan perancangan dan mampu menyediakan tegangan yang stabil untuk mengoperasikan sistem.

4.2 Pengujian Kualitas Udara

Pengujian kualitas udara dilakukan untuk mengetahui kemampuan alat dalam mendeteksi konsentrasi partikulat PM1, PM2.5, dan PM10 menggunakan sensor PMS5003T. Selain itu, pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat mampu mengklasifikasikan kondisi kualitas udara ke dalam kategori aman, waspada, dan tidak sehat sesuai dengan nilai ambang batas yang telah ditentukan. Hasil pengujian ditampilkan pada LCD serta ditunjukkan melalui indikator LED dan buzzer sebagai media peringatan dini.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.2.1 Deskripsi Pengujian Kualitas Udara

Pengujian dilaksanakan berdasarkan lokasi dan waktu berikut:

Lokasi : Jl.Bango 1, No.207, Pancoran Mas, Depok

Waktu : 29 Juni 2026

Pelaksana : Najwa Arliyana

Pembimbing : Rifqi Fuadi Hasani, S.T., M.T.

Pengujian kualitas udara dilakukan dengan mengamati perubahan nilai PM1, PM2.5, dan PM10 yang terbaca oleh sensor PMS5003T pada beberapa kondisi lingkungan. Data yang diperoleh kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan status kualitas udara. Pengujian dilakukan pada kondisi aman, waspada, dan tidak sehat guna mengetahui kemampuan alat dalam memberikan peringatan dini berdasarkan konsentrasi partikulat yang terukur.

4.2.2 Set Up Pengujian Kualitas Udara

Set up pengujian dilakukan dengan menempatkan alat monitoring kualitas udara pada lokasi pengujian. Sensor PMS5003T digunakan untuk mendeteksi konsentrasi partikulat di udara, kemudian data diproses oleh ESP32 dan ditampilkan pada LCD. Selain itu, LED indikator dan buzzer digunakan sebagai penanda kondisi kualitas udara yang terdeteksi oleh sistem.

Gambar 4.2. Set up pengujian kualitas udara

Pada pengujian ini dilakukan pengamatan terhadap perubahan nilai PM1, PM2.5, dan PM10 serta respons yang diberikan oleh alat pada masing-masing kondisi kualitas udara.

4.2.3 Alat-alat Pengujian

Adapun alat-alat yang digunakan dalam melakukan pengujian antara lain:

1. Sensor PMS5003T
2. Mikrokontroler ESP32
3. Access Point yang terhubung dengan antena mikrostrip

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4. Laptop dengan Arduino IDE

4.2.4 Prosedur Pengujian kualitas Udara

Prosedur pengujian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menempatkan alat pendeteksi pada lingkungan terbuka, tertutup, dan semi tertutup. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.2.
2. Menyalakan alat pendeteksi dengan menekan tombol power switch.
3. Melihat hasil pembacaan kualitas udara melalui LCD I2C.
4. Menentukan status kualitas udara berdasarkan nilai ambang batas masing-masing parameter.
5. Mencatat hasil pengukuran kualitas udara yang diperoleh.
6. Mengamati respons LED indikator dan buzzer pada setiap kondisi kualitas udara.
7. Membandingkan hasil pengukuran dengan kategori status yang ditampilkan oleh alat.

Melalui prosedur tersebut dapat diketahui apakah sistem mampu memberikan peringatan dini sesuai dengan kondisi kualitas udara yang terdeteksi.

4.2.5 Hasil Pengujian Kualitas Udara

Pengujian dilaksanakan berdasarkan lokasi dan waktu berikut:

Lokasi : Jl.Bango 1, No.207, Pancoran Mas, Depok
Waktu : 25 Juni 2026
Pelaksana : Najwa Arliyana
Pembimbing : Rifqi Fuadi Hasani, S.T., M.T.

Hasil pengujian kualitas udara diperoleh dari pembacaan sensor PMS5003T terhadap konsentrasi PM1, PM2.5, dan PM10 pada beberapa kondisi lingkungan. Data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.2.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Kualitas Udara

Area	Waktu	PM1 (µg/m³)	PM2.5 (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	Status
Tertutup	Pagi	45	40	72	Aman
	Siang	38	37	46	Aman
	Malam	39	32	65	Aman
Semi Tertutup	Pagi	58	58	71	Waspada
	Siang	64	65	76	Waspada
	Malam	34	30	36	Aman
Terbuka	Pagi	58	62	75	Waspada
	Siang	63	68	83	Waspada
	Malam	57	56	70	Waspada

Tabel 4.2 menunjukkan hasil pengujian kualitas udara berdasarkan pembacaan sensor PMS5003T pada tiga kondisi area, yaitu tertutup, semi tertutup, dan terbuka. Berdasarkan hasil pengujian, area tertutup memiliki konsentrasi PM1, PM2,5, dan PM10 yang relatif lebih rendah sehingga seluruh pengujian menunjukkan status Aman. Pada area semi tertutup, konsentrasi partikulat meningkat pada pagi dan siang hari sehingga menghasilkan status Waspada, sedangkan pada malam hari kembali berada pada status Aman. Sementara itu, area terbuka menunjukkan nilai konsentrasi partikulat yang lebih tinggi dibandingkan area lainnya, sehingga seluruh hasil pengujian berada pada status Waspada. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi lingkungan berpengaruh terhadap konsentrasi partikel di udara, di mana semakin terbuka area pengujian maka konsentrasi partikulat yang terdeteksi sensor cenderung lebih tinggi. Tabel 4.3 menunjukan gambar hasil pengujian sensor pada area pembakaran.

Tabel 4.4. Hasil Pengujian Sensor Pada Area Pembakaran

Area	PM1 (µg/m³)	PM2.5 (µg/m³)	PM10 (µg/m³)	Status
Pembakaran Sampah	256	600	600	Tidak Sehat
Emisi Kendaraan Bermotor	405	600	600	Tidak Sehat

Tabel 4.3 menunjukkan hasil pembacaan sensor PMS5003T yang terpasang pada prototype saat pengujian dilakukan di area pembakaran sampah dan area yang dipengaruhi emisi kendaraan bermotor. Berdasarkan hasil pembacaan sensor, pada area pembakaran sampah diperoleh konsentrasi PM1 sebesar 256 µg/m³, sedangkan pada area emisi kendaraan bermotor sebesar 405 µg/m³. Nilai PM2.5 dan PM10 pada kedua lokasi terbaca mencapai 600 µg/m³. Berdasarkan nilai ambang batas yang digunakan pada sistem, kedua lokasi dikategorikan dalam kondisi Tidak

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Sehat, sehingga sistem mengaktifkan LED merah dan buzzer sebagai peringatan dini. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa alat mampu mendeteksi peningkatan konsentrasi partikulat pada lingkungan dengan tingkat pencemaran yang tinggi.

4.3 Pengujian Antena Mikrostrip *Triangular Patch Array* 1x2

Pengujian dilakukan bertujuan untuk mengetahui bahwa antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2 yang dibuat dapat bekerja dengan parameter yang telah ditentukan sebelumnya.

4.3.1 Deskripsi Pengujian Antena

Pengujian dilaksanakan berdasarkan lokasi dan waktu berikut:

Lokasi : Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro (TRGM), Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung (STEI-ITB), Bandung

Waktu : 23 Juni 2026

Pelaksana : Najwa Arliyana

Pembimbing : Rifqi Fuadi Hasani, S.T., M.T.

4.3.2 Alat-Alat yang Digunakan

Adapun alat yang digunakan saat pengujian adalah:

1. Antena Mikrostrip *triangular patch array* 1×2 frekuensi 2,4 GHz
2. Antena Horn Referensi (gain 12 dBi, 2–18 GHz)
3. Vector Network Analyzer (VNA) Copper Mountain Technologies Cobalt C1220
4. Ruang *anechoic chamber*
5. Tripod untuk penyangga antena

4.3.3 Prosedur Pengujian Antena

Prosedur pengukuran yang dilakukan pada antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2 dilakukan dengan menggunakan alat ukur network analayzer C1220 yang bekerja pada frekuensi 300KHz – 20GHz. Berikut adalah langkah langkah prosedur pengukuran antena adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan antena mikrostrip *triangular patch array* 1x2 yang telah difabrikasi untuk diuji.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

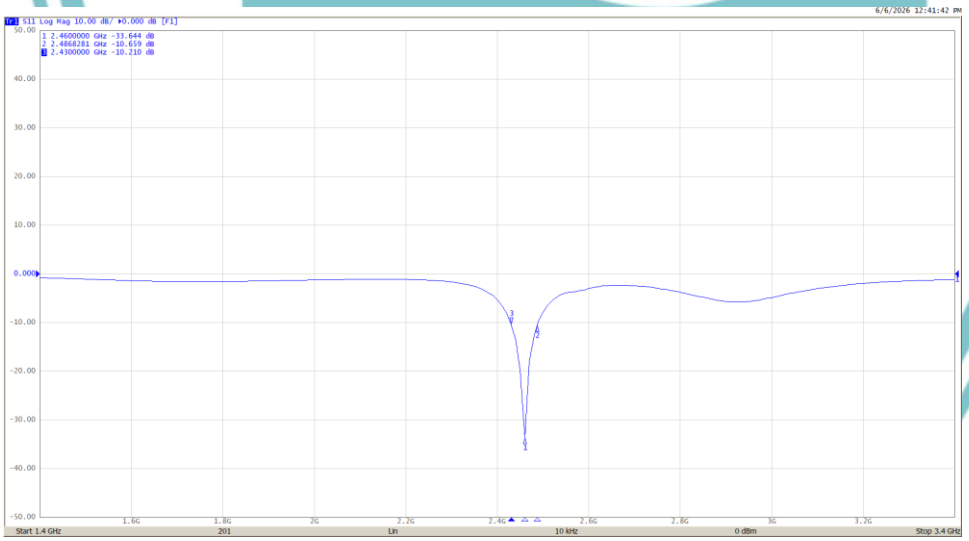
Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Menyiapkan alat ukur network analyzer yang digunakan untuk mengukur parameter yang diinginkan
3. Melakukan kalibrasi pada network analyzer.
4. Menentukan range frekuensi kerja yang akan ditampilkan pada network analyzer.
5. Menghubungkan antena pada salah satu port network analyzer menggunakan kabel coaxial 50 Ω.
6. Menampilkan nilai parameter yang ingin di uji
7. Melihat frekuensi kerja dengan mengatur tombol marker pada titik frekuensi kerja
8. Menyimpan data hasil pengukuran pada menu save image.

4.3.4 Hasil Pengujian Antena

1. Hasil Pengujian Return Loss

Pengujian *return loss* dilakukan untuk mengetahui kemampuan antena dalam meminimalkan daya yang dipantulkan kembali ke sumber. Hasil pengukuran *return loss* antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2 pada frekuensi kerja 2,4 GHz ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Hasil Pengujian Return Loss

Berdasarkan hasil pengukuran, antena memiliki nilai *return loss* sebesar -33,644 dB pada frekuensi optimal yaitu 2,460 GHz. Nilai tersebut berada jauh di bawah batas minimum yang umum digunakan, yaitu -10 dB, sehingga menunjukkan bahwa antena memiliki pencocokan impedansi yang sangat baik.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar daya yang dikirimkan ke antena berhasil dipancarkan dan hanya sebagian kecil yang dipantulkan kembali ke sumber. Dengan demikian, antena yang direalisasikan telah memenuhi parameter *return loss* dan mampu bekerja dengan baik pada frekuensi 2,4 GHz.

2. Hasil Pengujian VSWR

Pengujian *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian impedansi antara antena dan saluran transmisi. Hasil pengukuran VSWR antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2 pada frekuensi kerja 2,4 GHz ditunjukkan pada Gambar 4.4.

Gambar 4.4. Hasil Pengujian VSWR

Berdasarkan hasil pengukuran, diperoleh nilai VSWR sebesar 1,2289 pada frekuensi optimal yaitu 2,460 GHz. Nilai tersebut mendekati nilai ideal, yaitu 1, yang menunjukkan bahwa pencocokan impedansi antara antena dan saluran transmisi sudah sangat baik.

Nilai VSWR yang berada di bawah 2 menunjukkan bahwa daya yang dipantulkan kembali menuju sumber relatif kecil sehingga proses transfer daya dari saluran transmisi ke antena dapat berlangsung dengan baik. Hasil ini juga sejalan dengan pengujian *return loss* yang menghasilkan nilai -33,644 dB pada frekuensi 2,460 GHz. Dengan demikian, antena yang direalisasikan telah memenuhi kriteria VSWR yang baik dan mampu bekerja secara optimal pada frekuensi 2,46 GHz.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Hasil Pengujian Gain

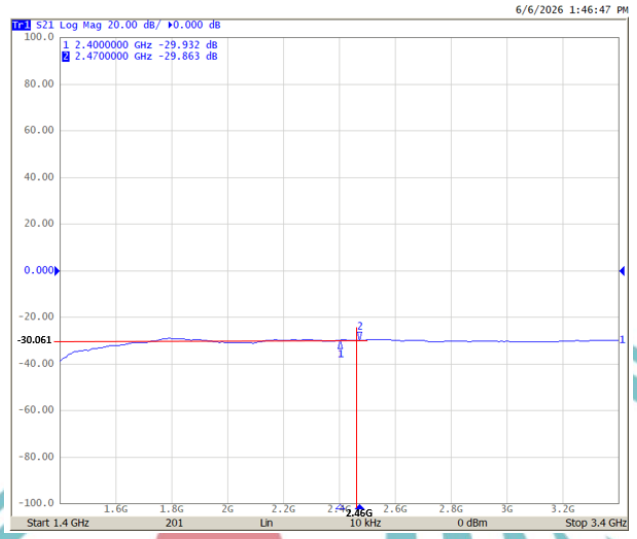
Pengujian gain dilakukan untuk mengetahui kemampuan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2 dalam memfokuskan daya pancar pada frekuensi kerja 2,46 GHz. Metode yang digunakan adalah metode perbandingan daya (*comparison method*), yaitu dengan membandingkan level daya yang diterima oleh antena uji terhadap antena referensi pada kondisi pengukuran yang sama. Antena referensi yang digunakan adalah LB-20180-SF Broadband Horn Antenna yang memiliki nilai gain sebesar 7,58 dBi pada frekuensi 2,46 GHz. Hasil pengukuran level daya menggunakan *Spectrum Analyzer* ditunjukkan pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.6.

Gambar 4.5. Hasil Pengukuran Level Daya Antena Uji pada Frekuensi 2,46 GHz

Berdasarkan Gambar 4.5, hasil pengukuran menggunakan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2 menunjukkan bahwa pada frekuensi 2,460 GHz diperoleh level daya sebesar −31,986 dBm. Nilai tersebut merupakan level daya yang diterima oleh antena uji (P_{AUT}) dan selanjutnya digunakan dalam proses perhitungan gain antena.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 4.6. Hasil Pengukuran Level Daya Antena Referensi (LB-20180-SF Broadband Horn Antenna) pada Frekuensi 2,46 GHz

Berdasarkan Gambar 4.6, hasil pengukuran menggunakan antena referensi LB-20180-SF Broadband Horn Antenna pada frekuensi 2,460 GHz menunjukkan level daya sebesar −30,061 dBm. Nilai tersebut merupakan level daya antena referensi (P_{REF}) yang digunakan sebagai pembanding dalam perhitungan gain antena mikrostrip.

Nilai gain antena kemudian dihitung berdasarkan selisih level daya yang diterima antara antena uji dan antena referensi menggunakan persamaan berikut.

$$G_{AUT} = \left(-31{,}986 - (-30{,}061)\right) + 7$$
$$G_{AUT} = (-1{,}925) + 7 = 5{,}075\ dBi \quad (2.3)$$

Berdasarkan hasil uji parameter gain antena mikrostrip *triangular patch* array tersebut dapat dilihat perbandingan hasil pada simulasi CST 2019 dan hasil realisasi ditampilkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.5. Perbandingan Hasil Simulasi

Kondisi	Gain (dBi)
Simulasi	5,077
Realisasi	5,075

Tabel 4.4 menunjukkan perbandingan nilai gain antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2 antara hasil simulasi dan realisasi. Berdasarkan tabel tersebut, nilai gain hasil simulasi sebesar 5,077 dBi, sedangkan hasil realisasi sebesar 5,075 dBi. Perbedaan nilai gain yang sangat kecil menunjukkan bahwa hasil realisasi telah

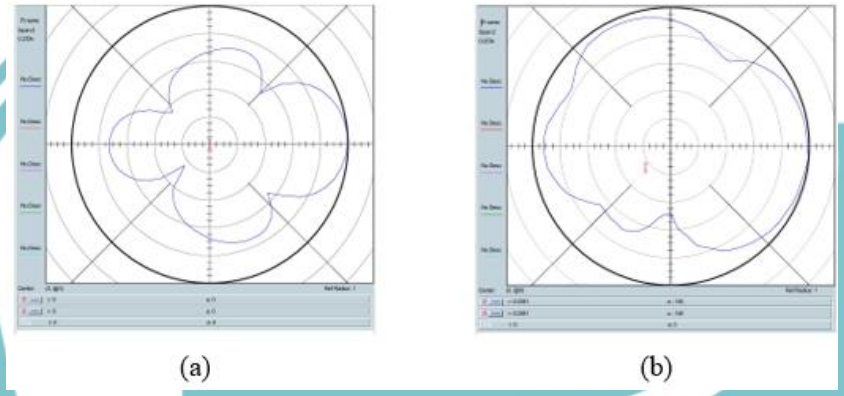
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

sesuai dengan hasil simulasi, sehingga antena yang difabrikasi mampu bekerja sesuai dengan perancangan pada frekuensi 2,46 GHz**.**

4. Hasil Pengujian Pola Radiasi

Pengujian pola radiasi dilakukan untuk mengetahui karakteristik pancaran antena pada arah horizontal (*azimuth*) dan vertikal (*elevation*). Pengujian ini bertujuan untuk melihat arah pancaran utama (*main lobe*) antena yang telah direalisasikan pada frekuensi kerja. Berdasarkan hasil pengujian sebelumnya, antena memiliki performa terbaik pada frekuensi 2,460 GHz, sehingga pengujian pola radiasi difokuskan pada frekuensi tersebut.



Gambar 4.7. (a) Pola Radiasi Bidang Horizontal (Azimuth) (b) Pola Radiasi Bidang Vertikal (Elevation)

Berdasarkan Gambar 4.8 (a), pola radiasi pada bidang horizontal (*azimuth*) menunjukkan bahwa antena memiliki arah pancaran utama yang terfokus pada satu arah tertentu dengan beberapa *side lobe* yang memiliki intensitas lebih kecil dibandingkan *main lobe*. Hal ini menunjukkan bahwa antena yang direalisasikan memiliki karakteristik radiasi yang cenderung direksional, sehingga daya pancar lebih terpusat ke arah tertentu.

Sementara itu, berdasarkan Gambar 4.8 (b), pola radiasi pada bidang vertikal (*elevation*) menunjukkan bentuk pancaran yang relatif simetris terhadap arah pancaran utama. Pola radiasi tersebut menunjukkan bahwa antena mampu memancarkan gelombang elektromagnetik secara stabil pada bidang vertikal sehingga mendukung proses komunikasi pada frekuensi kerja 2,4 GHz.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mikrostrip *triangular patch array* 1×2 yang direalisasikan telah menghasilkan pola radiasi sesuai dengan karakteristik antena array, yaitu memiliki pancaran yang lebih terarah dibandingkan antena mikrostrip elemen tunggal.

4.4 Pengujian RSSI

Pengujian RSSI (Received Signal Strength Indicator) dilakukan untuk mengetahui kualitas sinyal yang diterima ESP32 dari access point pada berbagai jarak pengujian. Pengujian ini bertujuan untuk membandingkan performa access point yang menggunakan antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2 dengan access point yang menggunakan antena bawaan. Nilai RSSI digunakan sebagai parameter untuk mengetahui tingkat kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat penerima. Semakin mendekati nilai 0 dBm maka kualitas sinyal yang diterima semakin baik.

4.4.1 Deskripsi Pengujian RSSI

Pengujian dilaksanakan berdasarkan lokasi dan waktu berikut:

Lokasi : Jl.Pangandaran No.12ab, Depok, Jawa Barat
Waktu : 1 Juli 2026
Pelaksana : Najwa Arliyana
Pembimbing : Rifqi Fuadi Hasani, S.T., M.T.

Pengujian RSSI dilakukan dengan menghubungkan ESP32 ke access point yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. Pengukuran dilakukan pada beberapa variasi jarak yaitu 10 meter sampai 80 meter. Pengujian dilakukan sebanyak dua kali, yaitu menggunakan antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2 sebagai antena pengganti access point dan menggunakan antena bawaan access point sebagai pembanding.

Nilai RSSI ditampilkan melalui Serial Monitor Arduino IDE dan dicatat pada setiap jarak pengujian. Hasil pengukuran kemudian digunakan untuk mengetahui pengaruh penggunaan antena mikrostrip terhadap kualitas sinyal yang diterima oleh ESP32.

4.4.2 Alat-alat Pengujian

Berikut ini adalah alat-alay yang digunakan untuk pengujian RSSI:

1. Mikrokontroler ESP32

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2. Access Point TP-Link TD-W8151N
3. Antena Mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2
4. Laptop
5. Arduino IDE

4.4.3 Prosedur Pengujian RSSI

Pengujian RSSI dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

1. Menyalakan access point dan ESP32.
2. Menghubungkan ESP32 ke jaringan WiFi yang dipancarkan oleh access point.
3. Mengganti antena access point menggunakan antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2.
4. Menempatkan ESP32 pada jarak 10 meter dari access point.
5. Mencatat nilai RSSI yang ditampilkan pada Serial Monitor Arduino IDE.
6. Mengulangi pengukuran pada jarak telah ditentukan.
7. Mengganti antena mikrostrip dengan antena bawaan access point.
8. Mengulangi proses pengukuran pada seluruh jarak yang sama.
9. Membandingkan hasil pengukuran yang diperoleh dari kedua antena.

Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan yang sama dengan posisi access point tetap, sedangkan posisi ESP32 dipindahkan sesuai dengan jarak pengujian yang telah ditentukan.

4.4.4 Hasil Pengujian RSSI

Hasil pengujian RSSI diperoleh dari pembacaan nilai kekuatan sinyal yang diterima oleh ESP32 dari access point pada masing-masing jarak pengujian. Hasil pengukuran ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.6. Hasil Pengujian RSSI LoS pada *Access Point*

Jarak (m)	Nilai RSSI Antena Mikrostrip (dBm)	Kategori	Nilai RSSI Antena Bawaan AP (dBm)	Kategori
10	-58	Sangat Baik	-58	Sangat Baik
20	-59	Sangat Baik	-61	Sangat Baik
30	-63	Sangat Baik	-62	Sangat Baik
40	-64	Sangat Baik	-62	Sangat Baik
50	-65	Sangat Baik	-74	Baik
60	-69	Sangat Baik	-77	Baik
70	-76	Baik	-78	Baik
80	-81	Baik	-85	Baik

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengujian RSSI pada kondisi Line of Sight (LOS) menggunakan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2 dan antena bawaan *Access Point*. Berdasarkan hasil pengujian, nilai RSSI kedua antena cenderung menurun seiring bertambahnya jarak. Antena mikrostrip mampu mempertahankan kualitas sinyal yang lebih baik dibandingkan antena bawaan AP, terutama pada jarak 50 hingga 80 meter. Hal ini menunjukkan bahwa antena mikrostrip memiliki performa penerimaan sinyal yang lebih baik pada pengujian kondisi LOS.

Tabel 4.7. Hasil Pengujian RSSI NLoS pada *Access Point*

Jarak (m)	Nilai RSSI Antena Mikrostrip (dBm)	Kategori	Nilai RSSI Antena Bawaan AP (dBm)	Kategori
10	-66	Sangat Baik	-60	Sangat Baik
20	-69	Sangat Baik	-75	Baik
30	-77	Baik	-81	Baik
40	-83	Baik	-84	Baik

Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian RSSI pada kondisi *Non Line of Sight* (NLOS) menggunakan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2 dan antena bawaan *Access Point*. Pada pengujian ini, kondisi NLOS disimulasikan dengan menggunakan mobil dan sepeda motor sebagai penghalang (obstacle) antara pemancar dan penerima. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai RSSI kedua antena menurun akibat bertambahnya jarak dan adanya penghalang. Meskipun demikian, antena mikrostrip menghasilkan nilai RSSI yang lebih baik dibandingkan antena bawaan AP, terutama pada jarak 20 hingga 30 meter, sehingga menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mempertahankan kualitas sinyal pada kondisi NLOS.

4.5 Pengujian *Quality of Service* (QoS)

4.5.1 Deskripsi Pengujian QoS

Pengujian dilaksanakan berdasarkan lokasi dan waktu berikut:

Lokasi : Jl.Pangandaran No.12ab, Depok, Jawa Barat
Waktu : 25 Juni 2026
Pelaksana : Najwa Arliyana
Pembimbing : Rifqi Fuadi Hasani, S.T., M.T.

Pengujian ini dilakukan untuk melihat hasil pengiriman dan penerimaan data Quality yang diambil oleh aplikasi wireshark. Parameter yang diambil oleh

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

aplikasi wireshark akan digunakan untuk melakukan perhitungan sehingga data QoS bisa didapatkan. Berikut alat-alat yang digunakan untuk melakukan pengujian tersebut:

1. Laptop yang terhubung dengan jaringan internet
2. Aplikasi wireshark

4.5.2 Prosedur pengujian QoS

Terdapat beberapa tahapan untuk melakukan pengambilan data QoS pada aplikasi wireshark

1. Membuka laptop dan menghubungkan dengan jaringan internet
2. Membuka aplikasi wireshark.
3. Tampilan pertama yang muncul pada aplikasi wireshark dapat memilih koneksi mana yang akan diuji. Koneksi yang diuji merupakan koneksi wifi yang terhubung dengan jaringan internet.
4. Proses pengambilan data berjalan setelah memilih koneksi dan prosesnya dilakukan 2-5 menit. Untuk menghentikan proses capture diperlukan menekan tombol stop.
5. Parameter dapat dilihat pada menu bar statistics dan memilih capture file properties

4.5.3 Hasil Pengujian QoS

Pengujian QoS yang didapat dari data-data yang berhasil direkam oleh aplikasi wireshark. Untuk menetahui nilai-nilai dari QoS dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.8. Hasil Pengujian QoS pada *Access Point*

Parameter	Pagi	Siang	Sore
Delay	54 ms	243 ms	76,3 ms
Throughput	99 kbps	11 kbps	49,84 kbps
Packet Loss	0%	0%	0%

Tabel 4.7 menunjukkan hasil pengujian *Quality of Service* (QoS) pada *access point* yang menggunakan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2 pada waktu pagi, siang, dan sore. Berdasarkan hasil pengujian, nilai delay tertinggi terjadi pada siang hari yaitu 243 ms, sedangkan nilai throughput terendah sebesar 11 kbps. Kondisi ini diduga disebabkan oleh meningkatnya aktivitas pengguna jaringan pada siang hari sehingga terjadi kepadatan lalu lintas data (*network traffic*)

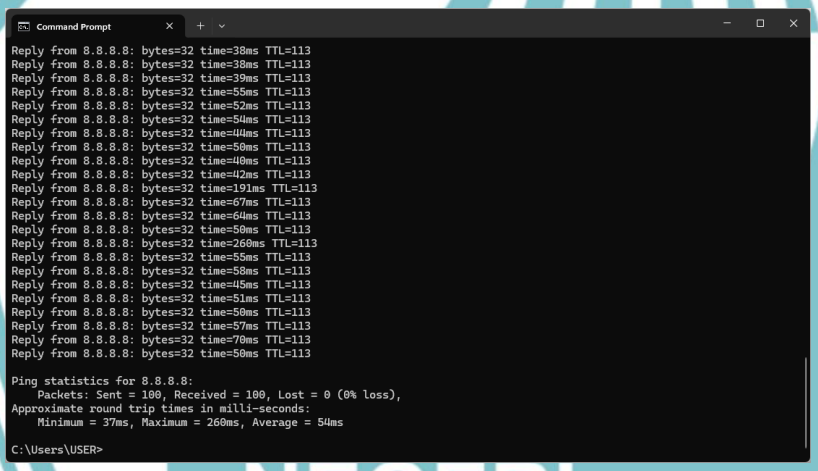
© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

yang menyebabkan waktu pengiriman paket menjadi lebih lama dan kecepatan transfer data menurun. Sebaliknya, pada pagi dan sore hari nilai delay lebih rendah dan throughput lebih tinggi karena beban jaringan relatif lebih ringan. Sementara itu, nilai packet loss sebesar 0% pada seluruh waktu pengujian menunjukkan bahwa proses pengiriman data berlangsung tanpa kehilangan paket, sehingga komunikasi data pada sistem tetap berjalan dengan baik.

4.5.4 *Ping Test*

Ping test dilakukan untuk untuk mengecek status dan keberadaan host dalam sebuah jaringan internet. Ping test dilakukan dengan cara melakukan proses ping ke server google Gambar 4.8 menunjukan hasil ping test pada TP-Link TD-W8151N.



Gambar 4.9. Ping Test TP-Link TD-W8151N

Berdasarkan hasil *ping test* ke server Google (8.8.8.8), diperoleh 100 paket data terkirim dan diterima dengan 0% *packet loss*. Nilai *round trip time* (RTT) yang diperoleh yaitu minimum 37 ms, maksimum 260 ms, dan rata-rata 54 ms. Meskipun terdapat peningkatan waktu respons pada beberapa paket, seluruh paket berhasil diterima tanpa kehilangan data, sehingga menunjukkan bahwa koneksi jaringan menggunakan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2 tetap berjalan dengan stabil dan andal untuk mendukung komunikasi data sistem.

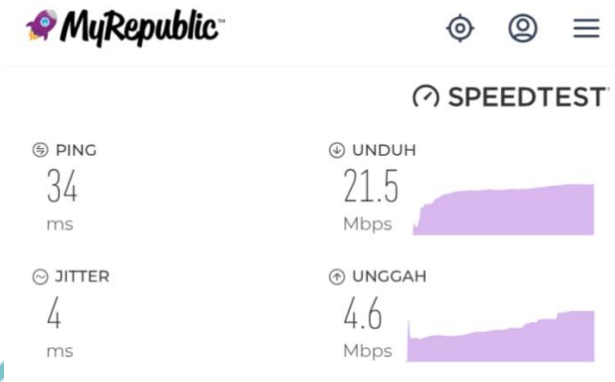
4.5.5 *Speedtest*

Speedtest dilakukan dengan menggunakan website speedtest yang tersedia pada browser. Tujuan dilakukan pengujian speedtest untuk mengetahui kecepatan

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

dari internet yang digunakan Gambar 4.10 menunjukan hasil *speedtest* pada TP-Link TD-W8151N.



Gambar 4.11. *Speedtest* TP-Link TD-W8151N

Berdasarkan hasil *speedtest* menggunakan *access point* yang terhunung dengan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2, diperoleh nilai ping sebesar 34 ms, jitter sebesar 4 ms, kecepatan unduh (*download*) sebesar 21,5 Mbps, dan kecepatan unggah (*upload*) sebesar 4,6 Mbps. Hasil tersebut menunjukkan bahwa koneksi jaringan memiliki latensi yang rendah dan kecepatan akses yang memadai untuk mendukung komunikasi data pada sistem peringatan dini kualitas udara. Dengan demikian, proses pengiriman data hasil pembacaan sensor ke *cloud database* dapat dilakukan dengan lancar.

4.6 Pengujian Sistem Keseluruhan

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja keseluruhan sistem peringatan dini kualitas udara yang telah direalisasikan. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan seluruh komponen sistem dapat bekerja secara terintegrasi sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan.

4.6.1 Deskripsi Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan menghubungkan alat pendeteksi kualitas udara ke jaringan *wireless* melalui *access point* yang menggunakan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2. Selanjutnya dilakukan pengujian pada beberapa variasi jarak untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengirimkan data hasil pembacaan sensor serta mengaktifkan indikator LED dan buzzer sesuai kondisi kualitas udara yang terdeteksi.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.6.2 Alat-alat yang digunakan

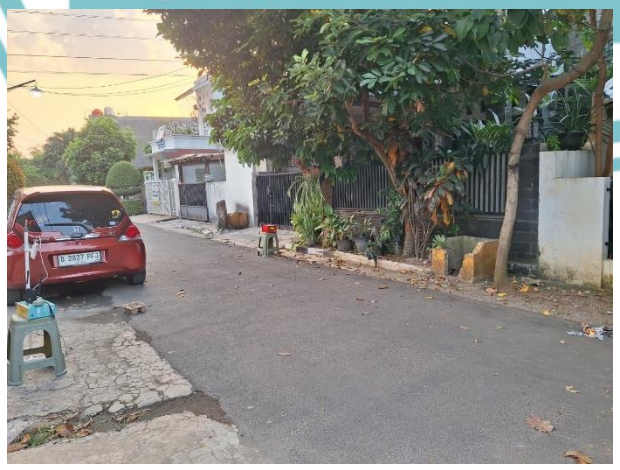
Alat yang digunakan dalam pengujian speedtest adalah sebagai berikut:

1. Access Point TP-Link TD-W8151N
2. Antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2 dan penyangga
3. Sistem Alat Pendeteksi Kualitas Udara
4. Kabel koaksial RG316 *SMA Male to RP SMA Male*

4.6.3 *Set up* Pengujian Sistem

Pengujian sistem keseluruhan dilakukan untuk mengetahui apakah seluruh komponen pada sistem dapat bekerja secara terintegrasi, mulai dari komunikasi data menggunakan access point yang telah dipasangi antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2, proses pendeteksian konsentrasi partikulat oleh sensor PMS5003T, hingga respons sistem berupa tampilan pada LCD, LED indikator, dan buzzer. Pada pengujian ini digunakan dua skenario untuk mengetahui pengaruh jarak antara alat pendeteksi dan sumber asap terhadap hasil pembacaan sensor, sementara jarak antara access point dan alat pendeteksi dibuat tetap agar komunikasi data berlangsung dalam kondisi yang sama.

Skenario pertama dilakukan dengan menempatkan *access point* yang telah dipasangi antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2 pada jarak 5 meter dari alat pendeteksi kualitas udara. Selanjutnya, sampel pembakaran ditempatkan pada jarak 5 meter dari alat pendeteksi sehingga seluruh komponen sistem membentuk satu lintasan pengujian Gambar 4.12 menunjukan *set up* pengujian sistem dengan jarak alat-sampel 5 meter.



Gambar 4.13. Set Up Pengujian Sistem dengan Jarak Alat–Sampel 5 Meter

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Berdasarkan Gambar 4.10, *access point*, alat pendeteksi kualitas udara, dan sampel pembakaran ditempatkan secara berjajar. Konfigurasi ini digunakan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi asap pada jarak 5 meter dengan kondisi komunikasi data antara *access point* dan alat tetap stabil.

Selanjutnya dilakukan skenario kedua dengan mempertahankan jarak antara *access point* dan alat pendeteksi sejauh 5 meter, sedangkan jarak antara alat pendeteksi dan sampel pembakaran diperbesar menjadi 10 meter. Variasi ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan jarak sumber asap terhadap hasil pembacaan sensor PMS5003T Gambar 4.11 menunjukan *set up* pengujian sistem dengan jarak alat-sampel 10 meter.

Gambar 4.14. Set Up Pengujian Sistem dengan Jarak Alat–Sampel 10 Meter

Pada Gambar 4.11 terlihat bahwa jarak antara *access point* dan alat pendeteksi tidak mengalami perubahan, sedangkan posisi sampel pembakaran dipindahkan menjadi lebih jauh. Dengan konfigurasi tersebut, pengujian dapat menunjukkan apakah sensor masih mampu mendeteksi peningkatan konsentrasi partikulat pada jarak yang lebih besar tanpa memengaruhi proses komunikasi data.

4.6.4 Hasil Pengujian Sistem Keseluruhan

Setelah dilakukan pengaturan posisi sesuai dengan kedua skenario pengujian, selanjutnya dilakukan pengujian untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi konsentrasi partikulat sekaligus mengirimkan data melalui *access point* yang menggunakan antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2. Pengamatan dilakukan terhadap status koneksi antara alat dan *access point*, kemampuan sensor membaca konsentrasi partikulat, serta respons LED dan buzzer

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ketika terjadi peningkatan konsentrasi asap, Tabel 4.9 menunjukan hasil pengujian sistem keseluruhan.

Tabel 4.10. Pengujian Sistem Keseluruhan

Jarak AP–Alat (m)	Jarak Alat–Sampel (m)	Status Koneksi	Pembacaan Sensor	Respons Sistem
5	5	Terhubung	Terbaca dengan baik	LED dan buzzer aktif sesuai kondisi
5	10	Terhubung	Terbaca, namun membutuhkan konsentrasi asap yang lebih tinggi	LED dan buzzer aktif sesuai kondisi

Berdasarkan Tabel 4.8, komunikasi data antara *access point* dan alat pendeteksi kualitas udara dapat berlangsung dengan baik pada kedua skenario pengujian. Hal tersebut menunjukkan bahwa penggunaan antena mikrostrip *triangular patch array* 1×2 mampu mendukung proses komunikasi data antara *access point* dan alat sehingga data hasil pembacaan sensor dapat diterima oleh sistem tanpa mengalami gangguan.

Perbedaan hasil pengujian terlihat pada jarak antara alat pendeteksi dan sampel pembakaran. Pada jarak 5 meter, sensor PMS5003T mampu mendeteksi peningkatan konsentrasi partikulat dengan lebih cepat sehingga perubahan nilai PM segera ditampilkan pada LCD dan sistem langsung mengaktifkan LED serta buzzer sesuai kondisi kualitas udara yang terdeteksi. Sementara itu, pada jarak 10 meter sensor masih mampu mendeteksi adanya asap, namun diperlukan konsentrasi asap yang lebih tinggi atau sampel pembakaran yang lebih besar agar peningkatan nilai PM dapat terbaca dengan jelas.

Hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa kemampuan sensor PMS5003T dalam mendeteksi partikulat dipengaruhi oleh jarak terhadap sumber asap. Semakin jauh posisi sensor dari sumber pembakaran, semakin sedikit partikel yang mencapai sensor sehingga diperlukan konsentrasi asap yang lebih tinggi agar perubahan nilai PM dapat terdeteksi. Meskipun demikian, komunikasi data antara alat dan *access point* tetap berjalan dengan baik sehingga sistem secara keseluruhan mampu bekerja sesuai dengan perancangan yang telah dilakukan.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.7 Analisa Keseluruhan Hasil Pengujian

Berdasarkan seluruh pengujian yang telah dilakukan, sistem peringatan dini kualitas udara berbasis aplikasi Android menggunakan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2 telah bekerja sesuai dengan tujuan perancangan. Seluruh komponen yang digunakan, mulai dari rangkaian catu daya, sensor PMS5003T, mikrokontroler ESP32, antena mikrostrip, *access point*, hingga aplikasi Android mampu bekerja secara terintegrasi dalam melakukan pemantauan kualitas udara dan mengirimkan data secara *real-time*.

Pada pengujian rangkaian catu daya diperoleh tegangan sebesar 11,9 V pada titik TP1, 11,6 V pada TP2, dan 5 V pada TP3 setelah melewati modul *step-down*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa modul *step-down* mampu menurunkan tegangan baterai menjadi tegangan kerja yang dibutuhkan oleh ESP32 dan komponen lainnya. Penurunan tegangan dari TP1 ke TP2 relatif kecil dan masih berada dalam batas yang dapat diterima sehingga tidak memengaruhi kinerja sistem selama proses pengujian.

Hasil pengujian kualitas udara menunjukkan bahwa sensor PMS5003T mampu mendeteksi perubahan konsentrasi partikulat PM1, PM2.5, dan PM10 pada berbagai kondisi lingkungan. Pada area tertutup seluruh hasil pengukuran berada pada status Aman dengan rentang PM1 sebesar 38–45 µg/m³, PM2.5 sebesar 32–40 µg/m³, dan PM10 sebesar 46–72 µg/m³. Pada area semi tertutup, peningkatan konsentrasi partikulat menyebabkan status berubah menjadi Waspada pada pagi dan siang hari dengan nilai PM1 mencapai 64 µg/m³, PM2.5 sebesar 65 µg/m³, dan PM10 sebesar 76 µg/m³. Sementara itu, pada area terbuka seluruh pengujian menghasilkan status Waspada dengan nilai PM1 sebesar 57–63 µg/m³, PM2.5 sebesar 56–68 µg/m³, dan PM10 sebesar 70–83 µg/m³. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa lingkungan yang lebih terbuka memiliki konsentrasi partikulat yang cenderung lebih tinggi dibandingkan area tertutup.

Pengujian pada sumber pencemar menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kondisi kualitas udara yang masuk kategori Tidak Sehat. Pada area pembakaran sampah diperoleh nilai PM1 sebesar 256 µg/m³, sedangkan pada pengujian dengan sumber asap kedua diperoleh nilai PM1 sebesar 405 µg/m³. Nilai PM2.5 dan PM10 pada kedua pengujian mencapai 600 µg/m³, yaitu batas

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

maksimum pembacaan sensor PMS5003T. Berdasarkan nilai ambang batas yang digunakan pada sistem, kondisi tersebut menyebabkan LED merah dan buzzer aktif sebagai indikator peringatan dini. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan respons secara otomatis ketika konsentrasi partikulat berada pada tingkat yang membahayakan.

Hasil pengujian antena menunjukkan bahwa antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2 memiliki nilai *return loss* sebesar −33,644 dB, nilai *VSWR* sebesar 1,2289, dan *gain* realisasi sebesar 5,075 dBi. Nilai tersebut menunjukkan bahwa antena telah memenuhi parameter performansi yang baik karena nilai *return loss* berada jauh di bawah −10 dB, nilai *VSWR* berada di bawah 2, dan hasil *gain* realisasi hanya berbeda 0,002 dB dibandingkan hasil simulasi sebesar 5,077 dBi. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa proses fabrikasi antena telah berhasil menghasilkan performa yang sangat mendekati hasil simulasi.

Meskipun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa frekuensi resonansi antena mengalami pergeseran dari frekuensi hasil simulasi 2,40 GHz menjadi 2,460 GHz pada saat realisasi. Pergeseran frekuensi tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan nilai konstanta dielektrik (*dielectric constant*) atau nilai *relative permittivity* (*εr*) substrat FR4 yang digunakan pada proses simulasi dengan kondisi sebenarnya pada saat fabrikasi. Material FR4 umumnya tidak memiliki nilai *εr* yang benar-benar tetap karena bergantung pada proses manufaktur dan tidak selalu disertai *datasheet* yang mencantumkan nilai *εr* aktual dari setiap lembar substrat. Akibatnya, nilai *εr* yang digunakan pada simulasi dapat berbeda dengan nilai *εr* material yang digunakan saat fabrikasi sehingga menyebabkan frekuensi resonansi bergeser. Meskipun terjadi pergeseran frekuensi, kondisi tersebut dapat diatasi dengan mengubah kanal (*channel*) *access point* ke Channel 11, yang bekerja pada frekuensi sekitar 2,460 GHz. Dengan pengaturan tersebut, frekuensi kerja *access point* menjadi sesuai dengan frekuensi resonansi antena hasil realisasi sehingga antena tetap dapat digunakan secara optimal pada sistem komunikasi nirkabel.

Hasil pengujian RSSI menunjukkan bahwa penggunaan antena mikrostrip mampu meningkatkan kualitas penerimaan sinyal dibandingkan antena bawaan *access point*. Pada kondisi *Line of Sight* (*LoS*), nilai RSSI menggunakan antena

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

mikrostrip berada pada rentang −58 dBm hingga −81 dBm, sedangkan antena bawaan berada pada rentang −58 dBm hingga −85 dBm. Perbedaan paling besar terlihat pada jarak 80 meter, di mana antena mikrostrip menghasilkan RSSI −81 dBm, sedangkan antena bawaan hanya mencapai −85 dBm. Pada kondisi *Non Line of Sight* (*NLoS*), antena mikrostrip juga mampu mempertahankan kualitas sinyal yang lebih baik terutama pada jarak 20–30 meter, meskipun terdapat penghalang berupa kendaraan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa antena mikrostrip yang dirancang mampu meningkatkan kualitas komunikasi dibandingkan antena bawaan *access point.*

Pengujian *Quality of Service* (*QoS*) menunjukkan bahwa komunikasi data sistem berjalan dengan baik. Nilai *delay* berkisar antara 54 ms hingga 243 ms, *throughput* berada pada rentang 11 kbps hingga 99 kbps, sedangkan *packet loss* sebesar 0% pada seluruh waktu pengujian. Selain itu, hasil *ping test* menunjukkan rata-rata *round trip time* (*RTT*) sebesar 54 ms dengan 100 paket berhasil diterima tanpa kehilangan data. Pengujian *speedtest* juga menunjukkan nilai *ping* sebesar 34 ms, *jitter* sebesar 4 ms, kecepatan *download* sebesar 21,5 Mbps, dan *upload* sebesar 4,6 Mbps. Hasil tersebut menunjukkan bahwa jaringan yang digunakan memiliki kualitas yang cukup baik untuk mendukung proses pengiriman data sensor ke *cloud database* secara *real-time*.

Pada pengujian sistem keseluruhan, komunikasi antara *access point* dan alat pendeteksi tetap berjalan dengan baik pada jarak 5 meter. Ketika jarak antara alat dan sumber asap dibuat 5 meter, sensor PMS5003T mampu mendeteksi peningkatan konsentrasi partikulat dengan cepat sehingga perubahan nilai PM segera ditampilkan pada LCD dan sistem langsung mengaktifkan LED serta buzzer. Sementara itu, ketika jarak alat terhadap sumber asap diperbesar menjadi 10 meter, komunikasi data tetap berlangsung dengan baik, namun konsentrasi asap yang diterima sensor menjadi lebih kecil sehingga diperlukan sampel pembakaran yang lebih besar agar perubahan nilai PM dapat terbaca dengan jelas. Hal tersebut menunjukkan bahwa kemampuan sensor dipengaruhi oleh jarak terhadap sumber partikulat, sedangkan sistem komunikasi menggunakan antena mikrostrip tetap bekerja secara stabil.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dirancang telah memenuhi tujuan penelitian, yaitu mampu mendeteksi konsentrasi PM1, PM2.5, dan PM10, mengklasifikasikan kualitas udara menjadi kondisi Aman, Waspada, dan Tidak Sehat, memberikan peringatan melalui LED dan buzzer, serta mengirimkan data ke aplikasi Android melalui jaringan *Wi-Fi* menggunakan antena mikrostrip *Triangular Patch Array* 1×2. Antena yang direalisasikan juga berhasil meningkatkan kualitas komunikasi nirkabel dan tetap dapat digunakan secara optimal setelah penyesuaian *channel access point* ke *Channel* 11 yang sesuai dengan frekuensi resonansi hasil fabrikasi.

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta