

DESAIN DAN IMPLEMENTASI ANTENA *MICROSTRIP ARRAY* 8 ELEMEN PADA FREKUENSI 2,4 GHZ UNTUK MENUNJANG *WIRELESS LOCAL AREA NETWORK*

Koesmarijanto¹⁾, Hendro Darmono²⁾, Moh. Abdullah Anshori³⁾

Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia

¹⁾koesmarijanto@polinema.ac.id

²⁾hendro.darmono@gmail.com

³⁾moh.ashori@polinema.ac.id

Abstrak

Wireless Local Area Network (WLAN) sering disebut jaringan *wireless* atau nirkabel dan berfungsi untuk menjangkau wilayah LAN yang sulit dicapai dengan kabel tembaga biasa. Konektivitas antara satu jaringan komputer dengan jaringan komputer yang lain terhubung secara *wireless* yang menggunakan antena mikrostrip beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz. Permasalahan utama pada komunikasi *wireless* sering kali level daya yang diterima dibawah ambang level sinyal penerimaan dengan meningkatkan *gain* antena. Antena yang didesain dalam penelitian ini adalah antena mikrostrip planar array delapan elemen. Tujuan penelitian ini adalah mendesain dan membuat antena mikrostrip *planar array* 8 elemen untuk menerima sinyal WLAN pada frekuensi 2442 MHz. Desain antena dibuat secara simulasi dengan menggunakan software IE3D dan selanjutnya diealisasi. Hasil simulasi menggunakan *software* IE3D, frekuensi 2442 MHz *return loss* = -27,996 dB; *voltage standing wave ratio (VSWR)* = 1,084; faktor pantulan, *IFI* = 0,04, dan polarisasi *directional*, sedangkan hasil pengujian secara eksperimen pada frekuensi 2442 MHz didapatkan *return loss* = -28 dB; *voltage standing wave ratio (VSWR)* = 1,083; faktor pantulan, *IFI* = 0,04, dan polarisasi *directional*. Parameter *gain* pada simulasi sebesar 11,9 dB, sedangkan eksperimen 8,55 MHz. Kesimpulan yang diperoleh dari hasil simulasi dan eksperimen di laboratorium didapatkan bahwa parameter *return loss*, *VSWR*, faktor pantulan *IFI*, polardiasi, dan polarisasi adalah mendekati sama. *Gain* pada simulasi sebesar 3 dBi dibandingkan eksperimen. Implementasi untuk WLAN nilai *gain* eksperimen yang diperoleh yaitu sekitar 7 sampai 9 dBi.

Kata Kunci: mikrostrip, WLAN, planar array, directional

Abstract

Wireless Local Area Network (WLAN) is often called a *wireless network* and serves to reach LAN areas that are difficult to reach with ordinary copper cables. The connectivity between one computer network and another is connected wirelessly using a microstrip antenna operating at a frequency of 2.4 GHz. The main problem in wireless communication is often the received power level is below the reception signal level threshold by increasing the antenna gain. The antenna designed in this study is an eight-element planar array microstrip antenna. The purpose of this research is to design and manufacture an 8 element planar array microstrip antenna to receive WLAN signals at a frequency of 2442 MHz. Antenna design is made by simulation using IE3D software and then realized. Simulation results using IE3D software, frequency of 2442 MHz *RL* = -27,996 dB; *VSWR* = 1.084; reflection factor, *IFI* = 0.04, and directional radiation polarization, while the experimental test results at a frequency of 2442 MHz obtained *RL* = -28 dB; *VSWR* = 1.083; reflection factor, *IFI* = 0.04, and directional radiation polarization. The gain parameter in the simulation is 11.9 dB, while the experiment is 8.55 MHz. The conclusion obtained from the results of simulations and experiments in the laboratory is that the parameters of return loss, *VSWR*, reflection factor *IFI*, polarization, and polarization are nearly the same. The gain in the simulation is 3 dBi compared to the experiment. Implementation for WLAN experimental gain value obtained is about 7 to 9 dBi.

Keyword: microstrip, WLAN, planar array, directional

1. PENDAHULUAN

Wireless Local Area Network (WLAN) [1][2] disebut jaringan *wireless* atau nirkabel dan berfungsi untuk menjangkau wilayah LAN yang sulit dicapai dengan kabel tembaga biasa. Dalam hal ini dilihat dari arsitektur yang ada, komunikasinya dapat dilakukan antara *Access Point (AP) wireless* yang tersambung secara

wireless ke *client*. Dengan antena mikrostrip array, maka sinyal dapat dipancarkan kearah yang diinginkan dan aplikasi yang dibutuhkan dari antena tersebut. Peran antena yang menggunakan mikrostrip beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz pada sisi jaringan sangat berguna untuk komunikasi *wireless* yang terpadu, frekuensi tersebut sudah banyak digunakan di seluruh dunia karena

frekuensi 2,4 GHz merupakan standar dari protokol IEEE 802.11 b/g untuk WLAN.

Secara umum, semua antenna yang terdiri dari radiator permukaan datar atau lengkung atau variasi dan setidaknya satu *feed* yang disebut '*planar antenna*'. *Microstrip patch antenna* [4][5] dicetak, slot antenna, tergantung pada plat antenna, antenna *planar inverted-L* dan *inverted-F* (PILAs dan PIFAs), lembaran monopoles dan dipole, roll monopoles, adalah antenna planar khas digunakan secara ekstensif dalam sistem komunikasi nirkabel. Biasanya, mereka menunjukkan manfaat sederhana seperti struktur, biaya rendah, *low profile*, ukuran kecil, kemurnian polarisasi yang tinggi atau *bandwidth* lebar [3].

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Parameter Dasar Antena

Parameter dasar antenna sangat diperlukan dalam perancangan antenna, yaitu sebagai dasar untuk menentukan bentuk fisik antenna. Untuk mengetahui performa atau karakteristik antenna, maka diperlukan pengetahuan parameter dasar antenna. Beberapa parameter penting yang akan dibahas antara lain adalah: pola radiasi, keterarahan (*directivity*), *gain*, *return loss*, VSWR, impedansi input, *bandwidth*, dan polarisasi [6].

Pola Radiasi

Pola radiasi antenna [6] didefinisikan "sebagai gambaran secara grafis dari sifat-sifat radiasi suatu antenna sebagai fungsi koordinat ruang". Pola radiasi ditentukan pada medan jauh dan digambarkan sebagai koordinat arah. Sifat-sifat radiasi ini mencakup intensitas radiasi, kekuatan medan (*field strength*), dan polarisasi [6].

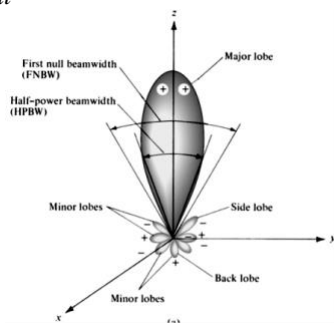
Daya yang diradiasikan oleh antenna isotropik adalah P , kemudian daya dipancarkan sejauh r , maka besarnya kerapatan daya S adalah [6]

$$S = \frac{P}{\text{area}} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (2-1)$$

Sehingga besarnya intensitas radiasi U_i untuk antenna isotropis adalah

$$U_i = r^2 S = \frac{P}{4\pi} \quad (2-2)$$

Gambar 1 menunjukkan pola radiasi antenna *directional*



Gambar 1. Pola radiasi antenna *directional* [7]

Return Loss (RL)

Return loss [7] adalah salah satu parameter digunakan untuk mengetahui berapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. RL adalah parameter seperti VSWR yang menentukan *matching* antara antenna dan *transmitter*.

Koefisien pantulan (*reflection coefficient*) adalah perbandingan antara tegangan pantulan dengan tegangan maju (*forward voltage*). Antena yang baik akan mempunyai nilai *return loss* dibawah -10 dB, yaitu 90% sinyal dapat diserap, dan 10%-nya terpantulkan kembali. Koefisien pantul dan *return loss* didefinisikan sebagai

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} \quad (2-3)$$

$$RL = -20 \log \Gamma \text{ (dB)} \quad (2-4)$$

dengan :

Γ = koefisien pantul

V_r = tegangan gelombang pantul (*reflected wave*)

V_i = tegangan gelombang datang (*incident wave*)

RL = *Return Loss* (dB)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Jika kondisi *matching* tidak tercapai, kemungkinan akan terjadi pemantulan dan hal ini yang menyebabkan terjadinya gelombang berdiri (*standing waves*). Dimana karakteristik ini disebut *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) [7]. Persamaan untuk menentukan besarnya VSWR adalah

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (2-5)$$

Dari Persamaan (9) besarnya koefisien pantul (Γ) menentukan besarnya VSWR. Persamaan untuk koefisien pantul adalah [7] :

$$\Gamma = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{in} - Z_s}{Z_{in} + Z_s} \quad (2-6)$$

dengan :

Γ = koefisien pantul

Z_{in} = impedansi masukan antenna

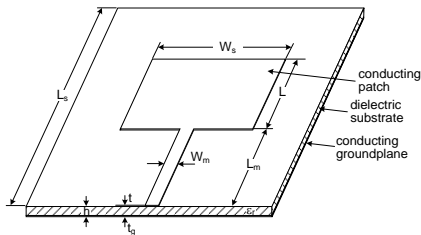
Z_s = impedansi sumber

VSWR adalah pengukuran dasar dari impedansi *matching* antara *transmitter* dan antenna. Semakin tinggi nilai VSWR maka semakin besar pula *mismatch*, dan semakin minimum VSWR maka antenna semakin *matching*. Dalam perancangan, antenna biasanya memiliki nilai impedansi masukan sebesar 50 Ω atau 75 Ω .

2.2 Antena Mikrostrip

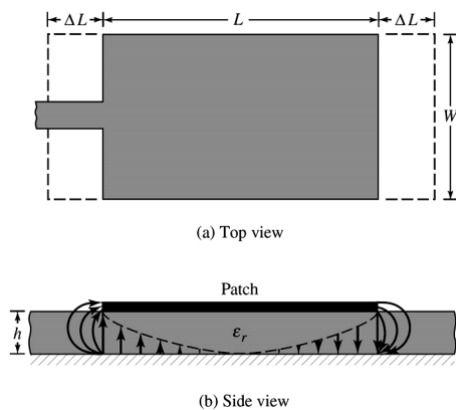
Mikrostrip adalah konduktor dari tembaga (*metallic strip*) yang sangat tipis ($t \ll \lambda_0$) yang terdapat pada satu sisi permukaan substrat dielektrik dan pada sisi lain dari substrat dielektrik

tersebut juga terhadap lapisan konduktor. Lapisan konduktor terletak di bawah substrat dielektrik ini berfungsi sebagai bidang pertanahan (*ground plane*) [7]. Lapisan konduktor tembaga yang terletak di atas substrat dielektrik adalah berfungsi sebagai elemen peradiasi (*radiating element*). Struktur dasar saluran mikrostrip terdiri atas panjang *strip*, lebar *strip* konduktor W , tinggi substrat dielektrik h , tebal *strip* konduktor t , dan konstanta permitivitas dielektrik substrat ϵ_r , sebagaimana yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Pencatuan Antena Mikrostrip Segi Empat Dengan Saluran Mikrostrip

Nilai ϵ_{reff} lebih kecil daripada ϵ_r , karena penjalaran medan di sekitar tepi *patch* tidak terbatas dalam substrat dielektrik, tetapi juga menyebar seperti yang ditunjukkan Gambar 3 (b).



Gambar 3. Panjang Efektif Patch Mikrostrip Segi Empat [7]

Efek penjalaran, *patch* dari antena mikrostrip tampak lebih besar dari dimensi fisik. Bidang-E (xy -plane), ditunjukkan pada Gambar 37 dengan dimensi *patch* kira-kira diperpanjang pada setiap ujung dengan jarak ΔL , yang merupakan fungsi konstanta dielektrik efektif ϵ_{reff} dan rasio lebar-dan-tinggi (W/h).

Bidang tepi sepanjang lebar dimodelkan sebagai slot radiasi dan secara elektrik *microstrip path antenna* [10] terlihat lebih besar dari dimensi fisiknya. Dimensi *patch* diperbesar pada masing-masing tepi dengan jarak ΔL , yang diberikan oleh persamaan berikut [7] :

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{\text{reff}} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{\text{reff}} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,813 \right)} \quad (2-7)$$

Untuk memberikan frekuensi resonan f_r , panjang efektif diberikan oleh persamaan :

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (2-8)$$

Panjang *patch* efektif antena L_{eff} sekarang menjadi:

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L \quad (2-9)$$

sehingga, $L = L_{\text{eff}} - 2\Delta L$ (2-10)

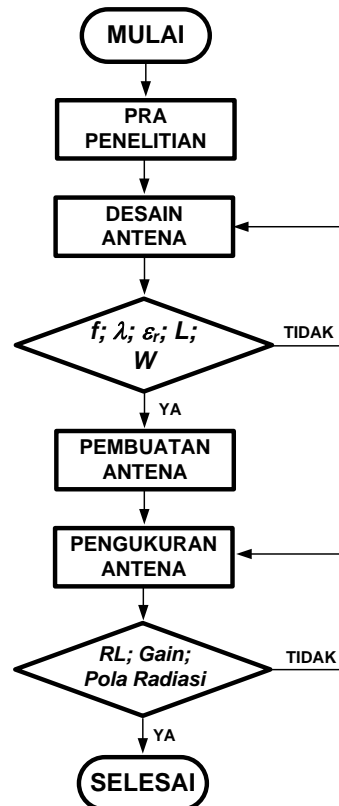
Untuk radiasi efisien, lebar W diberikan oleh persamaan :

$$W = \frac{c}{2f_r \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (2-11)$$

dengan :

- h = tebal substrat (mm)
- ϵ_{reff} = permitivitas dielektrik relatif efektif
- c = kecepatan cahaya di udara bebas (m/det)
- W = lebar saluran mikrostrip (mm)
- L_{eff} = panjang saluran mikrostrip efektif (mm)
- L = panjang saluran mikrostrip (mm)
- f_r = frekuensi resonan
- ϵ_0 = permitivitas ruang bebas ($8,854 \times 10^{-12}$ F/m)
- μ_0 = permeabilitas ruang bebas $4\pi \times 10^{-7}$ Tm/A
- ϵ_r = permitivitas dielektrik relatif substrat

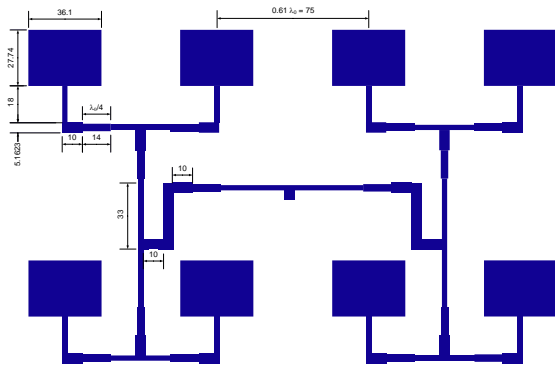
3. METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 4. Diagram Alur Metode Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

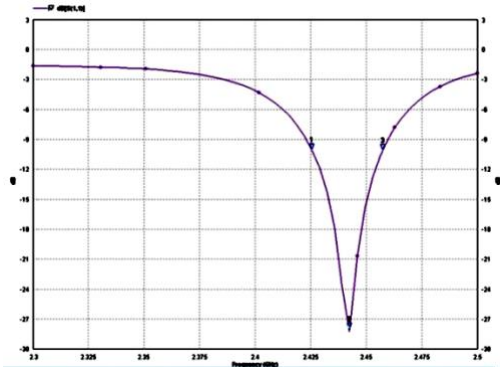
Hasil desain antenna ditunjukkan seperti Gambar 5.



Gambar 5. Konstruksi antenna *patch* mikrostrip planar array 8 elemen

4.1 Simulasi

- Return Loss

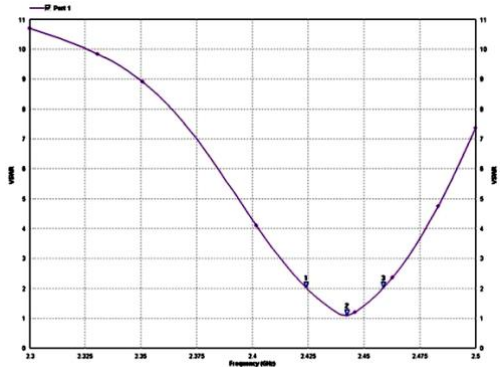


Gambar 6. Return loss hasil simulasi menggunakan IE3D

Gambar 6 menunjukkan $RL = -27,996$ dB; $f = 2,442$ GHz; range frekuensi 2,4255 GHz sampai 2,4574 GHz.

- Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

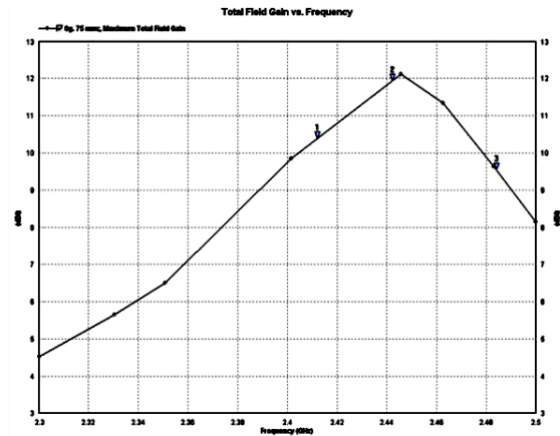
VSWR sangat menentukan kondisi sesuai dengan impedansi karakteristik saluran atau tidak yaitu dengan impedansi 50Ω , sehingga antenna ini layak untuk digunakan dengan ketentuan bahwa $VSWR < 2$.



Gambar 7. VSWR hasil simulasi menggunakan software IE3D

Gambar 7 menunjukkan pada frekuensi 2,442 GHz, $VSWR = 1,084$. $VSWR = 2$ yang diijinkan pada range frekuensi 2,424 GHz sampai 2,458 GHz, sehingga antenna mempunyai bandwidth BW = 34 MHz.

- Gain

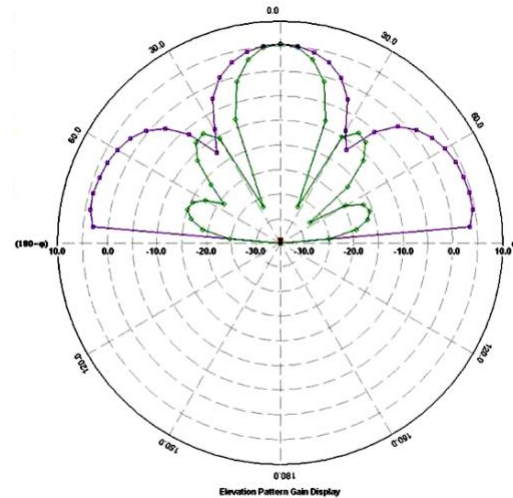


Gambar 8. Gain vs Frequency

Gambar 8 menunjukkan pada frekuensi 2,442 GHz, $gain = 11,9$ dBi, dengan range frekuensi yang digunakan semua negara adalah $f = 2,412$ GHz, $gain = 10,39$ dBi, sedangkan $f = 2,484$ GHz, $gain = 9,55$ dBi.

- Polaradiasi

Bentuk polaradiasi hasil simulasi ditunjukkan Gambar 9 yang merupakan polaradiasi *directional*.



Gambar 9. Polaradiasi antenna mikrostrip *planar* array 8 elemen

4.2 Pengukuran

- Return Loss

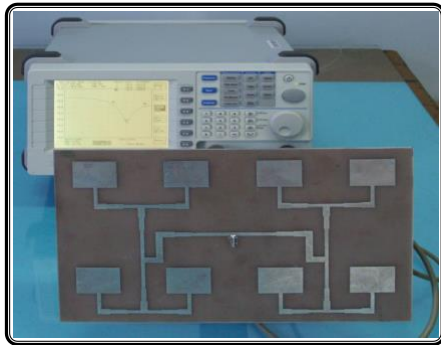
Gambar 11 menunjukkan Return Loss antenna *patch* mikrostrip *planar* array 8 elemen mempunyai nilai $RL = -28,0$ dB, pada frekuensi 2,442 GHz, karena pada level referensi 4,7 dBm dan pada Directional Coupler (DC) mempunyai pelemahan sebesar 20

dB, sehingga nilai $RL = -52,7 \text{ dB} - (-20 - 4,7) \text{ dB} = -28,0 \text{ dB}$ yang ditunjukkan Tabel 1. Pada frekuensi 2,442 GHz nilai koefisien pantul dan VSWR sebagai berikut,

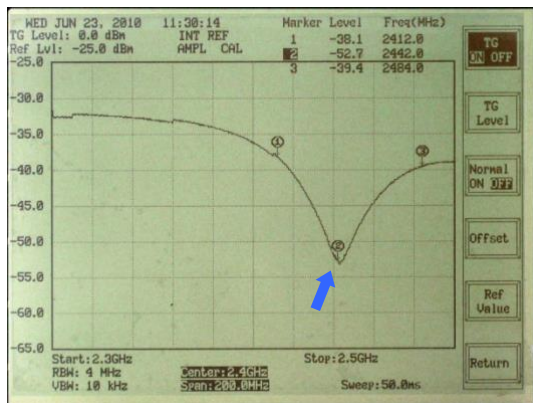
$$RL = 20 \log |\Gamma|$$

$$|\Gamma| = 10^{-RL/20} = 10^{-28,0/20} = 0,04$$

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} = \frac{1 + 0,04}{1 - 0,04} = 1,083$$



Gambar 10. Set-up pengukuran return loss



Gambar 11. Hasil pengukuran return loss antenna mikrostrip 8 elemen

TABEL 1. HASIL PENGUKURAN RETURN LOSS

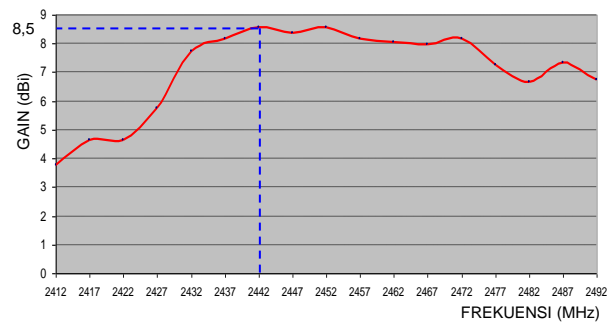
No.	Frek. (GHz)	Level Ref. (dBm)	Pelemahan DC (dB)	RL terbaca (dB)	RL (dB)	RII	VSWR
1	2,412	-4,5	-20	-38,1	-	0,209	1,528
2	2,442	-4,7	-20	-52,7	-28,0	0,040	1,083
3	2,484	-4,4	-20	-39,4	-15,0	0,178	1,433

- Gain

Hasil pengukuran gain antenna yang diuji untuk frekuensi kerja dari antenna mikrostrip planar array 8 elemen dan nilai rata-rata dari hasil pengukuran yang ditunjukkan Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengukuran gain antenna mikrostrip planar array 8 elemen

Frekuensi (MHz)	P _{REF} (dBm)	P _{UT} (dBm)	G _{UT} (dBi)
2412	-57.3	-55.7	3.75
2417	-57.1	-54.6	4.65
2422	-55.3	-52.8	4.65
2427	-55.2	-51.6	5.75
2432	-56.7	-51.1	7.75
2437	-55.1	-49.1	8.15
2442	-54.1	-47.7	8.55
2447	-54.9	-48.7	8.35
2452	-55.7	-49.3	8.55
2457	-56.1	-50.1	8.15
2462	-56.3	-50.4	8.05
2467	-56.9	-51.1	7.95
2472	-57.2	-51.2	8.15
2477	-57.6	-52.5	7.25
2482	-58.1	-53.6	6.65
2487	-59.4	-54.2	7.35
2492	-60.4	-55.8	6.75
Rata-rata			6.34



Gambar 12. Grafik gain fungsi frekuensi

TABEL 3. HASIL PENGUKURAN GAIN F = 2,442 GHz

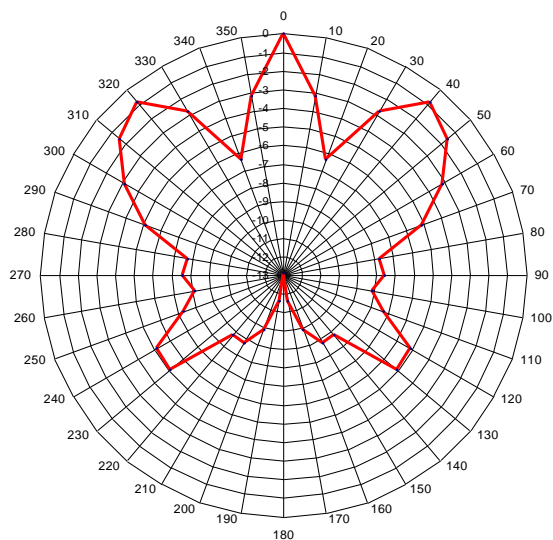
SAMPLE	P _{REF} (dBm)	P _{UT} (dBm)	G _{UT} (dBi)
1	-54,0	-47,8	8,35
2	-54,4	-48,1	8,45
3	-53,9	-47,7	8,35
4	-54,1	-47,9	8,35
5	-54,4	-48,0	8,55
6	-53,8	-47,7	8,25
7	-54,1	-47,8	8,45
8	-53,9	-48,0	8,05
9	-54,0	-47,9	8,25
10	-53,8	-47,7	8,25
RATA-RATA			8,33

- Pola Radiasi

Pengukuran polaradiasi untuk mendapatkan distribusi energi area yang bisa dicakup, sehingga jarak jangkauan semakin jauh. Parameter ini merupakan parameter yang memberikan performa arah dari antenna yang terpasang. Dari hasil pengukuran polaradiasi per 10° ditunjukkan Tabel 4 dan diagram polar ditunjukkan Gambar 13.

TABEL 4. HASIL PENGUKURAN POLARADIASI

Sudut (derajat)	Level terima (dBm)	Normalisasi
0	-47.9	0
10	-51.1	-3.2
20	-54.3	-6.4
30	-50.7	-2.8
40	-48.7	-0.8
50	-49.5	-1.6
60	-51.1	-3.2
70	-53.0	-5.1
80	-55.7	-7.8
90	-55.5	-7.6
100	-56.1	-8.2
110	-55.2	-7.3
120	-53.1	-5.2
130	-53.0	-5.1
140	-56.7	-8.8
150	-56.7	-8.8
160	-57.8	-9.9
170	-59.5	-11.6
180	-61.0	-13.1
190	-59.5	-11.6
200	-57.8	-9.9
210	-56.7	-8.8
220	-56.7	-8.8
230	-53.0	-5.1
240	-53.1	-5.2
250	-55.2	-7.3
260	-56.1	-8.2
270	-55.5	-7.6
280	-55.7	-7.8
290	-53.0	-5.1
300	-51.1	-3.2
310	-49.5	-1.6
320	-48.7	-0.8
330	-50.7	-2.8
340	-54.3	-6.4
350	-51.1	-3.2



Gambar 13. Polaradiasi *directional* antenna mikrostrip *planar array* 8 elemen

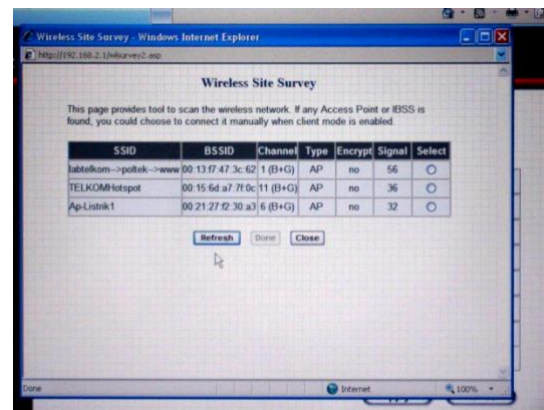
Hasil pengukuran pola radiasi ditunjukkan Gambar 13 bahwa polaradiasi antenna mikrostrip *planar array* 8 elemen mempunyai polaradiasi *directional*.

4.3 Implementasi

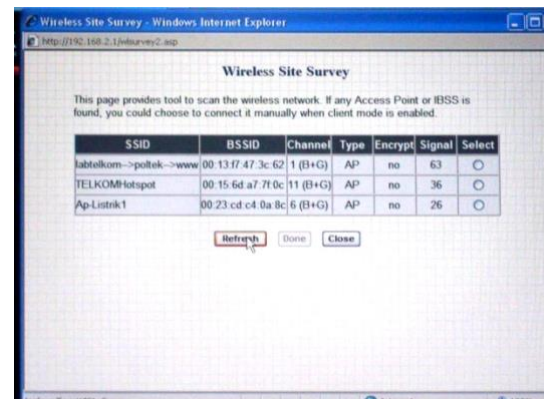
Perbandingan implementasi antenna mikrostrip dengan antenna *road*.



Gambar 14. Konfigurasi implementasi WLAN



Gambar 15. Hasil kuat sinyal terima antenna *road*



Gambar 16. Hasil kuat sinyal terima antenna mikrostrip

Hasil implementasi menggunakan *access point* menunjukkan bahwa kuat sinyal terima antenna *road* (batang) sebesar 56 % yang ditunjukkan Gambar 15, sedangkan menggunakan antenna mikrostrip sebesar 63 % yang ditunjukkan Gambar 16. Dengan demikian bahwa antenna mikrostrip mempunyai *gain* lebih tinggi dibandingkan dengan antenna batang.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, pengujian, analisis dan implementasi pada antenna *pach* mikrostrip *planar array* 8 elemen untuk menentukan

parameter atau besaran yang diinginkan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Simulasi

Frekuensi 2442 MHz antenna *patch* mikrostrip *planar array* 8 elemen mempunyai *return loss* = -27,996 dB; VSWR pada frekuensi 2442 MHz = 1,084; mulai frekuensi 2424 MHz hingga 2458 MHz, sehingga *bandwidth* (BW) = 34 MHz. Gain antenna *patch* mikrostrip *planar array* 8 elemen sebesar 11,9 dBi. Polaradiasi adalah *directional*.

2. Pengukuran

Frekuensi 2442 MHz, antenna mempunyai *return loss* sebesar - 28 dB, koefisien pantul Γ = 0,04, dan VSWR = 1,083, dan gain = 6,6 dBi. Polaradiasi antenna *patch* mikrostrip *planar array* 8 elemen adalah *directional*

3. Implementasi pada WLAN, antenna *patch* mikrostrip *planar array* 8 elemen mengalami peningkatan penerimaan sinyal sebesar 6 sampai 7 dB pada satu arah.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hidayat, M. Reza. Thio Fajar Shantony. 2021. Analisis Jaringan Wireless Local Area Network (Wlan) Di Gedung Teknik Elektro Universitas Jenderal Achmad Yani Untuk Layanan Video Live Streaming Youtube. Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan (e-Jurnal), Vol. 8, No. 2, JETT, Desember 2021.
- [2] Basak, Moumita. Prof. Siladitya Sen. 2017. *An Overview of Wireless Local Area Networks and Security System*. International Journal of Advanced Engineering, Management and Science (IJAEMS), Vol-3, Issue-2, Feb-2017.
- [3] Chen, Zhe Ning. Chia, Michael YM. 2006. *Broadband Planar Antennas Design and Applications*. John Wiley & Sons, Ltd.
- [4] Mohammed, Abdullahi SB, et al. 2019. *Microstrip Patch Antenna: A Review and the Current State of the Art*. Jour of Adv Research in Dynamical & Control Systems, Vol. 11, 07-Special Issue.
- [5] R, Rashmitha, et al. 2020. *Microstrip Patch Antenna Design for Fixed Mobile and Satellite 5G Communications*. Procedia Computer Science. Volume 171, 2020, Pages 2073-2079.
- [6] Kim, Jae Hee. Sang Won Choi. 2020. *A Deep Learning-Based Approach for Radiation Pattern Synthesis of an Array Antenna*. IEEE Acces Vol. 8, December 30, 2020.
- [7] Balanis, Constantine A. 2016. *Antena Theory Analysis and Design*. 4th ed. John Wiley and Sons, New York.
- [8] Muharom, Dimas Mahesa., Erma Triawati CH. 2019. *Design And Implementation Square Patch Microstrip Antenna At Frequency 2.3 GHz*. Journal of Electrical Engineering, Mechatronic and Computer Science (JEEMCS) Vol.2, No. 1, February 2019.
- [9] Hakeem, M. J. M. M. Nahas. 2021. *Improving the Performance of a Microstrip Antenna by Adding a Slot into Different Patch Designs*. Vol. 11 No. 4 (2021): August, 2021
- [10] Didi, Salah-Eddine, et al. 2022. *Design of a microstrip antenna patch with a rectangular slot for 5G applications operating at 28 GHz*. TELKOMNIKA Telecommunication Computing Electronics and Control Vol. 20, No. 3, June 2022, pp. 527-536.