

ANTENA MIKROSTRIP ARRAY 1×4 INSET-FED PATCH PERSEGI untuk WIFI 2,4 GHz ACCESS POINT

ANTENNA MICROSTRIP ARRAY 1×4 INSET-FED
RECTANGULAR PATCH for WIFI 2,4 GHz ACCESS POINT

Pandu Andika Darmawan¹, Levy Olivia Nur², Heroe Wijanto³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹panduandika70@gmail.com, ²levy.olivia@telkomuniversity.ac.id, ³heroewijanto@telkomuniversity.ac.id

ABSTRAK

WiFi adalah salah satu jenis jaringan komputer yang menggunakan gelombang radio sebagai alat atau media transmisi data. Salah satu perangkat penunjang WiFi adalah *access point*. Antena yang dipakai di *access point* diharuskan memiliki nilai *gain* > 5 dBi agar mampu memaksimalkan area pancar. Agar dapat menjangkau area yang luas dan melayani banyak *user*. Selain itu antena yang digunakan harus sesuai dengan dimensi *access point*.

Antena yang dirancang berupa antena mikrostrip yang mudah difabrikasi dan dengan dimensi minimum. Antena mikrostrip juga dipilih karena mudahnya menyesuaikan dengan dimensi dan ukurannya yang ringan. Metode *inset-fed* dipilih untuk meningkatkan nilai *return loss* dan mempermudah dalam pengaturan *bandwidth*. Metode *array* 1x4 dipilih untuk meningkatkan nilai *gain*.

Pada Tugas Akhir ini, didapatkan nilai pada simulasi *return loss* di -29 dB di 2,4 GHz, *gain* 7,38 dBi dengan lebar *bandwidth* 100 MHz pada rentang frekuensi 2,350 – 2,450 GHz. Pada pengukuran hasil realisasi didapatkan *return loss* -28,46 dB, *gain* 8,64 dBi dengan lebar *bandwidth* 108 MHz pada rentang frekuensi 2,351 – 2,458 GHz. Ini membuktikan dengan menggunakan *inset-fed* dan *array* mampu meningkatkan *gain* dan *return loss*.

Kata kunci : Wifi 2,4 GHz, Mikrostrip, Titik Akses, Array 1×4, Inset-fed

ABSTRACT

WiFi is one type of computer network that uses radio waves as a means or data transmission medium. One of the supporting devices WiFi is *access point*. The antenna used in the *access point* is required to have a *gain* value > 5 dBi in order to be able to maximize the transmit area. In order to reach a large area and serve many users. In addition, the antenna used must be in accordance with the *access point* dimension.

The designed antenna is a microstrip antenna that is easy to fabricate and with minimum dimensions. Microstrip antenna is also chosen because it is easy to adjust to its dimensions and light size. The *inset-fed* method is chosen to increase the *return loss* value and simplify the *bandwidth* setting. The 1x4 *array* method is chosen to increase the *gain* value.

In this Final Project, we get the value on the simulation of *return loss* at -29 dB at 2,4 GHz, 7,38 dBi *gain* with *bandwidth* width 100 MHz in the frequency range 2,350 - 2,450 GHz. In the measurement of the realization results obtained *return loss* -28,46 dB, *gain* 8,64 dBi with a *bandwidth* width of 108 MHz in the frequency range 2,351 - 2,458 GHz. This proves by using *inset-fed* and *arrays* to increase *gain* and *return loss*.

Keyword: WiFi 2,4GHz, Access Point, Mikrostrip, Array 1×4, Inset-fed.

1. Pendahuluan

WLAN merupakan suatu jenis jaringan komputer yang menggunakan gelombang radio sebagai media transmisi data. Salah satu teknologi yang bekerja pada jaringan ini adalah WiFi, sesuai dengan standar IEEE 802.11. Dalam topik kali ini diambil salah satu standarnya yaitu IEEE 802.11g. Kebutuhan akan WiFi sudah menjadi hal yang penting bagi setiap orang tak hanya di perkantoran namun juga di rumah penduduk biasa dalam hal itu dibutuhkan perangkat yang bernama *access point*. Dalam penerapannya, salah satu perangkat yang menunjang dalam penggunaan teknologi *access point* WiFi adalah antena. Antena adalah alat digunakan untuk mentransfer gelombang elektromagnetik yang terbimbing menjadi gelombang yang diradiasikan

dalam medium bebas untuk dipancarkan ke antena penerima. Selain itu, antena pada WiFi juga berfungsi sebagai penguat daya pancar dan arah pancar. Dalam hal ini, antena mikrostrip memainkan peran utama dalam komunikasi nirkabel karena memiliki banyak keuntungan.

Pada perancangan sebelumnya yang dilakukan Sabrina [1] didapatkan nilai *return loss* dibawah -11,70 dB, *bandwidth* 100 MHz namun nilai *gain* masih dibawah 5 dBi dan arah *omnidirectional*. Nilai *gain* yang kecil kemungkinan karena menggunakan 1 *patch* saja. Pada perancangan yang lain yang dilakukan Sherlyta [2] didapatkan *bandwidth* 82,27 MHz namun menggunakan metode celah udara yang sulit untuk direalisasikan. Pada perancangan lainnya oleh Dwi Hapsari [3] didapat nilai *gain* 5,06 dBi namun frekuensi bergeser menjadi 2,404 GHz dan *gain* maksimal 5,4 dBi di frekuensi 3,555 GHz.

Pada penerapannya penggunaan *access point* menyesuaikan kebutuhan *user* yaitu bentuk ruangan dan jumlah *user*. Pada WiFi standar 802.11g dari IEEE minimal *gain* untuk *access point* aplikasi WiFi adalah 5 dBi [13]. Pemilihan *groundplane* yang full dimaksudkan agar mendapat nilai *gain* yang maksimal dan agar pola pancar menjadi unidirectional. Frekuensi 2,4 GHz dipilih agar mendapat jarak pancar yang jauh. Metode *Inset-fed* dipilih untuk mendapat nilai *return loss* dan memudahkan optimasi [17]. Array 1x4 dipilih selain meningkatkan *gain* juga agar bentuk polarisasinya terarah [7]. Teknik catuan *corporate-feed network* dipilih karena dengan menggunakan teknik catuan ini setiap nilai amplitudo dan fasa pada antena sudah sama jadi memudahkan optimasi [7]. Pada tugas akhir ini akan dirancang sebuah antena untuk *access point* dengan spesifikasi diatas namun dengan ukuran yang minimalis juga.

2. Dasar Teori

2.1 WiFi

WiFi merupakan kependekan dari *Wireless Fidelity* yaitu sebuah media penghantar komunikasi data tanpa kabel yang bisa digunakan untuk komunikasi atau mentransfer program dan data dengan kemampuan yang cepat. WiFi menggunakan standar komunikasi IEEE 802.11, hanya mencapai cakupan area tidak lebih dari ratusan meter saja. 802.11 adalah standar IEEE untuk W-LAN indoor.

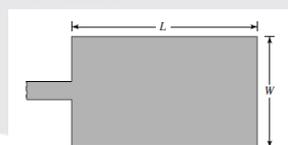
Standard IEEE 802.11 memiliki beberapa varian IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.11y, IEEE 802.11ac dan lain-lain. Pada tugas akhir ini menggunakan frekuensi kerja di 2.442 GHz yang digunakan pada standar IEEE 802.11b, 802.11g, 802.11n dan frekuensi 5.68 GHz yang digunakan pada standar IEEE 802.11a, 802.11n. [4]

Kelebihan dari 802.11g - kecepatan maksimum yang cepat; Rentang sinyal yang baik dan tidak mudah terhambat.

Kontra 802.11g - biaya lebih dari 802.11b; Peranti dapat mengganggu frekuensi sinyal yang tidak diatur.

2.2 Dimensi Antena Patch rektanguler [7]

Perancangan antena mikrostrip persegi dilakukan secara bertahap, yaitu: Patch persegi panjang sejauh ini merupakan konfigurasi yang paling banyak digunakan. Sangat mudah untuk menganalisa menggunakan model saluran transmisi dan rongga, yang paling akurat untuk substrat tipis. Pada perhitungan manual parameter-parameter yang sudah ditentukan sebelumnya dimasukkan kedalam persamaan untuk mendapat nilai dimensi antena yang diharapkan. Seperti frekuensi kerja, permitivitas relatif, ketebalan dielektrik dan ketebalan konduktor. Perhitungan dilakukan dengan rumus yang dicantumkan :



(a) Rectangular patch

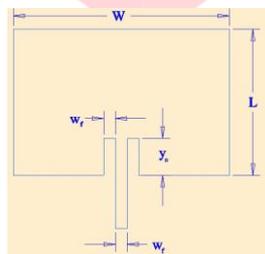
Gambar 1 Patch rektanguler

2.3 Antena Array [7]

Antena Tujuan utama dibuat konfigurasi array adalah untuk meningkatkan efisiensi, direktivitas dan Gain dari antena. Ini dikarenakan elemen tunggal memiliki karakteristik sudut beam yang besar, hal ini kurang cocok untuk komunikasi point to point yang membutuhkan gain besar. Oleh karena itu, elemen tunggal tidak direkomendasikan untuk komunikasi point to point. Antena array pada umumnya tersusun atas beberapa elemen peradiasi berupa susunan geometri dengan metode susunan tertentu sehingga didapatkan pola radiasi yang diinginkan

2.4 Metode Inset-feed [10]

Antena *inset-fed* memiliki keuntungan karena memiliki bentuk yang paling sederhana untuk diimplementasikan dan mudah untuk dipelajari perilaku dasar *patch* antenanya, dimana sifat-sifat antena dapat dengan mudah dikendalikan oleh *inset gap* dan *inset length*. Pengaturan pada nilai *inset gap* dan *inset length* dapat menurunkan nilai dari *return loss* antena [17]



Gambar 2 Contoh Realisasi Inset-Fed ^[10]

3. Perancangan

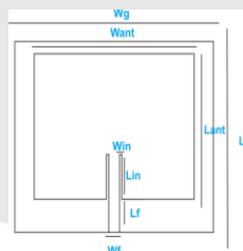
3.1. Spesifikasi Antena wifi [6]

Pada Perancangan kali ini diharapkan antena hasil perancangan memiliki spesifikasi seperti gambaran dibawah ini : [6]

- Frekuensi tengah : 2,4 GHz [1]
- Bandwidth : > 50 MHz
- Impedansi input : 50 Ω
- Polaradiasi : Unidirectional
- Polarisasi : Linier
- Gain : 5 dBi [13]
- Return loss : ≤ -10 dB
- Pemasangan Antena : Indoor, Outdoor dengan jarak terbatas
- Dimensi : $\leq 10 \times 20$ cm

Pada perancangan kali ini diambil frekuensi tengah 2,4 yaitu batas bawah namun memiliki bandwidth sekitar 100 MHz agar mampu mencapai 2,45 GHz.

3.2. Hasil perhitungan manual dan penentuan dimensi



Gambar 3 single patch hasil perhitungan

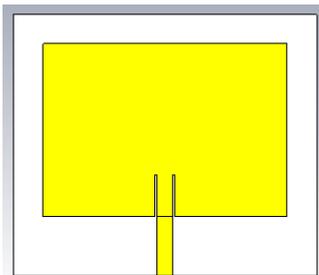
Tabel 1 Dimensi Awal

Parameter	Dimensi
W_{ant} (Lebar Antena)	37,35 mm
L_{ant} (Panjang Antena)	28,80 mm
W_g (Lebar Ground Plane)	46,95 mm
L_g (Panjang Ground Plane)	38,40 mm
W_f (Lebar Catuan)	2,65 mm
L_f (Panjang Catuan)	8,611 mm
W_{in} (Lebar inset fed)	0,6 mm
L_{in} (Panjang inset fed)	9.44 mm

3.3. Perancangan Antena single patch.

Pada simulasi single patch ditambahkan nilai insetfed ($L_{in}= 9.44$ mm & $W_{in} = 0.006$ mm) untuk meningkatkan nilai return loss agar lebih baik agar nilai bandwidth juga mampu meningkat ke 100 Mhz. Selain itu metode inset feed dipilih agar dapat mengurangi dimensi lebar antena namun tetap sesuai dengan parameter awal.

A Model Perancangan Antena (*Single Patch*)



Gambar 4 Model Single Patch Antena

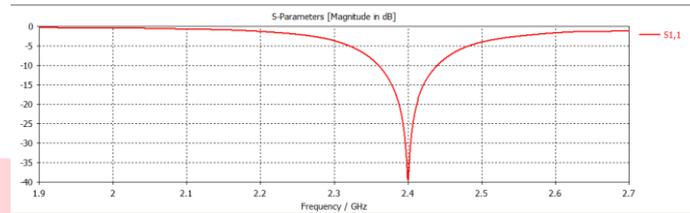
B Hasil Simulasi Rancangan Antena (*Single Patch*)

Simulasi pada *software* CST dilakukan berdasarkan pada perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut ini merupakan ukuran-ukuran dimensi antena dan catuannya.

Tabel 2 Optimasi 1

No.	Parameter	Nilai sesuai perhitungan (mm)	Nilai setelah optimasi (mm)
1	L	28.4	28.847
2.	Lf	17.17	9.85
3.	Lg	50.37	43.497
4.	Lin	9,44	7
5	W	45	40.2
6	Wf	2.85	2.65
7	Wg	47.64	48.95
8	Win	0,6	0.35

1) *Return loss*

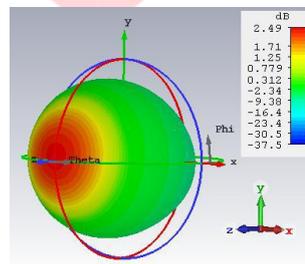


Gambar 5 Nilai dari Return loss optimasi 1

Pada Gambar 3.10 terlihat bahwa pada frekuensi kerja antenna mikrostrip 2.4 GHz, nilai *return loss* telah memenuhi kriteria karena berada pada nilai ≤ -10 dB, yaitu pada -39 dB.

2) Gain

Simulasi ini menunjukkan bahwa nilai *gain* antenna yang dihasilkan adalah sebesar 2.49 dB berkurang dari nilai gain sebelumnya karena ada pengurangan dimensi dari antenna nya. Nilai ini masih belum sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan, yaitu pada sekitar 8 dB. Oleh karena itu, dilakukan optimasi lagi pada simulasi dengan cara menyusun antenna. 27



Gambar 6 Nilai dari Gain setelah optimasi 1

3.4. Optimasi 2 Metode Array

Sebelum melakukan perancang antenna dilakukan perhitungan array faktor supaya mendapat nilai gain sesuai dan menentukan jumlah array yang dibutuhkan dengan persamaan (2.16 – 2.17) :

Dengan nilai $d = \lambda/4$, $N = 4$, $\theta = 90^\circ$, $\beta = 0^\circ$, dan $a_n = 1$ V

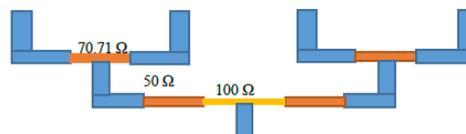
Didapatkan $AF = 2,861743275$ (Numerik)

Maka gain total yang didapatkan (2.15) :

$$G_T = G * AF$$

$$= 2,49 * 2,86 = 7,12 \text{ dB (sudah memenuhi syarat lebih dari 5 dBi)}$$

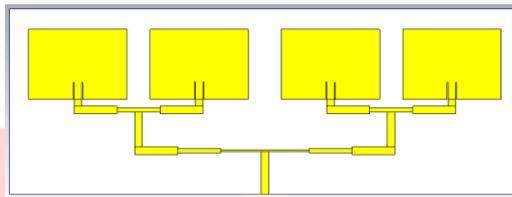
Pada simulasi ke 3 dilakukan penambahan nilai bandwidth dengan menggunakan metode *array* 1x4. Dalam perancangan antenna mikrostrip *array* linear empat elemen, digunakan tiga buah impedansi saluran pencatu, yaitu 50 Ω , 70.7 Ω , dan 100 Ω sesuai pada 2.2.5 point C. Berikut ini merupakan model perancangan antenna *array* linear untuk empat elemen :



Gambar 7 Model T-junction pencatuan antenna

Dengan mengguna Macros didapatkan $W_{50 \Omega} = 3,083 \text{ mm}$, $W_{70 \Omega} = 1,604 \text{ mm}$, $W_{100 \Omega} = 0,704 \text{ mm}$. Setelah itu nilai W di gunakan untuk menghitung panjang catuan dengan persamaan (2.19 - 2.22) .Didapatkan hasil $L_{50 \Omega} = 8,55 \text{ mm}$, $L_{70 \Omega} = 17,54 \text{ mm}$ dan $L_{100 \Omega} = 35,96 \text{ mm}$. Untuk Jarak antenna sendiri menggunakan rumus $\lambda/4$ didapatkan 31,25 mm

A Model Perancangan Antena Array 1x4



Gambar 8 Model Single Antena 1x4

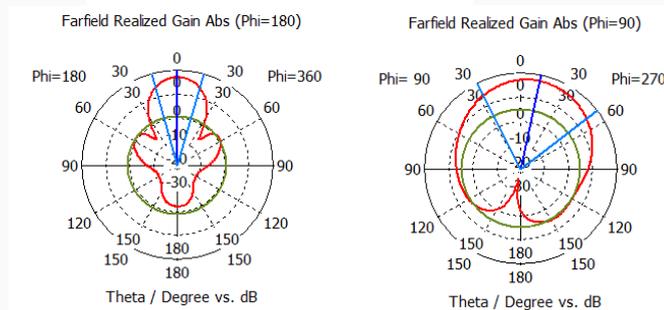
B Hasil Simulasi Rancangan Antena Array 1 x 4

Simulasi pada *software* CST dilakukan berdasarkan pada perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Berikut ini merupakan ukuran-ukuran dimensi antena dan catuannya.

Tabel 3 Dimensi Optimasi 2

No.	Parameter	Nilai sesuai perhitungan (mm)	Nilai setelah optimasi (mm)
1.	Da	31.25	16.6
2.	L	28.847	28.75
3.	Lf	9.85	9.85
4.	Lg	76.58	76.28
5.	Lin	7	7
6.	Lf 50	8.55	17.54
7.	Lf 70	17.54	17.54
8.	Lf 100	35.96	35.96
9.	W	40.2	40.2
10.	Wf	2.65	2.65
11.	Wg	270.56	208.54
12.	Win	0.35	0.35
13.	Wf 50	3,083	3,083
14.	Wf 70	1,604	1,604
15.	Wf 100	0,704	0,704

1) Pola Radiasi

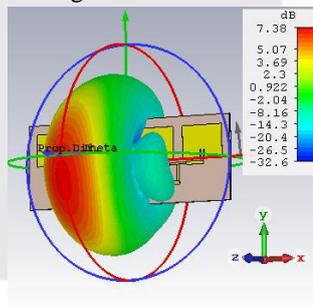


Gambar 9 Pola Radiasi setelah optimasi 2

Berdasarkan Gambar 9, pola radiasi yang dihasilkan oleh antena pada perancangan ini adalah pola radiasi *unidirectional* atau pola radiasi searah, sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

2) Gain

Simulasi ini menunjukkan bahwa nilai *gain* antena yang dihasilkan adalah sebesar 7.38 meningkat karena penggunaan array. Nilai sudah sesuai spesifikasi yang diharapkan, yaitu pada sekitar 8 dB. Nilai gain sendiri terbatas dengan dimensi maksimal di antara 10 x 20 cm

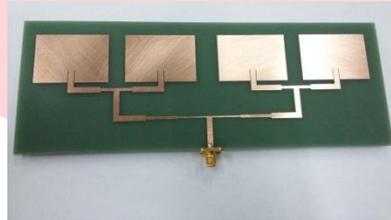


Gambar 10 Gain setelah optimasi 2

4. Pengukuran dan Analisis

4.1. Realisasi Antena

Setelah mendapatkan hasil yang paling optimal pada software simulator pada bab 3, maka rancangan antena telah siap untuk direalisasikan, Untuk realisasi menggunakan bahan tembaga sebagai *ground plane* dan *patch* antena dengan tebal 0,035 mm dan bahan FR4 dengan $\epsilon_r = 4,6$ sebagai *substrate* dengan tebal 1,6 mm. Setelah antena dicetak kemudian diukur parameter-parameternya pada ruangan anti gema. Pada Tugas Akhir ini, ada beberapa parameter yang akan diukur, yaitu *return loss*, *bandwidth*, impedansi masukan, pola radiasi, polarisasi, serta *gain*. Berikut ini merupakan antena hasil fabrikasi berdasarkan ukuran akhir pada simulasi dengan ukuran 208,54 x 7,62 cm.



Gambar 11 Realisasi Antena

4.2. Pengukuran Antena

Proses pengukuran antena dibagi menjadi dua tahap, yaitu pengukuran indoor (medan dekat) serta pengukuran outdoor (medan jauh). Pengukuran indoor dapat menghasilkan nilai *return loss*, *bandwidth* serta impedansi masukan. Sedangkan pengukuran outdoor menghasilkan nilai *gain*, polarisasi, serta pola radiasi antena. Pada Proyek Akhir ini, pengukuran parameter antena dilakukan di Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).

4.2.1. Medan Dekat

A) Return Loss dan Bandwidth

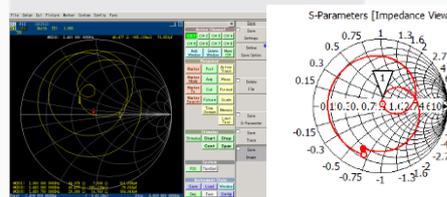


Gambar 12 Nilai Return Loss

Dari gambar 12 terlihat bahwa nilai *Return loss* pada frekuensi 2,4 GHz adalah sebesar -28,496 dB. Nilai ini sudah memenuhi spesifikasi antena awal, yaitu ≤ -10 dB. Nilai bandwidth dilihat dari batas nilai -10 dB dari frekuensi atas dikurangi frekuensi bawah sehingga didapatkan bandwidth :

$$\text{Bandwidth} = \text{Marking 4} - \text{Marking 3} = 2.458 - 2.350 = 108 \text{ MHz}$$

B) Hasil Pengukuran Impedansi Masukan



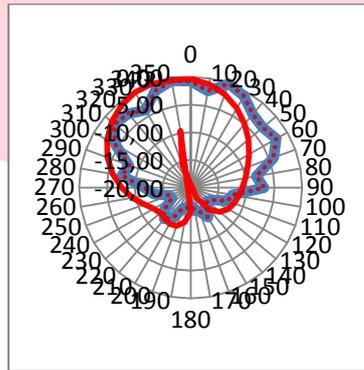
Gambar 13 Nilai Impedansi Masukan Realisasi dan Perancangan

Gambar 4.3 menunjukkan bahwa nilai impedansi masukan antena adalah 46,477 Ω . Nilai ini sudah sesuai dengan spesifikasi, yaitu impedansi masukan bernilai 50 Ω .

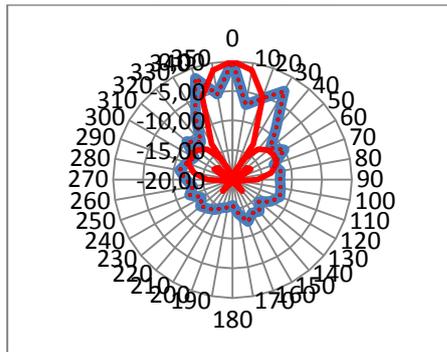
4.2.2. Medan Jauh

A) Pola Radiasi Antena

Pola radiasi antena merupakan perbandingan level daya yang keluar dari antena dalam berbagai arah. Polaradiasi antena di ukur pada medan jauh antena dan antena tidak dipengaruhi oleh benda benda disekelilingnya. Polaradiasi diukur dengan meletakkan antena pada posisi vertikal maupun horizontal. Perbandingan polaradiasi antara antena hasil pengukuran dan hasil simulasi antena dapat dilihat pada gambar 14 - 15 dimana garis merah adalah simulasi dan biru pengukuran:



Gambar 14 Perbandingan Elevasi pengukuran dan simulasi

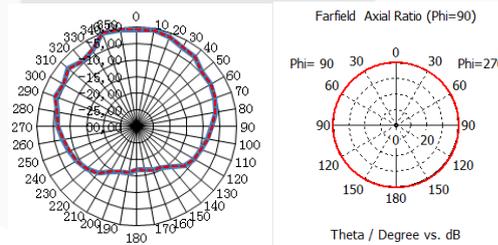


Gambar 15 Perbandingan Azimuth pengukuran dan simulasi

Dari hasil pengukuran dapat terlihat pola radiasi baik secara azimuth maupun elevasi. Hasil yang terjadi beberapa sudah mendekati spesifikasi yang sudah ditentukan sebelumnya. Pola radiasi yang didapatkan adalah mendekati pola *unidirectional*. Namun dari hasil pengukuran ada beberapa penyimpangan atau belum ideal. Ada Gadget dan perangkat elektronik yang aktif ketika pengukuran dilakukan

B) Polarisasi

Konfigurasi pengukuran polarisasi antena masih sama dengan pada saat pengukuran pola radiasi antena. Namun, pada pengukuran polarisasi, posisi antena penerima diputar secara *horizontal* per 10°.



Gambar 16 Nilai Polarisasi Pengukuran

Hasil simulasi menunjukkan bahwa antenna memiliki polarisasi linear karena nilai *axial ratio* berada pada nilai 40 dB. Sementara pada saat pengukuran, didapatkan *axial ratio* 12,86 yang berpolarisasi elips

C) Gain

Pengukuran *gain* dilakukan dengan cara memposisikan antenna referensi dan antenna yang diukur masing-masing bergantian sebagai pemancar dan penerima.

Tabel 4 Nilai Gain Pengukuran

Pengukuran ke-	Antena yang diukur (dBm)	Antena referensi (dBm)
1	-39,36	-35,93
2	-39,31	-35,87
3	-39,32	-35,99
4	-39,26	-35,95
5	-39,27	-35,85
Rata-rata	-39,304	-35,918

$$G = -39.304 - (-35.918) + 12 = 8.641 \text{ dB}$$

Dalam perhitungan ini nilai *fade margin* = 0, karena nilainya bergantung pada kondisi lingkungan, dan nilai *cable loss* tidak dihiraukan. Sementara nilai *Rx Sensitivity* Wifi adalah -70 dB.

Sehingga,

$$FSPL = 20 + 8.641 + 8.641 - (-70) - 0 = 107,228 \text{ dB}$$

$$d = 10^{(107,228 - 92,45 - 20 \log 2,4)/20} = 10^{0,358} = 4.704 \text{ km}$$

4.2.3. Analisis Hasil Pengukuran

Berikut ini merupakan tabel perbandingan hasil simulasi antenna mikrostrip *array* linear empat elemen menggunakan *software* CST dan pengukuran berdasarkan realisasi.

Tabel 5 Perbandingan Optimasi & Realisasi

Parameter	Simulasi	Pengukuran
Range frekuensi pada <i>Return loss</i> -10 dB	2.351 – 2.450 GHz	2.350 – 2.458GHz
Impedansi masukan	50 Ω	46,477 Ω
<i>Return loss</i> pada 2.4 GHz	-29 dB	-28.496 dB
<i>Gain</i>	7.38 dBi	8.641 dBi
<i>Bandwidth</i>	99 MHz	108 MHz
Pola radiasi	Direksional	Direksional
Polarisasi	Linear	Elips

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari seluruh proses perancangan dan realisasi antenna mikrostrip *patch rectangular array* 1x4 inset-fed adalah sebagai berikut :

1. Antena mikrostrip *array* linear 4 elemen untuk komunikasi WiFi dengan teknik inset-fed yang dirancang mampu bekerja pada *range* frekuensi 2.351 – 2.458 GHz dengan *return loss* -28.469 dB dan *gain* 7.38 dBi. Dengan demikian, rancangan antenna ini telah memenuhi kebutuhan akan *range* frekuensi kerja yang diinginkan, yaitu pada 2.4Ghz *return loss* \leq 10 dB , *bandwidth* > 50MHz dan *gain* 7.38 dBi.
2. Pemilihan *patch rectangular* membuat polarisasinya linier namun dalam pengubahan dimensi perlu ketelitian lebih karena ada 2 parameter utama yang disetting yaitu panjang dan lebar antenna.
3. Pemilihan metode inset-fed untuk mempermudah optimasi *return loss* yang awalnya -14 dB menjadi -39 dB namun berdampak pada pengurangan nilai *gain* dari 2.5 dBi menjadi 2.49 dBi karena dimensinya yang semakin kecil.
4. Teknik penggunaan *array* 1x4 mampu menaikkan *gain* antenna dari 2.49 dBi pada 1 *patch* menjadi 7.38 dBi pada *array* 1x4 , namun dalam perancangannya teknik Wilkinson harus diterapkan untuk mengurangi loss dijalur.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sabrina, Nadya , .“ *Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Inset-fed pada Frekuensi 2,4GHz untuk Alikasi WiFi*” (Tugas Akhir). Universitas Telkom.
- [2] Sherlyta, Lencana,.” *Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Persegi dengan Metode Pencatuan Inset-fed dan celah udara pada Frekuensi 2,3 GHz – 2,4 GHz untuk Aplikasi pada Wimax*” (Tugas Akhir). Universitas Telkom.
- [3] Dwi Hapsari, Nurita,.” *Rancang Bangun Multiband Antena Mikrostrip berbentuk Persegi dengan Metode Inset-fed*” (Tugas Akhir). Universitas Telkom.
- [4] CISCO, "Radio Channel Frequencies," no. Inc., 170 West Tasman Drive, San Jose, CA 95134-1706 USAers:, pp. 1-6, 2008.
- [5] "IEEE 802.11g-2003: Further Higher Data Rate Extension in the 2.4 GHz Band" IEEE. 2003-10-20. Retrieved 2007-09-24
- [6] Datasheet dari Black Box Pure Networking 802.11g Wireless 2.4-GHz Antenna
- [7] Balanis, Constantine A. 2005. "Antena Theory Analisis and Desain 3rd edition". United States: Wiley InterScience.
- [8] Yohandri, H. Kuze, J.T. Sri Sumantyo. "Development of Circularly Polarized Microstrip Antennas for CP-SAR System Installed on Unmanned Aerial Vehicle". Dissertation Chiba University.2011
- [9] Adel Bedair Abdel Mooty Abdel-Rahman. *Design and Development of High Gain Wideband Microstrip Antenna and DGS Filters Using Numerical Experimentation Approach*. Disertasy, University Magdeburg. 2005
- [10] Ramesh. M .,.” *Design Formula for Inset Fed Microstrip Patch Antenna*” Journal of Microwaves and Optoelectronics. 2003
- [11] Krauss, John D. 1988. *Antennas*. McGraw-Hill Book Company.
- [12] IEEE Std 802.11g™-2003
- [13] Datasheet dari DWL-3200AP 802.11g Wireless 2.4-GHz Antenna
- [14] Wahyu Andika, Yustina ,. “*Perancangan dan Realisasi Antena Transifer untuk Komunikasi Bluetooth*” (Tugas Akhir). Universitas Telkom.
- [15] Chang, Kai, Inder Bahl dan Vijay Nair. *RF and Microwave Circuit and Component Design for Wireless System*, John Wiley & Son. 2002
- [16] R. E. Munson, “Conformal Microstrip Antennas and Microstrip Phased Arrays,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-22, No. 1, January 1974. (IEEE)
- [17] Samarthay, Vinayak., Pundir, Swarna., Lal, Bansi. *Designing and Optimization of Inset Fed Rectangular Microstrip Patch Antenna (RMPA) for Varying Inset Gap and Inset Length*. (2014) *1, 3 Deenbandhu Chhotu Ram University of Science and Technology, 2 Rajasthan Technical University*