

Perancangan Antena MIMO *Rectangular Patch Double Layer* pada Frekuensi 2,35 GHz

Eva Y. D. Utami^{#1}, M. Asra Gupita^{#2}, Yuyu Wahyu^{*3}

[#]*Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Satya Wacana
Jl. Diponegoro 52-60, Salatiga, Jawa Tengah, Indonesia*

¹*eva.utami@uksw.edu*

²*muhamadasragupita@gmail.com*

^{*}*Pusat Riset Telekomunikasi, Badan Riset, dan Inovasi Nasional
Jl. Sangkuriang, Bandung, Jawa Barat, Indonesia*

³*yuyu002@brin.go.id*

Abstract— A MIMO microstrip antenna 2x2 with a double layer at a working frequency of 2.35 GHz is designed and realized in this study. The structure of the proposed MIMO antenna consists of two symmetrical rectangular patches made of copper and a substrate made of FR4 Epoxy, which has a relative permittivity of 4.3 and a thickness of 1.6 mm. The proposed 2x2 MIMO antenna is designed with two layers, one main layer and one parasitic layer above the main layer, with a particular air gap. The single-layer and double-layer antenna designs are simulated with software. The simulation results show that the gain of the single-layer antenna is 2.8 dB, while the double-layer antenna reaches 4.55 dB. The bandwidth obtained on the single-layer antenna is 69.8 MHz, and on the double-layer is 102.64 MHz. Thus, there is an increase in gain of 62.5% and an increase in bandwidth reaching 47% on the double-layer antenna. The designed and simulated antenna has been successfully fabricated at a frequency of 2.35 GHz. The measurement results of the fabricated antenna show an increase in gain of 12.5% and an increase in bandwidth of 18.84%.

Keywords— microstrip, double layer antenna, parasitic layer, LTE, rectangular patch

Abstrak— Antena mikrostrip MIMO 2x2 dengan double layer pada frekuensi kerja 2,35 GHz dirancang dan direalisasikan dalam penelitian ini. Struktur antena MIMO usulan terdiri atas dua patch rectangular simetris berbahan tembaga dan substrat berbahan FR4 Epoxy yang memiliki permitivitas relatif 4,3 dan ketebalan 1,6 mm. Antena MIMO 2x2 yang diusulkan dirancang bertingkat dengan dua layer, yaitu satu layer utama dan satu layer parasitik di atas layer utama dengan jarak pemisah (air gap) tertentu. Rancangan antena single layer dan double layer disimulasikan dengan software. Hasil simulasi menunjukkan gain antena pada single layer sebesar 2,8 dB, sedangkan pada antena double layer mencapai 4,55 dB. Bandwidth yang diperoleh pada antena single layer sebesar 69,8 MHz dan pada double layer sebesar 102,64 MHz. Dengan demikian terjadi peningkatan gain sebesar 62,5% dan peningkatan bandwidth mencapai 47% pada antena double layer. Antena yang dirancang dan disimulasikan telah berhasil difabrikasi pada frekuensi 2,35 GHz. Hasil pengukuran antena yang telah difabrikasi menunjukkan adanya peningkatan gain sebesar 12,5% dan peningkatan bandwidth sebesar 18,84%.

Kata Kunci— mikrostrip, antena double layer, parasitic layer, patch persegi panjang

I. PENDAHULUAN

Dalam beberapa dekade terakhir antena mikrostrip telah banyak dikembangkan, terutama karena pesatnya perkembangan teknologi komunikasi nirkabel dan komunikasi bergerak. Hal ini dikarenakan antena mikrostrip memiliki berbagai keunggulan, seperti bentuk yang sederhana, dapat disesuaikan dengan permukaan planar maupun nonplanar, biaya yang rendah dalam fabrikasi, serta teknologi *printed-circuit* yang modern dan kuat secara mekanik jika dipasang pada permukaan yang kaku. Selain itu, bila dipilih bentuk dan mode yang tepat, antena mikrostrip sangat dapat disesuaikan dalam hal frekuensi resonansi, pola radiasi, polarisasi, dan impedansi [1].

Salah satu pengembangan teknologi antena mikrostrip sejak komunikasi bergerak generasi keempat dan disusul generasi kelima adalah *multiple input multiple output* (MIMO). Menurut Ammai dkk., keunggulan penting dari teknologi MIMO adalah dapat meningkatkan kapasitas saluran tanpa menambah *bandwidth* maupun peningkatan daya transmisi [2]. MIMO merupakan sistem yang terdiri atas sejumlah antena pengirim dan penerima pada perangkat *transceiver* sistem komunikasi nirkabel, dengan setiap antena mengirimkan data secara independen dan simultan [3]. Penggunaan antena MIMO menjadi penting pada teknologi seluler *long term evolution* (LTE) dan juga *wireless local area network* (WLAN). Untuk sebagian besar negara di dunia, LTE-E 2300 (2300–2400 MHz) dan LTE-D 2600 (2570–2640 MHz) merupakan pita frekuensi yang paling banyak diadopsi, terutama di beberapa negara Asia [4]. Di Indonesia, pemerintah telah menambahkan frekuensi 2,3 GHz yang sebelumnya menggunakan frekuensi 1,8 GHz pada LTE.

Antena MIMO berjenis antena mikrostrip, diwujudkan dengan cara mencetak dua atau lebih *patch*, sesuai ukuran antena MIMO, pada satu *board* bahan substrat. Masing-masing *patch* diberikan saluran pencatu dan diberi jarak yang cukup agar *mutual coupling* antara kedua *patch* dapat ditekan. Hal ini

dapat ditunjukkan pada beberapa penelitian antena MIMO jenis mikrostrip yang telah ada sebelumnya.

Penelitian dan perancangan antena mikrostrip MIMO untuk sistem komunikasi LTE telah dilaporkan pada [5] dengan bentuk *patch rectangular* pada frekuensi 2,35 GHz menghasilkan *bandwidth* 48,1 MHz dan *gain* 2,87 dB pada simulasi, serta *bandwidth* sebesar 68 MHz dan *gain* bernilai 4,99 dB pada pengukuran. Pada penelitian [6] bentuk *patch* persegi panjang MIMO 2×2 juga telah diteliti dan dihasilkan *gain* sebesar 3,035 dB pada simulasi dan 3,483 dB pada pengukuran, serta *bandwidth* sebesar 90 MHz dan 60 MHz, masing-masing pada simulasi dan pengukuran. Penelitian [5] dan [6] tersebut menggunakan *patch* bentuk *rectangular* tunggal untuk setiap elemen antena MIMO dengan ukuran MIMO 2 antena pengirim dan 2 antena penerima, atau MIMO 2×2. Hasil perancangan yang didapatkan, terutama untuk *bandwidth* adalah di bawah 100 MHz, sementara rentang frekuensi operasi LTE pada frekuensi 2,3 GHz adalah dari 2,3 GHz sampai dengan 2,4 GHz.

Pengembangan antena MIMO 2×2 dengan *patch* berbentuk lingkaran pada frekuensi 2,35 GHz untuk LTE dilaporkan pada [7], dengan hasil *bandwidth* dan *gain* yang lebih baik daripada *patch rectangular*, namun *bandwidth* hanya mencapai 74 MHz. Pada penelitian-penelitian tersebut, elemen antena MIMO adalah berupa *patch* tunggal. Elemen antena MIMO dapat juga berupa susunan beberapa *patch* yang biasa disebut *array*, dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja dari antena pada setiap elemen MIMO. Hal ini dapat ditemukan pada penelitian [8] yang merancang antena MIMO 2×2, dengan membandingkan antara antena MIMO berbentuk *patch* lingkaran tunggal, *patch* lingkaran *array* 1×2 dan *patch* lingkaran *array* 1×4. Antena dirancang pada frekuensi 2,4 GHz. Penerapan antena *array* memberikan peningkatan hasil pada parameter *gain* dan *bandwidth*.

Metode lain untuk meningkatkan kinerja antena adalah dengan penambahan *layer* parasitik. Pada suatu antena mikrostrip, *patch* peradiasi dicetak pada satu lembar atau satu *board* bahan dielektrikum (misalnya FR4, Duroid, dan sebagainya) sebagai *layer* utama lalu ditambahkan *patch* yang dicetak pada *board* lainnya secara berlapis atau bertingkat sebagai elemen parasitiknya dengan jarak pemisah (*air gap*) tertentu. Rancangan antena seperti ini disebut *multilayer* sebagaimana dilaporkan pada penelitian [9]. Antena yang mendapatkan catuan hanya antena utama, sementara elemen parasitiknya memperoleh eksitasi dari kopling elektromagnetik medan dekat dari antena utama [9][10]. Pada penelitian [9] tersebut telah direalisasikan antena *multilayer parasitic* yang terdiri dari antena utama dan dua *layer* parasitik yang ditumpuk di atas *layer* utama pada frekuensi 2,4 GHz. Hasil penelitian tersebut menunjukkan peningkatan *gain* sebesar 166,5% dan peningkatan *bandwidth* mencapai 22,7% setelah ditambahkan *parasitic layer*.

Parasitic layer juga pernah diteliti pada antena *multiband* pada penelitian [11]. Penelitian [12] juga menunjukkan bahwa perancangan antena yang terdiri dari dua *layer* atau *double layer* mampu meningkatkan *gain* dan *bandwidth* antena. Perbedaan antena *array* dengan antena *multilayer* adalah

bahwa pada antena mikrostrip *array*, *patch* peradiasi yang jumlahnya lebih dari satu dicetak pada sebuah *board* substrat dielektrikum sehingga ukuran antena menjadi lebih memanjang, melebar, atau meluas tergantung ukuran *array*-nya. Antena dengan beberapa *layer* atau *multilayer*, *patch* peradiasi dicetak pada beberapa *board* kemudian ditumpuk atau disusun ke atas sehingga ukuran panjang dan lebar tidak jauh berbeda dengan rancangan satu *layer*, tetapi antena menjadi lebih tebal. Selain itu, pada *array* terdapat perancangan saluran pencatu yang lebih rumit, sedangkan pada antena *multilayer* cukup memberikan pencatu pada antena *layer* utama.

Keunggulan antena *multilayer* memberikan motivasi untuk meneliti pengembangan antena ini. Karena pada literatur yang telah disebutkan sebelumnya, belum diteliti penggunaan antena *multilayer* ini untuk antena MIMO. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang antena MIMO 2×2 dengan elemen antena *patch* tunggal yang ditambah dengan satu *parasitic layer* untuk meningkatkan *bandwidth* dan *gain*. Karena terdapat satu *layer* antena utama dan satu *parasitic layer*, maka antena ini disebut antena *double layer*. *Patch* pada setiap *layer* dan setiap elemen MIMO 2×2 berbentuk *rectangular*.

II. METODOLOGI

A. Tahapan Perancangan

Perancangan yang dilakukan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan yang ditunjukkan dalam Gambar 1. Spesifikasi antena yang dirancang adalah pada frekuensi 2,35 GHz. Nilai parameter antena yang baik, yaitu VSWR < 2 dan koefisien refleksi < -9,54 dB harus dipenuhi [1]. *Mutual coupling* merupakan parameter isolasi antar elemen antena MIMO yang besarnya ditentukan kurang dari -20 dB. *Gain* tipikal yang biasanya diperoleh dari antena elemen tunggal adalah 3 dB lalu dibandingkan antara antena MIMO yang hanya terdiri dari satu *layer* atau *single layer* dengan antena MIMO yang telah ditambahkan *layer* parasitik yang selanjutnya disebut *double layer*. Bahan substrat yang digunakan dalam rancangan antena adalah FR4 *epoxy* dengan konstanta dielektrik sebesar 4,3 dan ketebalan 1,6 mm.

Setelah menentukan spesifikasi, maka dimensi antena dihitung berdasarkan Persamaan (1) sampai dengan Persamaan (7). Untuk melakukan perhitungan diperlukan informasi nilai awal, yaitu frekuensi kerja antena pada 2,35 GHz; ketebalan bahan substrat yang digunakan, yaitu FR4 *epoxy* sebesar 1,6 mm; dan permitivitas relatif substrat sebesar 4,3. Hasil perhitungan dimensi antena dengan persamaan matematis digunakan dalam rancangan awal antena pada *software* simulasi antena.

Pada rancangan awal, dibuat antena elemen tunggal terlebih dahulu. *Software* akan menjalankan proses penghitungan dan menampilkan secara grafis nilai parameter antena. Jika hasil simulasi belum mencapai spesifikasi, maka dilakukan optimasi dengan memodifikasi dimensi antena sampai diperoleh hasil yang paling mendekati spesifikasi. Hasil optimasi *single patch* terbaik dipilih untuk kemudian diduplikasi menjadi antena MIMO 2×2, yaitu dua antena mikrostrip dalam satu *layer* substrat dan masing-masing diberikan saluran pencatu.

Simulasi dan optimasi kembali dilakukan sampai diperoleh hasil terbaik yang mendekati spesifikasi. Rancangan antena MIMO yang dihasilkan ini adalah antena satu *layer*. Maka kemudian dibuat simulasi untuk dua *layer* dengan dimensi dan bentuk yang sama persis. Tahapan berikutnya adalah kembali menyimulasikan antena *double layer* dan optimasi sampai diperoleh hasil terbaik. Optimasi pada setiap tahapan dilakukan dengan mengubah-ubah dimensi tertentu dari antena. Dalam setiap perubahan dimensi dilakukan *running software* untuk melihat nilai parameter kinerja antena. Hal ini dilakukan berkali-kali sampai diperoleh nilai terbaik. Hasil rancangan terbaik difabrikasi menjadi bentuk fisik antena. Pengukuran antena diperlukan untuk memastikan bahwa hasil fabrikasi sesuai dengan spesifikasi.

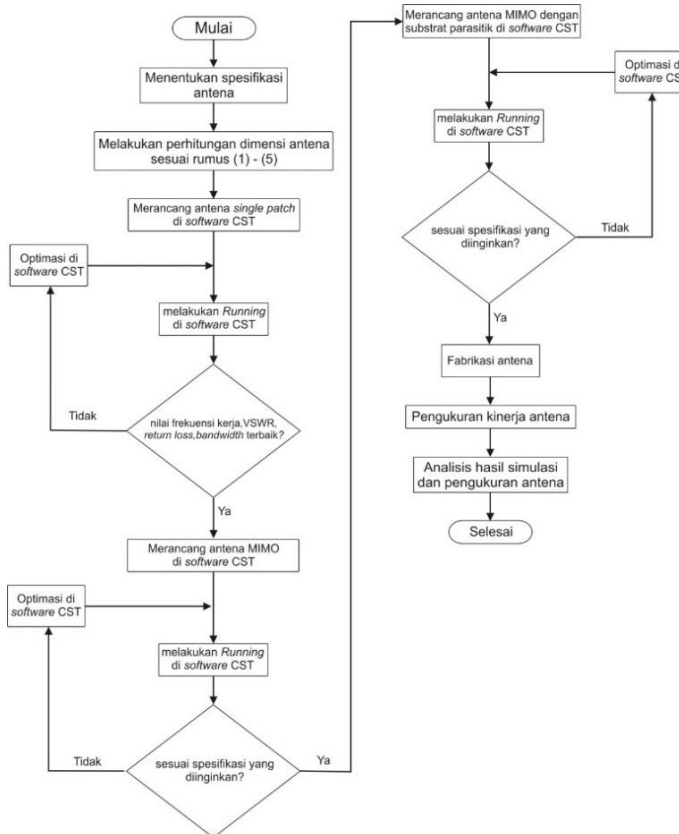
B. Perhitungan Dimensi Antena

Dimensi dasar dari *patch rectangular* adalah panjang dan lebar. Berikut ini adalah perhitungan untuk merancang antena mikrostrip berbentuk *patch rectangular* [3].

Menentukan lebar *patch* (W):

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{(\epsilon_r + 1)}{2}}} \quad (1)$$

dengan c adalah kecepatan cahaya di ruang bebas, yaitu sebesar 3×10^8 m/s, f_0 adalah frekuensi kerja antena, dan ϵ_r adalah permitivitas relatif bahan substrat.



Gambar 1 Diagram alir tahapan perancangan antena mikrostrip MIMO 2x2 *double layer*

Penentuan panjang *patch* (L) memerlukan parameter ΔL yang merupakan pertambahan panjang akibat adanya *fringing effect*. Pertambahan panjang (ΔL) tersebut dirumuskan dengan

$$\Delta L = 0,412 \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (2)$$

dengan h adalah tebal substrat dan ϵ_{reff} adalah permitivitas relatif efektif yang dirumuskan sebagai:

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \frac{h}{W}}} \right) \quad (3)$$

Panjang *patch* efektif dirumuskan dengan:

$$L_{eff} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (4)$$

maka panjang *gain* (L) diberikan oleh:

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (5)$$

Untuk menentukan panjang dan lebar dimensi minimal *ground plane* dilakukan perhitungan berikut:

$$L_g \geq (6 \times h) + L_p \quad (6)$$

$$W_g \geq (6 \times h) + W_p \quad (7)$$

Apabila impedansi karakteristik yang diinginkan maupun permitivitas relatif telah diketahui, perhitungan lebar dimensi saluran mikrostripnya adalah sebagai berikut [1]:

$$\frac{w_f}{h} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} & \frac{w_p}{h} < 2 \\ \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} \left\{ \ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right\} \right] & \frac{w_p}{h} > 2 \end{cases} \quad (8)$$

dengan ϵ_{reff} adalah permitivitas relatif substrat, w_f adalah lebar saluran pencatu, W_p adalah lebar *patch*, dan h adalah tebal substrat. Nilai A dan B sebagai berikut [1]:

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left(0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \quad (9)$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (10)$$

sedangkan untuk menentukan panjang saluran mikrostrip adalah sebagai berikut:

$$L_f = \frac{c}{4f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}} \quad (11)$$

C. Desain dan Simulasi

Sesuai dengan penjelasan tahapan perancangan sebelumnya, maka simulasi dan optimasi rancangan antenna dilakukan dalam tiga tahapan, yaitu simulasi antenna elemen tunggal, simulasi antenna MIMO 2×2 *single layer*, dan simulasi antenna MIMO 2×2 *double layer*.

1) Simulasi dan Optimasi Elemen Tunggal

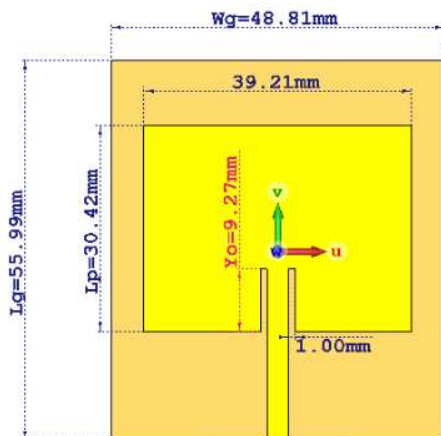
Elemen antenna MIMO 2×2 dalam perancangan ini berbentuk *patch rectangular* atau persegi panjang. Dengan memasukkan nilai-nilai frekuensi kerja, kecepatan gelombang di udara, dan permitivitas relatif yang sudah diketahui, dengan Persamaan (1) diperoleh lebar *patch*. Hasil perhitungan ini bersama dengan ketebalan bahan substrat digunakan untuk menghitung permitivitas relatif efektif pada Persamaan (3) yang kemudian digunakan untuk menentukan panjang *patch* pada persamaan-persamaan berikutnya. Setelah dimensi antenna ditentukan melalui perhitungan, dilakukan simulasi rancangan antenna berdasarkan ukuran hasil perhitungan. Karena nilai parameter kinerja antenna yang dihasilkan pada simulasi berdasarkan ukuran antenna dari perhitungan matematis belum memenuhi spesifikasi, maka dilakukan optimasi. Hasil optimasi antenna digambarkan pada Gambar 2.

Kinerja antenna yang dicapai untuk hasil optimasi antenna elemen tunggal, yaitu nilai koefisien refleksi -15,98 dB, nilai VSWR sebesar 1,37, nilai impedansi masukan sebesar 50,1 - j16,03 Ω , dan *gain* yang dicapai adalah 2,82 dB.

2) Simulasi Antena MIMO 2×2

Langkah selanjutnya adalah merancang MIMO 2×2 dari simulasi elemen tunggal. Antena MIMO 2×2 terdiri dari dua *rectangular patch* yang berada dalam satu *ground plane* dan substrat. Tiap *patch* memiliki pencatu sendiri-sendiri sehingga harus ada isolasi untuk mencegah adanya korelasi antar *patch*. Untuk membuat isolasi antar *patch* bisa dilakukan dengan memberi jarak antara *patch* satu dengan *patch* lain sehingga nilai *mutual coupling* ≤ -20 dB.

Gambar 3 menunjukkan rancangan antenna mikrostrip MIMO 2×2 beserta ukurannya yang sudah dioptimasi. Gambar 4 memperlihatkan grafik parameter S yang menunjukkan nilai koefisien refleksi sebesar -22,05 dB dan *mutual coupling* ber-



Gambar 2 Rancangan antenna elemen tunggal *rectangular patch* pada *software* simulasi

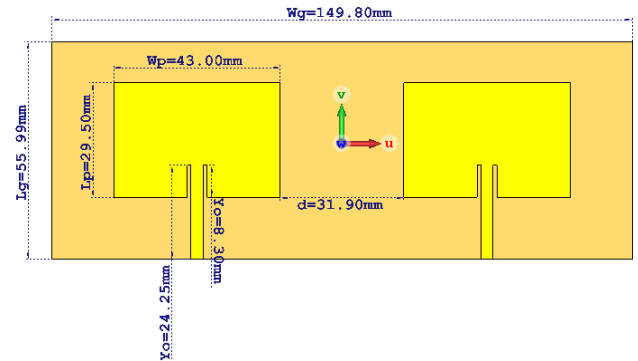
nilai -28,56 dB pada frekuensi kerja, yang berarti nilai koefisien refleksi dan *mutual coupling* sudah lebih baik dari -9,54 dB. Dari Gambar 5 dapat diketahui VSWR yang diperoleh adalah 1,17. Gambar 6 menunjukkan *impedance bandwidth* antenna mencapai 69,8 MHz dengan batas frekuensi terendah bernilai 2,3153 GHz dan frekuensi tertinggi bernilai 2,3851 GHz. Impedansi ditunjukkan pada Gambar 7 dengan nilai 50,69-j7,83 Ω . Pada Gambar 8 didapatkan *gain* mencapai 2,8 dB.

3) Simulasi Antena MIMO 2×2 double layer

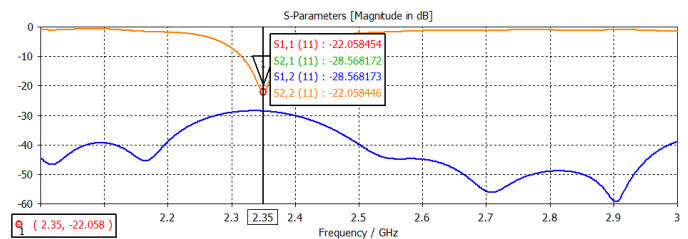
Setelah antenna MIMO 2×2 disimulasikan dan hasilnya memenuhi spesifikasi tahap selanjutnya adalah menambahkan *layer* parasitik, untuk meningkatkan *gain* dan *Bandwidth*. Pada tahap ini akan dirancang dua *layer*, *layer* pertama adalah *base layer* dan yang kedua adalah *parasitic layer*.

Rancangan antenna MIMO 2×2 dengan *parasitic layer* dilihat dari atas ditunjukkan pada Gambar 9, sementara jika rancangan antenna dilihat dari depan ditunjukkan pada Gambar 10. Pada gambar tersebut terlihat jarak atau *air gap* antara *base layer* dan *parasitic layer*.

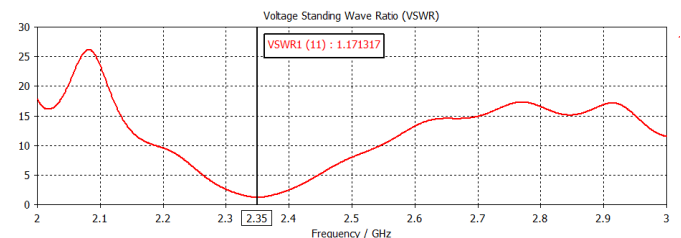
Simulasi yang dilakukan pada rancangan ini belum menghasilkan kinerja antenna yang hendak ditingkatkan dari rancangan sebelumnya. Dilakukan optimasi dengan mengubah-



Gambar 3 Tampilan Rancangan antenna MIMO 2×2 hasil optimasi satu *layer* pada *software* simulasi



Gambar 4 Hasil Optimasi koefisien refleksi (S11, S22) dan *mutual coupling* (S12, S21) rancangan antenna MIMO 2×2 *single layer*

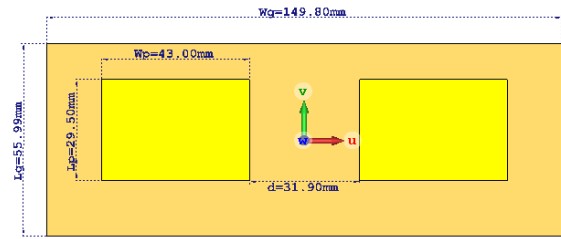


Gambar 5 Hasil Optimasi VSWR rancangan antenna MIMO 2×2 *single layer*

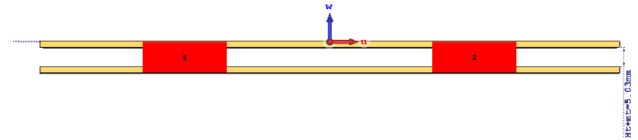
ubah ukuran *patch*, panjang *inset feed*, dan jarak antara *base layer* dengan *parasitic layer* untuk mendapatkan *bandwidth* dan *gain*. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 11.

Optimasi yang dilakukan dengan mengubah ukuran *patch* dan *inset feed* menghasilkan ukuran $W_p = 42,3$ mm, $L_p = 28,6$ mm, dan $Y_0 = 3,7$ mm. Dengan ukuran tersebut, didapatkan nilai koefisien refleksi terbaik, seperti ditunjukkan pada Gambar 12, sebesar -39,58 dB dan nilai *mutual coupling* sebesar -24,54 dB pada frekuensi kerja. *Bandwidth* yang diperoleh sebesar 102,64 MHz dengan frekuensi terentang dari 2,3004 GHz sampai dengan 2,403 GHz ditunjukkan pada Gambar 13. Impedansi ditunjukkan pada Gambar 14 dengan nilai $50,23 - j0,63$. Pada Gambar 15, VSWR yang didapat adalah 1,02 yang berarti sudah memenuhi spesifikasi ≤ 2 .

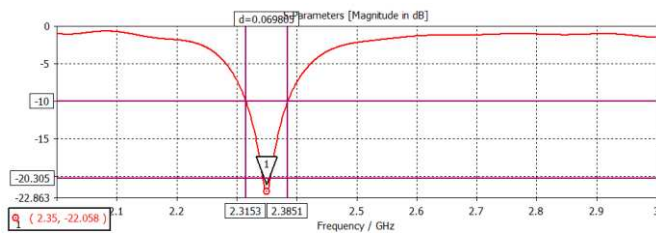
Gambar 16 memperlihatkan *gain* yang diperoleh bernilai 4,55 dB. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *gain* lebih tinggi daripada antena *single layer*. Hasil tersebut merupakan hasil yang terbaik dalam perancangan antena MIMO 2×2 double



Gambar 9 Tampilan sisi atas hasil optimasi rancangan antena MIMO 2×2 double layer

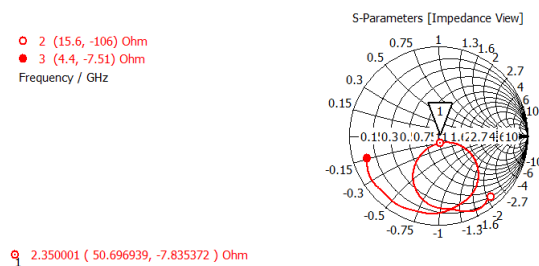


Gambar 10 Tampilan dari sisi samping hasil optimasi rancangan antena MIMO 2×2 double layer

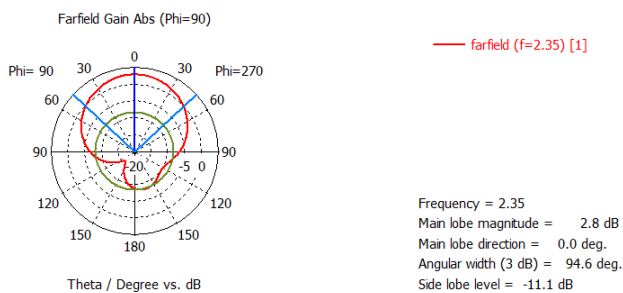


Gambar 2

Gambar 6 Hasil optimasi *bandwidth* rancangan antena MIMO 2×2 single layer



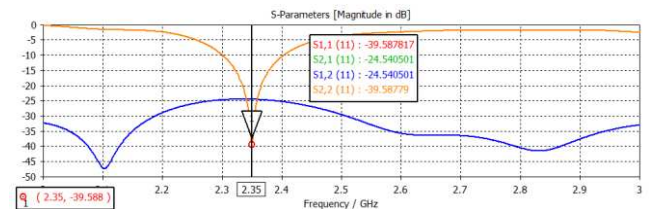
Gambar 7 Hasil optimasi impedansi rancangan antena MIMO 2×2 single layer



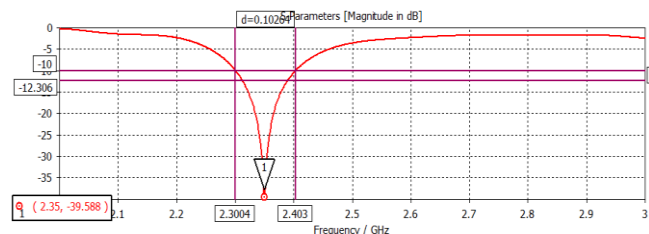
Gambar 8 Hasil optimasi *gain* rancangan antena MIMO 2×2 single layer

Run ID	f	S11	S21
1	2.3	8.3	41.3
2	2.35	8.3	41.3
3	2.4	8.3	41.3
4	2.45	8.3	41.3
5	2.5	8.3	41.3
6	2.55	8.3	41.3
7	2.6	8.3	41.3
8	2.65	8.3	41.3
9	2.7	8.3	41.3
10	2.75	8.3	41.3
11	2.8	8.3	41.3
12	2.85	8.3	41.3
13	2.9	8.3	41.3
14	2.95	8.3	41.3
15	3.0	8.3	41.3
16	3.05	8.3	41.3
17	3.1	8.3	41.3
18	3.15	8.3	41.3
19	3.2	8.3	41.3
20	3.25	8.3	41.3
21	3.3	8.3	41.3
22	3.35	8.3	41.3
23	3.4	8.3	41.3
24	3.45	8.3	41.3
25	3.5	8.3	41.3

Gambar 11 Optimasi rancangan antena MIMO 2×2 double layer



Gambar 12 Hasil optimasi nilai koefisien refleksi (S_{11}) dan *mutual coupling* rancangan antena MIMO 2×2 double layer



Gambar 13 Hasil optimasi nilai *bandwidth* rancangan antena MIMO 2×2 double layer

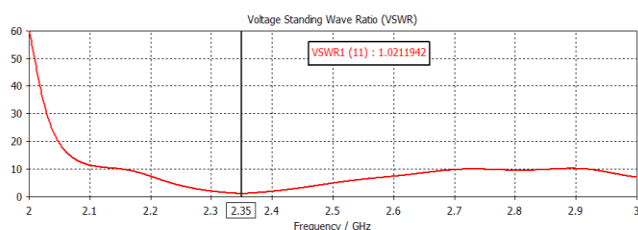
layer. Dari simulasi dan optimasi rancangan antena MIMO 2×2 *single layer* dan *double layer* dapat ditunjukkan peningkatan kinerjanya pada Tabel I.

Berdasarkan Tabel I hasil simulasi rancangan antena dengan menambahkan *parasitic layer*, diperoleh peningkatan *bandwidth* sebesar 47% dan peningkatan *gain* sebesar 62,5%. Kinerja antena juga terlihat meningkat dengan turunnya nilai VSWR dan koefisien refleksi.

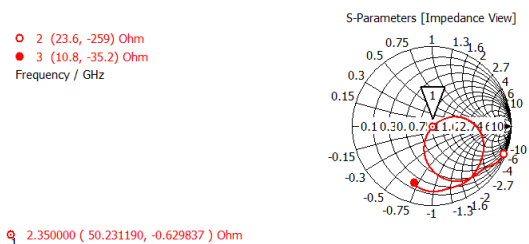
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah simulasi pada *software* sesuai spesifikasi yang diinginkan, maka antena difabrikasi dan diperoleh hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 17. Gambar 17(a) merupakan *layer* utama antena mikrostrip MIMO 2 × 2 sebelum dipasang *parasitic layer*. Pengukuran antena *single layer* dilakukan pada antena ini. Tampak pada *layer* utama ini, antena MIMO dengan setiap elemen antena MIMO mempunyai saluran pencatu pada *port* masing-masing. Gambar 17(b) menunjukkan *layer parasitic* yang telah dipasang di atas *layer* utama dengan dihubungkan menggunakan empat *spacer* di setiap sudut sehingga menjadi struktur antena *double layer*. Pada *layer parasitic* ini tidak ada saluran pencatu. Gambar 17(c) menunjukkan *ground plane* antena yang berada di balik/di bagian bawah dari *layer* utama.

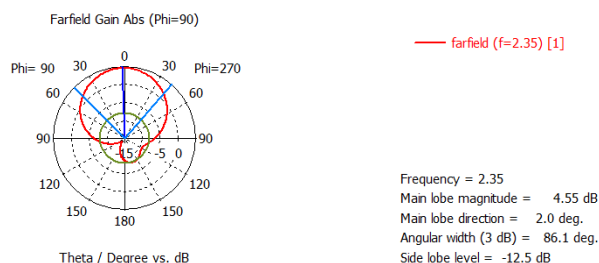
Untuk mengetahui kinerja antena yang telah difabrikasi, ma-



Gambar 3 Hasil optimasi nilai VSWR antena MIMO 2×2 *double layer*



Gambar 15 Hasil optimasi impedansi antena MIMO 2×2 *double layer*



Gambar 16 Hasil optimasi gain antena MIMO 2×2 *double layer*

TABEL I
PERBANDINGAN ANTENA *SINGLE LAYER* DENGAN *DOUBLE LAYER*
PADA SIMULASI

Parameter	Nilai Hasil Simulasi Antena	
	MIMO 2x2	MIMO 2x2 Double Layer
Lebar <i>patch</i> (W_p)	43 mm	42,3 mm
Panjang <i>patch</i> (L_p)	29,5 mm	28,6 mm
Panjang inset feed (Y_0)	8,3 mm	3,7 mm
VSWR	1,17	1,02
Koefisien refleksi	-22,05 dB	-39,58 dB
<i>Mutual coupling</i>	-28,56 dB	-24,54 dB
Impedansi	50,69 – j7,83	50,23 – j0,63
<i>Bandwidth</i>	69,8	102,64 MHz
<i>Gain</i>	2,8 dB	4,55 dB



(a)



(b)



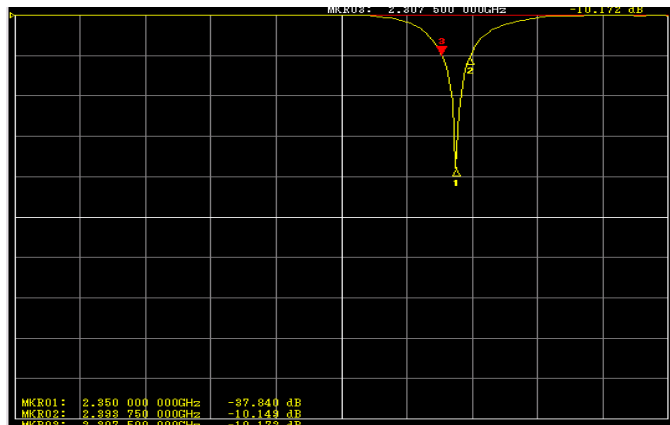
(c)

Gambar 17 Hasil fabrikasi antena MIMO 2×2: (a) *layer* utama antena MIMO dengan setiap *patch* diberikan saluran pencatu (b) *layer parasiti* ditumpuk di atas *layer* utama menggunakan empat *spacer* pada tiap-tiap sudut, masing-masing *patch* tanpa pencatu, (c) *ground plane* pada sisi paling bawah dari *layer utama*

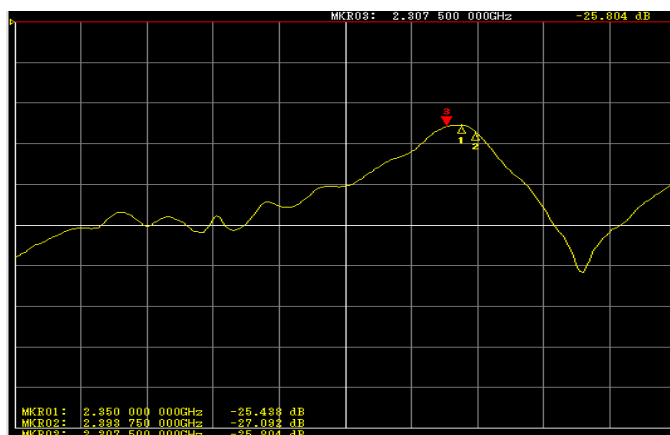
maka dilakukan pengukuran parameter kinerja antenna. Parameter antenna tersebut adalah nilai VSWR, koefisien refleksi *mutual coupling*, impedansi masukan, dan *gain*. Pada pengukuran antenna dilakukan dua pengukuran berbeda, yaitu pengukuran antenna *single layer* (hanya antenna layer utama) dan pengukuran antenna *double layer*, dengan layer kedua diletakkan di atas layer utama.

Hasil pengukuran pada hasil fabrikasi antenna *single layer* menunjukkan koefisien refleksi terbaik bernilai -37,84 dB, seperti terlihat pada Gambar 18. Nilai *mutual coupling* mencapai -25,43 dB, seperti ditunjukkan pada Gambar 19. *Bandwidth* yang diperoleh sebesar 86,25 MHz dengan frekuensi terendah pada 2,3075 GHz dan frekuensi tertinggi pada 2,39375 GHz. Nilai VSWR terbaik adalah 1,112. *Gain* yang didapat antenna tanpa *parasitik layer* adalah 3,553 dB.

Untuk hasil pengujian antenna dengan *double layer* didapatkan koefisien refleksi sebesar -31,57 dB dan *mutual coupling* bernilai -30,438 dB. *Bandwidth* yang diperoleh meningkat menjadi 102,5 MHz dengan frekuensi bawah pada 2,30125 GHz dan frekuensi atas pada 2,40375 GHz. Nilai VSWR yang didapat adalah 1,054. *Gain* yang didapat antenna dengan *double layer* meningkat menjadi 3,996 dB.



Gambar 18 Grafik hasil pengukuran koefisien refleksi antenna *single layer* dengan batas koefisien refleksi pada *bandwidth*

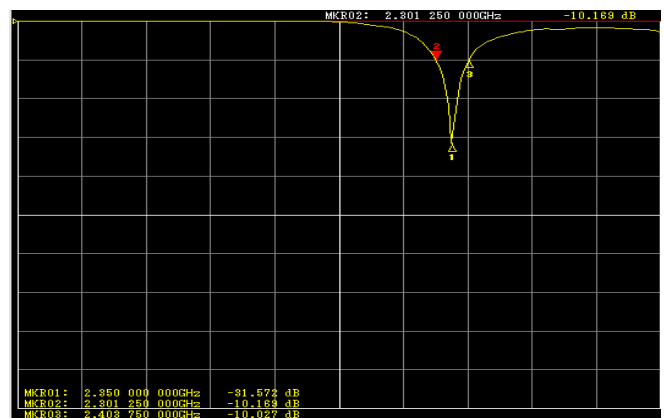


Gambar 19. Grafik hasil pengukuran *mutual coupling* antenna *single layer*

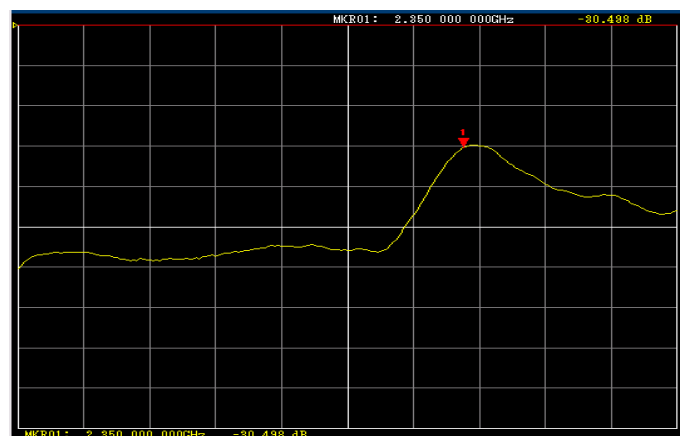
Tabel II meringkas hasil pengujian antenna yang menunjukkan bahwa antenna dengan *double layer* mempunyai *gain* dan *bandwidth* yang lebih besar daripada antenna *single layer*. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penggunaan *parasitic layer* dapat memperbesar *bandwidth* dan *gain*. *Gain* yang semula 3,553 dB menjadi 3,993 dB dan peningkatan *bandwidth* yang semula 86,25 MHz menjadi 102,5 MHz. Nilai parameter kinerja lainnya yang mengalami perbaikan adalah VSWR dan *mutual coupling*.

Hasil yang diperoleh ini, jika dibandingkan dengan penelitian [5] dan [7] secara umum, memiliki perbaikan pada parameter *bandwidth*, VSWR, dan koefisien refleksi. Parameter *gain* pada simulasi lebih baik daripada [5] dan sebaliknya, lebih rendah pada nilai *gain* pengukuran. Jika dibandingkan dengan metode *array* pada [8], kinerja antenna *double layer* lebih baik daripada *array* 1x2, tetapi lebih rendah dibandingkan *array* 1x4.

Meskipun hasil perancangan antenna mikrostrip *double layer* mampu meningkatkan *bandwidth*, namun masih terdapat kelemahan yang masih dapat dikembangkan lebih lanjut. Permasalahan yang perlu dipecahkan adalah perbaikan *gain* yang belum signifikan. Selain itu, masih perlu dikembangkan jumlah *layer* maupun desain *patch* yang optimal untuk meningkatkan kinerja antenna.



Gambar 20 Grafik hasil pengukuran koefisien refleksi antenna *double layer* dengan batas koefisien refleksi pada *bandwidth*



Gambar 21. Grafik hasil pengukuran *mutual coupling* antenna *double layer*

TABEL II
HASIL PENGUJIAN ANTENA

Parameter Kinerja	Nilai Hasil Pengujian Antena	
	MIMO 2x2	MIMO 2x2 Multilayer Parasitic
VSWR	1,112	1,054
Koefisien Refleksi	-37,84 dB	-31,57 dB
Mutual coupling 24	-25,43 dB	-30,438 dB
Impedansi	50,69 – j7,83	50,23 – j0,63
Bandwidth	86,25 MHz	102,5 MHz
Gain	3,553 dB	3,996 dB

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian antena yang telah difabrikasi, diperoleh hasil bahwa antena telah dapat beroperasi pada frekuensi 2,35 GHz. Pada simulasi dan optimasi rancangan antena, terjadi peningkatan nilai *bandwidth* dari 69,8 MHz pada antena *single layer* menjadi 102,64 MHz pada antena *double layer*, atau terjadi peningkatan sebesar 47%. Perbaikan *gain* yang diperoleh adalah dari 2,8 dB menjadi 4,55 dB sehingga perbaikan *gain* pada antena *double layer* mencapai 62,5%. Pada pengukuran antena yang telah difabrikasi terjadi kenaikan *gain* yang semula 3,553 dB menjadi 3,993 dB dan peningkatan *bandwidth* yang semula 86,25 MHz menjadi 102,5 MHz. Peningkatan *gain* yang diperoleh adalah 12,5% dan peningkatan *bandwidth* sebesar 18,84%.

DAFTAR REFERENSI

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4th ed. New Jersey: John Wiley and Son, 2016.
- [2] L. Ammai, L. O. Nur, dan R. Anwar, "Penurunan *mutual coupling* antena MIMO menggunakan *periodic defected ground structure u-shape*," *Teknika - J. Penelit. dan Pengemb. Telekomun. Kendali, Komputer, Elektr. dan Elektron.*, vol. 5, no. 2, hlm. 42, 2021, DOI: <https://doi.org/10.25124/teknika.v5i2.3991>.
- [3] I. Anisah, H. Briantoro, A. Zainudin, dan D. Intan Permatasari, "Implementasi sistem komunikasi nirkabel OFDM berbasis *software defined radio* (SDR)," *JNTETI*, vol. 7, no. 2, hlm. 183–189, 2018, DOI: <https://doi.org/10.22146/jnteti.v7i2.421>.
- [4] Y. Yang, Q. Chu, dan C. Mao, "Multiband MIMO antenna for GSM, DCS, and LTE indoor applications," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 15, hlm. 1573–1576, 2016, DOI: <https://doi.org/10.1109/LAWP.2016.2517188>.
- [5] E. Wahyudi, E. S. Nugraha, dan T. S. Munthe, "Antena mikrostrip *multiple input multiple output* dengan *patch rectangular* pada *long term evolution*," dalam *2nd Seminar Nasional Iptek Terapan (SENIT) 2017*, 2017, hlm. 15–17.
- [6] E. Y. D. Utami, M. A. Gupita, dan F. D. Setiaji, "Perancangan antena mikrostrip MIMO 2x2 *patch* persegi panjang pada frekuensi 2,3 GHz," *J. Inform. dan Rekayasa Elektron (JIRE)*, vol. 4, no. 1, April, 2021, DOI: <https://doi.org/10.36595/jire.v4i1.296>.
- [7] M. Budi, E. S. Nugraha, dan A. Agung, "Perancangan dan analisis antena mikrostrip mimo circular pada frekuensi 2,35 GHz untuk aplikasi LTE," *J. Infotel*, vol. 9, no. 1, hlm. 136, Feb. 2017, DOI: <https://doi.org/10.20895/infotel.v9i1.130>.
- [8] T. Sabtiawan, M. R. Hidayat, Y. P. Saputera, dan N. T. Somantri, "Antena *multiple-input multiple-output* (MIMO) array 1x4 *axe patch microstrip* pada frekuensi 2,4 GHz," *J. Tek. Media Pengemb. Ilmu dan Apl. Tek.*, vol. 23, no. 1, hlm. 01–15, 2024, DOI: <https://doi.org/10.55893/jt.vol23no1.585>.
- [9] E. Y. D. Utami, C. Prabelia, F. D. Setiaji, dan Y. Wahyu, "Peningkatan *gain* dengan teknik *multilayer parasitic* pada perancangan antena mikrostrip persegi panjang 2,4 GHz," *Elkha J. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 2, hlm. 72–78, 2019.
- [10] W. L. Stutzman dan G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2012.
- [11] G. M. Faisal, "Dual-layer microstrip antenna design for wireless communications," *Am. J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, no. 2, hlm. 66–71, 2018, DOI: 10.12691/ajece-6-2-3, DOI: <https://doi.org/10.12691/ajece-6-2-3>.
- [12] E. Sandi, A. Diamah, M. W. Iqbal, dan D. N. Fajriah, "Double layer parasitic radiator for S-band antennas to increase gain and bandwidth performances," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1402, no. 4, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/4/044030>.

Eva Yovita Dwi Utami lahir di Pemalang, menyelesaikan pendidikan sarjana di Jurusan Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung pada tahun 2002 dan pendidikan Magster Teknik Elektro Universitas Indonesia pada tahun 2012. Saat ini penulis menjadi staf pengajar Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Satya Wacana dengan bidang penelitian komunikasi nirkabel dan antena dan propagasi gelombang.

Muhamad Asra Gupita lahir di Kabupaten Semarang, menyelesaikan pendidikan sarjana di Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga.

Yuyu Wahyu lahir di Kota Bandung, memperoleh gelar sarjana, magister dan doktor dari Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung. Bekerja di Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang saat ini telah menjadi Pusat Riset Telekomunikasi Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).