

PERANCANGAN ANTENA MIKROSTRIP MIMO 2×2 PATCH PERSEGI PANJANG PADA FREKUENSI LTE 2,3 GHZ

Eva Yovita Dwi Utami¹, Muhamad Asra Gupta², Fransiscus Dalu Setiaji³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Elektro, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga

Jln. Diponegoro 52-60, Salatiga 50711

¹eva.utami@uksw.edu, ²muhamadasragupita@gmail.com, ³dalu.setiaji@uksw.edu

Abstract

This paper reports the design and realization of a 2×2 MIMO rectangular patch microstrip antenna that operates at frequency of 2.3 GHz. The antenna design was simulated using Computer Simulation Tools (CST) Microwave Studio 2016 software. Antenna design simulation resulted in a mutual coupling of -30.34 dB and a gain of 3.035 dB. The antenna assembly is fabricated using FR4 Epoxy material as a substrate. From the measurement results of the designed antenna, the antenna has a VSWR value of 1.059 and a gain of 3.483 dB. The bandwidth of this antenna is 60 MHz (2.27 MHz - 2.33 MHz). This antenna also has return loss and mutual coupling values of -22.943 dB and -29.08 dB at a frequency of 2.3 GHz, respectively. The realized antenna is tested on mobile wifi and can show an improvement in average signal level reception by 5.6 dB and increasing data rate by 79,7%

Keywords : MIMO, microstrip, rectangular patch, LTE

Abstrak

Pada makalah ini dilaporkan hasil perancangan dan realisasi antena mikrostrip MIMO 2×2 patch persegi panjang yang bekerja pada frekuensi 2,3 GHz. Rancangan antena disimulasikan dengan *software* Computer Simulation Tools (CST) Microwave Studio 2016. Simulasi rancangan antena menghasilkan *mutual coupling* -30,34 dB dan *gain* 3,035 dB. Rancangan antena difabrikasi dengan bahan substrat FR4 Epoxy. Dari hasil pengukuran antena yang dirancang, antena memiliki nilai VSWR sebesar 1,059 dan *gain* sebesar 3,483 dB. *Bandwidth* antena ini adalah 60 MHz (2,27 MHz - 2,33 MHz). Antena ini juga memiliki nilai *return loss* dan *mutual coupling* masing-masing sebesar -22,943 dB dan -29,08 dB pada frekuensi 2,3 GHz. Antena yang direalisasikan diuji pada *mobile wifi* dan dapat menunjukkan perbaikan penerimaan level sinyal rata-rata sebesar 5,6 dB dan peningkatan kecepatan data sebesar 79,7%

Kata kunci MIMO, microstrip, patch persegi panjang, LTE

1. PENDAHULUAN

Teknologi komunikasi bergerak *Long Term Evolution*(LTE) merupakan generasi keempat (4G) yang dikembangkan oleh *Third Generation Partnership Project* (3GPP) untuk memperbaiki generasi ketiga UMTS (3G)/HSPA(3,5G) yaitu menyediakan kecepatan data yang tinggi. Untuk sebagian besar negara di dunia, LTE-E 2300 (2300–2400 MHz) dan LTE-D 2600 (2570–2640 MHz) merupakan pita frekuensi paling banyak diadopsi, terutama di beberapa negara Asia [1]. Di Indonesia, pemerintah telah menambahkan

frekuensi 2,3 GHz yang sebelumnya menggunakan frekuensi 1,8 GHz pada LTE.

Permintaan akan kecepatan data tinggi dan kapasitas saluran yang handal selalu menjadi bidang perhatian penting di era sistem komunikasi nirkabel modern. Kompetisi untuk mencapai tujuan ini berkontribusi pada pesatnya pengembangan sistem *multi-input multi-output* (MIMO), yang mampu memanfaatkan teknik keragaman untuk meningkatkan keandalan komunikasi sistem dengan mengurangi masalah *multipath fading* [2]. Oleh karena itu teknik MIMO menjadi salah

satu komponen kunci dalam implementasi LTE. MIMO merupakan sistem yang terdiri dari sejumlah antena pengirim dan penerima pada perangkat *transceiver* sistem komunikasi nirkabel, dengan setiap antena mengirimkan data secara independen dan simultan [3]. Misalnya MIMO 2×2 merupakan antena MIMO dengan dua antena pengirim dan dua antena penerima. Sistem MIMO ini dikembangkan untuk mengatasi adanya peredupan (*fading*) akibat propagasi jalur jamak pada sistem komunikasi bergerak sehingga dapat meningkatkan kinerja dan kecepatan pengiriman data.

Dalam [1] dijelaskan bahwa pada LTE, permintaan pengguna dan mobilitas perangkat komunikasi bergerak terjadi di dalam ruangan. Untuk mendukung hal tersebut, antena pada sistem MIMO haruslah antena berbentuk planar, kompak dan mudah difabrikasi. Antena yang memenuhi persyaratan tersebut adalah antena mikrostrip. Antena ini memiliki kelebihan diantaranya sederhana, murah dalam fabrikasi, bobotnya ringan, dimensinya relatif kecil, dapat difabrikasi oleh teknologi *printed-board* modern serta mudah diintegrasikan dengan *microwave integrated circuits* (MICs) [4],[5].

Dengan uraian yang telah dijelaskan di atas, maka pada makalah ini, akan dilaporkan perancangan, realisasi dan pengujian antena mikrostrip MIMO 2×2 berbentuk persegi panjang untuk LTE dengan frekuensi kerja 2,3 GHz. Jika dalam penelitian-penelitian antena LTE sebelumnya kinerja antena belum terukur pada perangkat LTE, maka di dalam makalah ini akan dilaporkan juga pengukuran tingkat penerimaan sinyal dan kecepatan mengunduh data dengan menggunakan antena hasil perancangan pada perangkat *mobile* LTE.

2. TINJAUAN PUSTAKA DAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian-penelitian tentang antena mikrostrip MIMO telah banyak dilakukan sebelumnya untuk aplikasi LTE dan juga *Wi-Fi*. Pada penelitian sebelumnya telah dirancang bangun antena mikrostrip MIMO 2×2 *patch* segitiga untuk LTE pada frekuensi 2,3 GHz yang menghasilkan *gain* 1,02 dB oleh Situmorang [6]. Antena mikrostrip MIMO 4×4 *patch bowtie* untuk LTE pada frekuensi 1,8 GHz yang menghasilkan *gain* 3,62 dB dilakukan oleh Jhon et al [7]. Pada [8] dilaporkan perancangan antena mikrostrip MIMO 2×2 dengan *patch* persegi panjang untuk *Wi-Fi* pada frekuensi 5,2 GHz yang menghasilkan *gain* 3,33 dB dan *mutual coupling* < -20 dB. Perancangan antena MIMO 2×2 juga dibahas pada [9] dengan bentuk *patch*

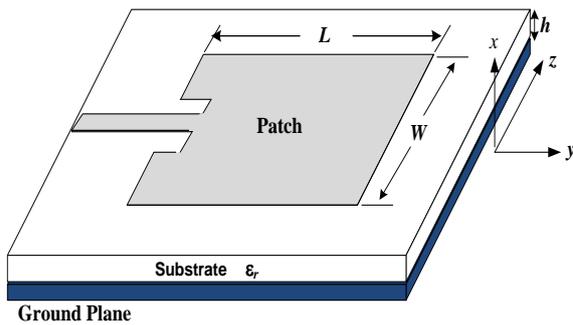
triangular untuk aplikasi *Wi-Fi* pada frekuensi 2,4 GHz, dengan hasil *gain* 3,85 dB dan *mutual coupling* -42 dB. Sedangkan pada [10] dirancang antena MIMO 2×2 dengan bentuk *patch* lingkaran untuk aplikasi *Wi-Fi* pada frekuensi 2,4 GHz yang menghasilkan desain antena dengan *gain* 5,08 dB. Bentuk *patch* yang sama diteliti pada [11] yang menghasilkan *gain* 3,42 dB. Pada [12] dirancang antena mikrostrip MIMO dengan bentuk *patch* lingkaran untuk LTE pada frekuensi 2,35 GHz menghasilkan *gain* pada simulasi sebesar 4,339 dB dan pada pengukuran sebesar 8 dB. Sementara pada [13] dirancang antena MIMO untuk LTE pada frekuensi 2,35 GHz dengan bentuk *patch* mikrostrip rektangular, menghasilkan *gain* pada simulasi sebesar 2,87 dB dan pada pengukuran diperoleh *gain* 4,99 dB. Perancangan antena untuk LTE pada frekuensi 1,8 GHz dengan konfigurasi *circular line patch* dan *thick line* dilaporkan pada [14] dengan hasil *gain* sebesar 2,457 dB. Perancangan antena MIMO 4×4 berbentuk lingkaran pada frekuensi 2,4 GHz untuk aplikasi *Wireless LAN* dilaporkan pada [15].

Pada penelitian-penelitian yang telah disebutkan di atas, bentuk *patch* rektangular atau persegi panjang dirancang pada frekuensi 2,35 GHz dan 5,2 GHz sedangkan dalam penelitian ini, dirancang antena MIMO 2×2 dengan mengambil bentuk *patch* persegi panjang pada frekuensi 2,3 GHz. Pada penelitian antena untuk aplikasi *Wireless LAN* telah dilakukan pengujian penerimaan kuat sinyal dan kecepatan sinyal menggunakan antena yang telah dirancang. Akan tetapi pada perancangan antena MIMO LTE tidak dilaporkan pengujian penerimaan kuat sinyal antena dan kecepatan data. Maka pada penelitian ini akan dilaporkan hasil pengujian penerimaan level daya sinyal dan kecepatan mengunduh data dengan memasang dan mengoperasikan antena yang telah direalisasikan pada perangkat LTE.

2.2. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan sebuah antena yang tersusun atas tiga elemen yaitu: bidang peradiasi (*patch*), bidang substrat, dan bidang pentanahan (*groundplane*) seperti tampak pada Gambar 1.

Bentuk *patch* antena bervariasi misalnya bentuk persegi panjang (*rectangular*), lingkaran, segitiga, cincin, oval, *disc sector* dan sebagainya [4].



Gambar 1. Struktur Antena Mikrostrip [4]

Pada Gambar 1 ditunjukkan bentuk *patch* persegi panjang pencatutan *line feed*, dengan *inset feed*. Berikut ini adalah perhitungan untuk merancang antena mikrostrip berbentuk *patch* persegi panjang [4].

Menentukan lebar *patch* (W_p) adalah sebagai berikut

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

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.

Untuk menentukan panjang *patch* (L_p) diperlukan parameter ΔL yang merupakan pertambahan panjang akibat adanya *fringing effect*. Pertambahan panjang (ΔL) tersebut dirumuskan pada Persamaan (2).

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

Dengan h adalah tebal substrat, dan ϵ_{reff} adalah permitivitas relatif efektif yang dirumuskan sebagai berikut.

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

Dan kemudian panjang *patch* efektif dapat dirumuskan sebagai berikut

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

maka panjang *patch* (L_p) diberikan oleh:

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

Untuk menentukan panjang dan lebar dimensi minimal *ground plane* dapat menggunakan Persamaan (6) dan Persamaan (7), yaitu

$$L_g = (6 x h) + L_p \quad (6)$$

$$W_g = (6 x h) + W_p \quad (7)$$

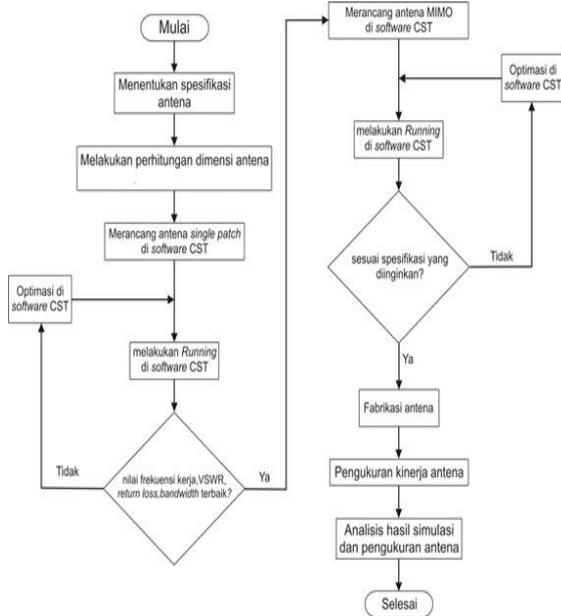
Dengan L_g adalah panjang minimal *ground plane* dan W_g adalah lebar minimal *ground plane*. Semua besaran ukuran antena dinyatakan dalam satuan milimeter.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Skema Alur Penelitian

Perancangan dan realisasi antena dalam penelitian ini melalui tahapan yang ditunjukkan dalam Gambar 2. Tahap pertama adalah menentukan spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

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 2,3 GHz, ketebalan bahan substrat yang digunakan yaitu FR4 Epoxy sebesar 1,6 mm dan permitivitas relatif substrat sebesar 4,65. Hasil perhitungan digunakan untuk membuat gambar rancangan antena pada *software CST Microwave Studio*. 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 2x2. Simulasi dan optimasi kembali dilakukan sampai diperoleh hasil terbaik yang mendekati spesifikasi. Rancangan antena yang menghasilkan parameter terbaik difabrikasi menjadi bentuk fisik antena. Pengukuran antena diperlukan untuk memastikan bahwa hasil fabrikasi sesuai dengan spesifikasi. Tahap terakhir adalah menguji antena yang digunakan untuk menerima data pada perangkat LTE.



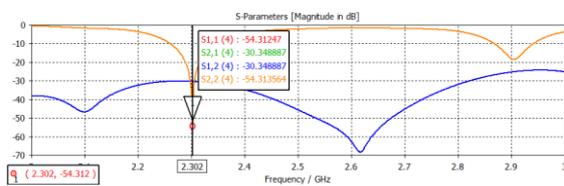
Gambar 2. Diagram alir tahapan perancangan

TABEL I. SPESIFIKASI ANTENA

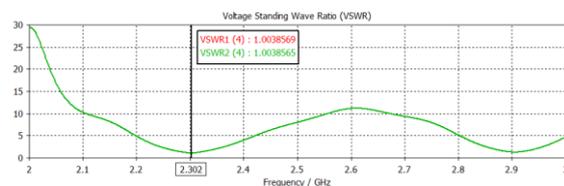
Parameter	Nilai
Frekuensi tengah	2,3 GHz
VSWR	< 2
Return Loss pada frekuensi tengah	< -20 dB
Mutual coupling	< -20 dB
Gain	> 3dB
Bandwidth	> 50 MHz

3.2. Hasil Simulasi

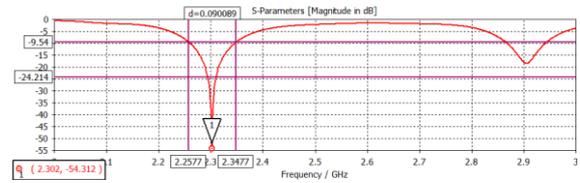
Simulasi dan optimasi rancangan antenna yang telah dilakukan menghasilkan grafik parameter kinerja antenna sebagai berikut.



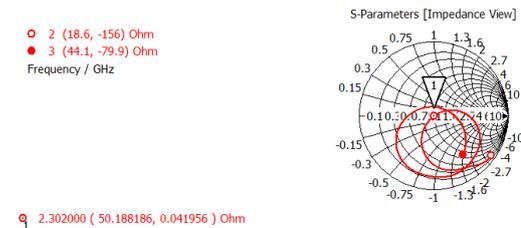
Gambar 3. Hasil simulasi return loss dan mutual coupling antenna MIMO 2 x 2



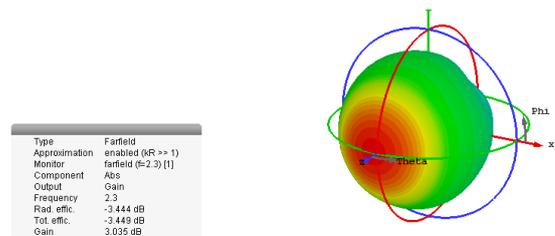
Gambar 4. Hasil simulasi VSWR antenna MIMO 2x2



Gambar 5. Hasil simulasi bandwidth antenna MIMO 2x2



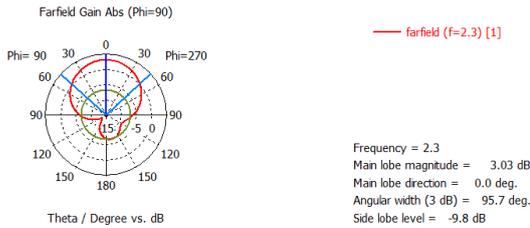
Gambar 6. Hasil simulasi impedansi antenna MIMO 2x2



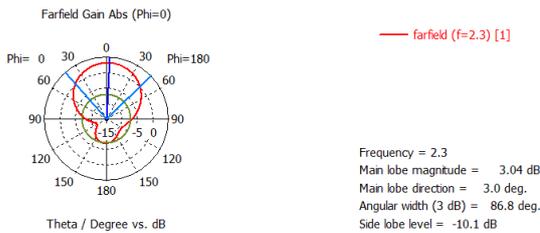
Gambar 7. Hasil simulasi gain antenna MIMO 2x2

Gambar 3 merupakan hasil simulasi return loss dan mutual coupling antenna MIMO 2x2 yang menunjukkan pada frekuensi kerja 2,302 GHz memiliki return loss sebesar -54,31 dB dan nilai mutual coupling sebesar -30,34 dB. Hasil mutual coupling <-20 dB diperlukan untuk mengisolasi antar antenna karena pada MIMO, antenna berada dalam satu board dan beroperasi secara simultan. Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi VSWR antenna MIMO 2x2 bernilai 1,004. Bandwidth yang diperoleh sebesar 90 MHz dengan rentang frekuensi 2,2577 MHz sampai 2,3477 MHz yang merupakan rentang frekuensi dengan nilai return loss <-9,54 dB ditunjukkan pada Gambar 5. Impedansi antenna 50,18 + j0,04 Ω telah mendekati impedansi masukan 50 Ω sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 6.

Pada Gambar 7 dapat dilihat hasil simulasi gain antenna MIMO 2x2 menghasilkan gain sebesar 3,035 dB. Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi pola radiasi antenna MIMO 2x2 pada sudut elevasi dan Gambar 9 untuk pola radiasi azimuth. Kedua gambar tersebut menunjukkan bahwa antenna MIMO 2 x 2 ini memiliki pola radiasi direksional.



Gambar 8. Hasil simulasi pola radiasi elevasi antenna MIMO 2x2



Gambar 9. Hasil simulasi pola radiasi azimuth antenna MIMO 2x2

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan antenna yang telah disimulasikan kemudian difabrikasi dengan bahan FR4 Epoxy, sehingga diperoleh antenna seperti pada Gambar 10. Antena yang telah direalisasikan diukur dengan alat *Spectrum Analyzer* dan *Network Analyzer* untuk mengetahui nilai parameter VSWR, *return loss*, impedansi, *gain*, *mutual coupling* dan pola radiasi.



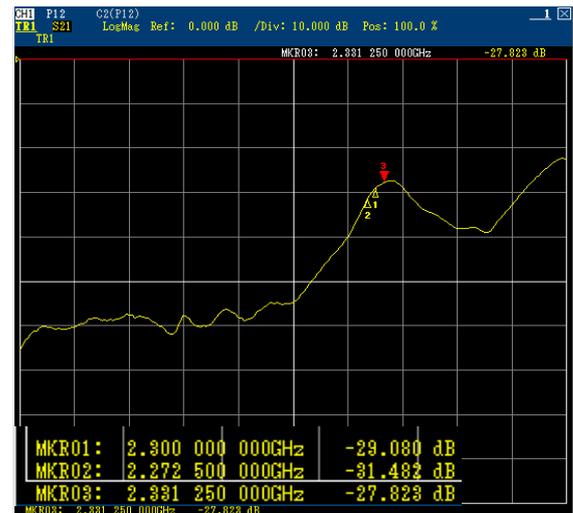
Gambar 10. Hasil fabrikasi antenna MIMO 2x2

Hasil pengukuran *return loss* dan *bandwidth* ditunjukkan Gambar 11. *Marker 1* (MKR01) menunjukkan nilai *return loss* sebesar -22,943 dB pada frekuensi 2,3 GHz, *marker 2* (MKR02) menandai nilai *return loss* sebesar -10,185 dB pada frekuensi 2,27 GHz dan *marker 3* (MKR03) memperlihatkan nilai *return loss* sebesar -10,231 dB pada frekuensi 2,33 GHz. Pada frekuensi resonansi telah diperoleh nilai *return loss* yang diinginkan yaitu ≤ -20 dB. Mengacu pada *marker 2* (MKR02) dan *marker 3* (MKR03) pada Gambar 11, dapat diperoleh

batas-batas nilai *return loss* < -10 dB, sehingga diperoleh *bandwidth* sebesar 60 MHz dengan rentang frekuensi 2,27 MHz sampai dengan 2,33 MHz.



Gambar 11. Hasil pengujian *return loss* antenna MIMO 2x2

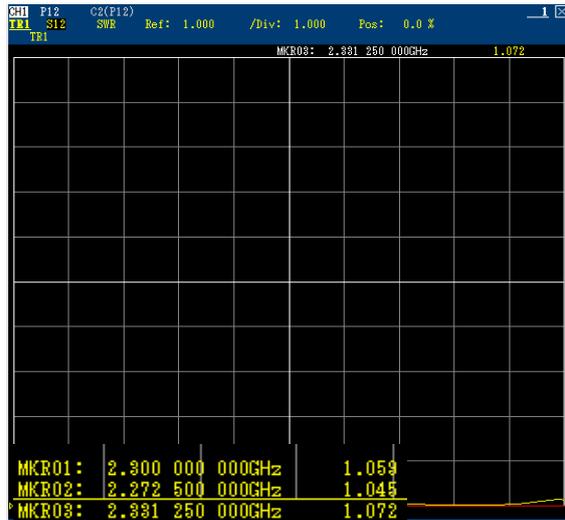


Gambar 12. Hasil pengukuran *mutual coupling* antenna MIMO 2x2

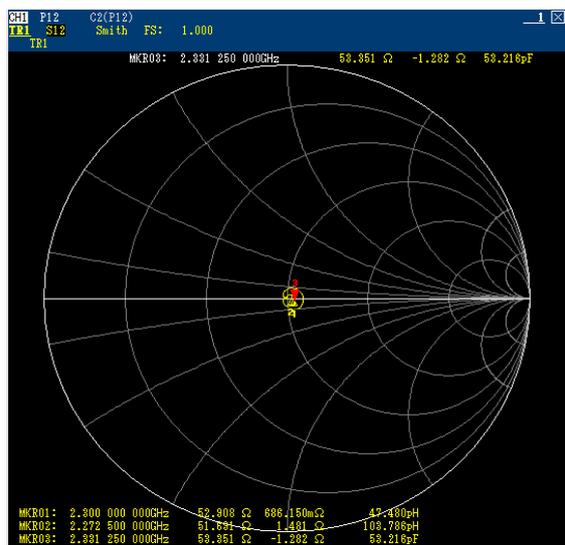
Pengukuran *mutual coupling* pada Gambar 12 menunjukkan nilai -29,08 dB pada frekuensi resonansi 2,3 GHz (MKR01), sementara pada frekuensi 2,272 GHz (MKR02) diperoleh nilai -31,482 dB, dan pada frekuensi 2,33 GHz (MKR03) didapatkan nilai -27,823 dB. Dengan demikian nilai *mutual coupling* yang dicapai telah memenuhi spesifikasi < -20 dB.

Hasil pengukuran VSWR diperlihatkan pada Gambar 13, yaitu nilai VSWR terukur sebesar 1,059 pada frekuensi 2,3 GHz (MKR01), dan pada frekuensi 2,272 GHz (MKR02) dan frekuensi 2,33 GHz (MKR03) diperoleh nilai masing-masing sebesar 1,045 dan 1,072. Sedangkan pada Gambar 14 diperoleh nilai

Impedansi $52,9 + j0,69 \Omega$ pada frekuensi 2,3 GHz.



Gambar 13. Hasil Pengukuran VSWR antenna MIMO 2x2

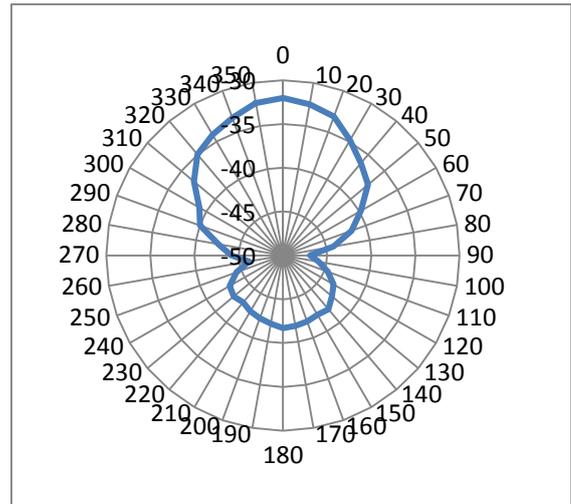


Gambar 14. Hasil Pengukuran Impedansi antenna MIMO 2x2

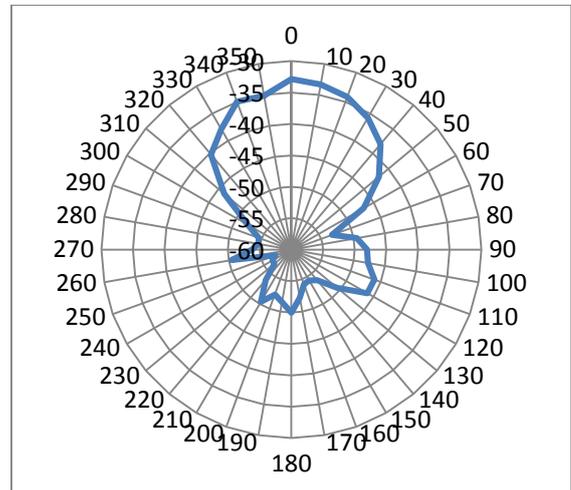
Pengukuran *gain* dilakukan dengan menggunakan *spectrum analyzer*, *function generator* dan antenna *horn* sebagai antenna referensi. Antenna *horn* tersebut mempunyai *gain* antenna sebesar 12 dB. Dengan melakukan sepuluh kali pengukuran diperoleh nilai rata-rata *gain* sebesar 3,483 dB.

Gambar 15 dan Gambar 16 menunjukkan hasil pola radiasi sudut azimuth dan elevasi. Dari hasil pengukuran pola radiasi pada frekuensi 2,3 GHz, dapat digambarkan pola radiasi antenna mikrostrip MIMO 2x2 yang cenderung berbentuk direksional.

Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran dapat dilihat pada Tabel II. Secara umum hasil simulasi maupun pengukuran telah memenuhi spesifikasi



Gambar 15. Hasil pengujian pola radiasi azimuth antenna MIMO 2x2



Gambar 16. Hasil pengujian pola radiasi elevasi antenna MIMO 2x2

TABEL II. PARAMETER ANTENA HASIL SIMULASI DAN PENGUKURAN

Parameter	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Rentang Frekuensi kerja	2,26 – 2,35 GHz	2,26 – 2,35 GHz
VSWR pada frekuensi 2,3 GHz	1,004	1,059
Return Loss pada frekuensi 2,3 GHz	-37,28 dB	..-22,94 dB
Mutual Coupling pada frekuensi 2,3 GHz	-30,32 dB	-29,08 dB
Bandwidth pada return loss <-10 dB	90 MHz	60 MHz
Gain	3,035 dB	3,483 dB

Dengan memperhatikan Tabel II maka antenna yang telah dirancang memiliki nilai *gain* yang lebih baik (3,035 dB pada simulasi dan 3,483 dB pada pengukuran) jika dibandingkan dengan antenna *patch* segitiga yang bekerja pada frekuensi 2,3 GHz dalam [6] yaitu sebesar 1,02 dB pada simulasi dan 1,05 dB pada pengukuran. Sedangkan pada penelitian [13], yang menggunakan *patch* persegi panjang pada frekuensi 2,35 GHz diperoleh *gain* hasil simulasi 2,87 dB dan hasil pengukuran 4,99 dB, *bandwidth* simulasi 48,1 dB dan *bandwidth* pengukuran 68 MHz. Sehingga antenna yang dirancang ini memiliki nilai *gain* dan *bandwidth* lebih tinggi pada simulasi, namun lebih kecil pada hasil pengukuran jika dibandingkan dengan penelitian [13].

Pengujian antenna hasil rancangan berikutnya adalah dengan memasang antenna MIMO 2x2 pada *mobile wifi* (perangkat terminal berstandar LTE) dan diukur tingkat daya terimanya, kemudian dibandingkan saat *mobile wifi* tanpa tambahan antenna MIMO 2x2. Pengujian menggunakan *software* Homedale untuk mengetahui tingkat daya terima (dBm) dan menggunakan *mobile wifi* Huawei e5577. Pada Tabel III menunjukkan pada jarak 1 meter, tingkat daya terima *mobile wifi* tanpa antenna MIMO 2x2 sebesar -37 dBm dan tingkat daya terima *mobile wifi* dengan antenna MIMO 2x2 adalah -30 dBm, kedua nilai tersebut menunjukkan bahwa tingkat daya terima *mobile wifi* lebih tinggi menggunakan antenna MIMO 2x2 daripada ketika menggunakan antenna *mobile wifi* saja. Hal yang serupa dapat diketahui dengan jarak lainnya. Dengan menghitung selisih tingkat penerimaan daya tanpa antenna MIMO dan dengan antenna MIMO diperoleh rata-rata peningkatan daya sebesar 5,6 dB. Nilai ini jika dikonversikan ke dalam nilai daya mutlak diperoleh peningkatan level daya terima sebesar 3,86 kali lebih kuat. Dengan demikian dapat ditunjukkan bahwa penggunaan antenna MIMO 2x2 dapat meningkatkan level daya terima *mobile wifi*.

TABEL III. HASIL PENGUJIAN TINGKAT PENERIMAAN DAYA

No	Tingkat Penerimaan Daya Sinyal		Peningkatan level daya (dB)
	Tanpa Antena MIMO	Dengan Antena MIMO	
1	-37 dBm	-30 dBm	7
2	-42 dBm	-37 dBm	5
3	-45 dBm	-41 dBm	4
4	-50 dBm	-42 dBm	8
5	-53 dBm	-45 dBm	8
6	-58 dBm	-52 dBm	6
7	-59 dBm	-55 dBm	4
8	-61 dBm	-57 dBm	4
9	-63 dBm	-58 dBm	5
10	-65 dBm	-60 dBm	5
Rata-rata peningkatan penerimaan kuat sinyal			5,6 dB

Selain pengujian tingkat penerimaan daya juga dilakukan pengujian kecepatan mengunduh data. Pengujian dilakukan dengan cara memasang antenna MIMO 2x2 pada *mobile wifi* dan mengukur kecepatan *download*-nya, kemudian dibandingkan saat *mobile wifi* tanpa tambahan antenna MIMO 2x2. Pengujian menggunakan *provider* Smartfren, pengujian kecepatan *download* menggunakan Speedtest.net untuk mengetahui kecepatan *download* (Mbps) dan menggunakan *mobile wifi* Huawei e5577. Pada Tabel IV menunjukkan tanpa menggunakan antenna MIMO 2x2 kecepatan *download* terbaik adalah 9,83 Mbps sedangkan menggunakan antenna MIMO 2x2 kecepatan *download* terbaik adalah 16,4 Mbps, kedua nilai tersebut menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kecepatan *download* pada saat menggunakan antenna MIMO 2x2 yaitu sebesar 6,57 Mbps. Maka kecepatan *download* akan lebih baik jika menggunakan antenna MIMO 2x2. Dari sepuluh data hasil pengukuran dapat diperoleh rata-rata peningkatan sebesar 4,387 Mbps dan persentase peningkatan sebesar 79,7%. Maka dapat ditunjukkan bahwa kecepatan *download* akan lebih baik jika menggunakan antenna MIMO 2x2.

Pengujian penerimaan kuat sinyal dan kecepatan data juga dilakukan dalam penelitian-penelitian sebelumnya yaitu pada perancangan antenna MIMO untuk aplikasi *wireless LAN*. Pada [9], dalam kondisi *non line of sight* level daya terima sinyal meningkat sebesar 1,67 dB, sementara rata-rata kecepatan data meningkat 25,8%. Hasil penelitian pada [11] menunjukkan persentase kecepatan sinyal 50%, persentase kecepatan *download* 97,1% dan persentase kecepatan *upload* 38,9% yang berarti kecepatan

download lebih baik daripada hasil pada Tabel IV di atas. Pada [15] dilaporkan peningkatan sebesar 4,2 dB pada penggunaan antena MIMO untuk *wireless LAN* 2,4 GHz. Hasil ini juga menunjukkan peningkatan yang tidak berbeda jauh dengan hasil pada makalah ini.

TABEL IV. HASIL PENGUJIAN KECEPATAN DATA

Percobaan ke-	Kecepatan <i>download</i> (Mbps)		Selisih Kecepatan (Mbps)
	Tanpa Antena MIMO	Dengan Antena MIMO	
1	7,7	5,71	-1,99
2	6,76	7,23	0,47
3	9,83	15,14	5,31
4	9,01	16,4	7,39
5	4,66	5,99	1,33
6	3,05	11,6	8,55
7	2,85	11,6	8,75
8	3,82	5,82	2
9	3,82	7,19	3,37
10	3,52	12,21	8,69
Rata-rata	5,502	9,889	4,387
Peningkatan kecepatan data			79,7%

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan keseluruhan tahapan yang telah dilakukan yaitu perancangan, fabrikasi dan pengujian antena, dapat disimpulkan bahwa Antena mikrostrip MIMO 2x2 *patch* persegi panjang yang telah direalisasikan dapat bekerja pada frekuensi tengah 2,3 GHz, dengan menghasilkan nilai *return loss* sebesar -22,943 dB, nilai *mutual coupling* sebesar -29,08 dB, nilai VSWR sebesar 1,059 pada frekuensi 2,3 GHz., dengan *bandwidth* 60 MHz (2,27 MHz - 2,33 MHz), dan *gain* hasil pengukuran adalah 3,483 dB. Pola radiasi antena mikrostrip MIMO 2x2 *patch* persegi panjang dari hasil pengukuran adalah direksional.

Antena MIMO yang telah dirancang dan direalisasikan ini, elemennya masih berbentuk sederhana yaitu *patch* tunggal persegi panjang, sehingga kinerjanya masih pada nilai tipikal yang dihasilkan antena mikrostrip elemen tunggal. Untuk meningkatkan kinerja antena terutama pada *gain* dan *bandwidth*, elemen antena dapat dikembangkan dalam bentuk *multilayer* atau *array*. Pengembangan lainnya dapat juga menggunakan metode *defected ground structure* untuk meningkatkan kinerja tanpa menambah ukuran fisik antena.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Kristen Satya Wacana yang telah mendanai penelitian ini.

Daftar Pustaka:

- [1] Y. Yang, Q. Chu, and C. Mao, "Multiband MIMO Antenna for GSM, DCS, and LTE Indoor Applications," *IEEE Antennas Wirel. Propag. Lett.*, vol. 15, pp. 1573–1576, 2016.
- [2] T. K. Roshna, U. Deepak, V. R. Sajitha, K. Vasudevan, and P. Mohanan, "A compact UWB MIMO antenna with reflector to enhance isolation," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 63, no. 4, pp. 1873–1877, Apr. 2015.
- [3] I. Anisah, H. Briantoro, A. Zainudin, and D. Intan Permatasari, "Implementasi Sistem Komunikasi Nirkabel OFDM Berbasis Software Defined Radio (SDR)," *JNTEI*, vol. 7, no. 2, pp. 183–189, 2018.
- [4] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd ed. New Jersey: John Wiley and Son, 2005.
- [5] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 3rd ed. USA: John Wiley and Son, 2012.
- [6] M. Situmorang, H. Wijanto, and Y. Wahyu, "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip Patch Segitiga MIMO 2x2 pada Frekuensi 2,3 GHz untuk Aplikasi LTE," *e-Proceedings Eng.*, vol. 2, no. 2, pp. 2548–2554, 2015.
- [7] R. Jhon, A. A. Muayyadi, and Y. Wahyu, "Perancangan dan Realisasi Antena Mikrostrip MIMO Bowtie 4X4 pada Frekuensi 1,8 GHz untuk Aplikasi LTE," *e-Proceeding Eng.*, vol. 3, no. 2, pp. 1763–1771, 2016.
- [8] R. Utomo, D. Arseno, and Y. Wahyu, "Perancangan dan Realisasi Antena MIMO 2X2 Mikrostrip Patch Persegi Panjang 5,2 GHz untuk WIFI 802.11N dengan Catuan EMC (Electromagnetically Coupled COUPLED)," *e-Proceeding Eng.*, vol. 5, no. 1, pp. 705–712, 2018.
- [9] A. Wulandari, R. Martha Fitriani, and D. Fadli Kurniawan, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip MIMO 2x2 untuk Aplikasi WiFi 802.11n di Frekuensi 2,4 GHz," *Politeknologi*, vol. 16, no. 2, pp. 131–139, 2017.
- [10] E. Pratama and E. Safrianti, "Perancangan Antena Mikrostrip Circular Patch MIMO 2x2 untuk Aplikasi Wireless Fidelity (WiFi) pada Frekuensi Kerja 2,4 GHz," *Jom FTEKNIK*, vol. 4, no. 1, pp. 1–7, 2017.

- [11] S. Maharani, A. Atmaja, and I. Sukma Kumala, "Rancang Bangun Antena Mikrostrip MIMO 2x2 Circular Patch pada Frekuensi Kerja 2.4 GHz," *J. JIT*, vol. 3, no. 2, pp. 75–88, 2019.
- [12] I. M. . Budi, E. S. Nugraha, and A. Agung, "Perancangan Dan Analisis Antena Mikrostrip Mimo Circular Pada Frekuensi 2.35 GHz Untuk Aplikasi LTE," *J. INFOTEL*, vol. 9, no. 1, p. 136, Feb. 2017, doi: 10.20895/infotel.v9i1.130.
- [13] E. Wahyudi, E. S. Nugraha, and T. S. Munthe, "Antena Mikrostrip Multiple Input Multiple Output dengan Patch Rectangular pada Long Term Evolution," in *2nd Seminar Nasional IPTEK Terapan (SENIT) 2017*, 2017, pp. 15–17.
- [14] Y. Rahayu, K. Alfikri, and R. T. Silalahi, "Perancangan Antena dengan Circular Line Patch dan Thick Line untuk LTE Frekuensi 1.8 GHz," *SINERGI*, vol. 21, no. 1, p. 59, Mar. 2017.
- [15] Waluyo, A. Rizky, and Koesmarjianto, "Perancangan Dan Realisasi Antena MIMO Mikrostrip 4x4 Patch Circular Pada Frekuensi 2,4 GHz Untuk Aplikasi WLAN 802.11N," *Jartel*, vol. 7, no. 2, pp. 23–28, 2018.