PERANCANGAN ANTENA *SMARTPHONE* MIMO 8X8 *MULTI LAYER* UNTUK JARINGAN KOMUNIKASI NIRKABEL 5G

Vickri Wira Franatha, Yusnita Rahayu
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293, Indonesia
Email: vickri.franatha3422@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Currently, research on MIMO microstrip antennas to support fifth generation (5G) technology is increasing. This is because high data rate is required. A 28 GHz frequency is one of the mobile allocation frequencies approved by the Federal Communication Commission (FCC). In this research, Multiple Input Multiple Output (MIMO) 8x8 smartphone antenna working on 28 GHz using Computer Simulation Technology (CST) Microwave Studio simulation software is designed. The antenna is designed with 4 layers of the same substrate using aperture coupled technique. The aperture coupled technique allows the antenna to generate large bandwidth. Based on simulation result data, This antenna gives the result of parameter simulation values such as bandwidth impedance 2.38 GHz (8.5%), return loss -45.912 dB, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) 1.01 and gain 12.5 dB at 28 GHz. The design of antenna is expected to be applied at mobile smartphones and work on millimeterwave mobile communications systems in the future.

Keywords: MIMO, Aperture Coupled, Milimeterwave

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan sistem komunikasi data, kecepatan pengiriman data yang besar diperlukan untuk memenuhi kebutuhan data. Oleh sebab itu, sistem seluler 5G dialihkan pada pita gelombang milimeter yang memiliki *bandwidth* lebih besar untuk dapat meningkatkan kapasitas layanan jaringan (Wang, 2016).

Semakin tingginya frekuensi menyebabkan gelombang sinyal akan menjadi pendek dan beresiko meningkatkan *path loss* menjadi lebih tinggi. Untuk mengatasi efek atenuasi, dibutuhkan antena yang memiliki karakteristik *steerable* seperti antena MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). Antena MIMO yang berukuran kecil dapat diterapkan pada *mobile device.* (Ojaroudiparchin, 2015).

MIMO adalah metode yang memungkinkan untuk meningkatkan throughput data menggunakan beberapa saluran transmisi untuk penerimaan data dengan saluran yang berbeda-beda. Untuk mewujudkan teknologi MIMO pada struktur multi antena mobile dapat menggunakan polarisasi dan keragaman pola untuk komunikasi yang baik dengan *mutual coupling* yang rendah (Abdullah, 2017).

Penelitian tentang antena MIMO yang bekerja pada frekuensi gelombang milimeter telah dilakukan oleh Rahayu, Y. dan Mustofa, I. R. yang berjudul "*Design of 2×2 MIMO Microstrip Antenna Rectangular Patch Array for 5G Wireless Communication Network*" pada tahun 2017 dengan hasil *return loss* -44,77 dB dan *gain* 18,5 dBi (Rahayu, 2017).

Penelitian antena 5G dilakukan oleh Rahayu, Y., Fitria L., Hakiki, Y., Kurniawan, A. dalam penelitiannya yang berjudul "*A New 2x4 Array Design of Dual-Band Millimeter-Wave Antenna for 5G Applications*" pada tahun 2018 dengan hasil nilai *return loss* -19,75 dB, VSWR ≤1,5, *bandwidth* 1,19 GHz pada frekuensi 28 GHz sedangkan pada frekuensi 38 GHz didapatkan hasil *return loss* -19,55 dB, VSWR ≤1,5, *bandwidth* 1,42 GHz (Rahayu, 2018).

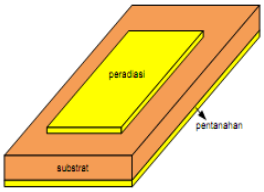
Pada penelitian ini dilakukan perancangan antena mikrostrip MIMO multi layer untuk perangkat *mobile* yang bekerja pada frekuensi 28 GHz. Perancangan menggunakan teknik pencatuan *aperture coupled* yang mana teknik ini memungkinkan antena untuk menghasilkan *bandwidth* yang besar sehingga nantinya dapat digunakan untuk aplikasi jaringan komunikasi nirkabel 5G.

LANDASAN TEORI

1. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki bentuk (*board*) tipis dan mampu beroperasi pada frekuensi yang sangat tinggi. Antena mikrostrip tersusun atas 3 elemen penting, Elemen peradiasi (radiator) atau biasa disebut *patch* berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik. Struktur antena mikrostrip

ditunjukkan oleh gambar 1. (Yuniati, 2015)



Gambar 1. Struktur Antena Mikrostrip
(Yuniati, 2015)

2. Parameter Antena

Kinerja dan kualitas suatu antena dapat dilihat dari unjuk kerja parameter antena tersebut. Dengan mengetahui nilai parameter antena, dapat dijadikan sebagai tolak ukur dari performansi antena itu sendiri.

Voltage Standing Wave Rasio (VSWR)

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) adalah kemampuan suatu antena untuk bekerja pada frekuensi yang diinginkan. Pengukuran VSWR berhubungan dengan pengukuran koefisien refleksi dari antena tersebut. Perbandingan level tegangan yang kembali ke pemancar (V-) dan yang datang menuju beban (V+) ke sumbernya lazim disebut koefisien pantul atau koefisien refleksi. (Sinurat, 2015)

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \qquad (1)$$

dimana:
Z1 = impedansi beban *(load)*
Z2 = impedansi saluran *lossless.*

Return Loss

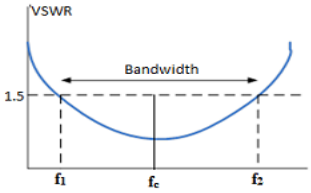
Return loss dapat terjadi akibat adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena), sehingga tidak semua daya yang diradiasikan melainkan ada yang dipantulkan kembali (Deriko, 2015).
Persamaan dari *Return loss* adalah:

$$return\,loss = 20\ log_{10}|\Gamma| \qquad (2)$$

Nilai *return loss* yang baik adalah dibawah -9,54 dB, karena pada saat kondisi tersebut saluran transmisi dalam keadaan *matching* dimana gelombang yang direfleksikan lebih kecil dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan. Nilai dari parameter ini menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah antena sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

Bandwidth

Bandwidth antena didefinisikan sebagai rentang frekuensi kerja dari suatu antena dengan menunjukkan beberapa karakteristik yang sesuai pada standar yang ditentukan. *Bandwidth* dapat dipertimbangkan sebagai rentang frekuensi pada salah satu sisi dari frekuensi tengah dimana karekteristik antena dalam keadaan yang dapat diterima pada frekuensi tengah. Ilustrasi *bandwidth* ditunjukkan oleh gambar 2. (Yuniati, 2015)



Gambar 2. Rentang frekuensi yang menjadi *bandwidth*
(Yuniati, 2015)

Persamaan untuk mencari *Bandwidth* sebagai berikut:

$$BW = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\ \% \qquad (3)$$

Keterangan:
f_2 = frekuensi tertinggi (Hz)
f_1 = frekuensi terendah (Hz
f_c = frekuensi tengah (Hz)

Penguatan (*Gain*)

Parameter antena yang menggambarkan kemampuan dari keterarahan energi disebut *gain*. Untuk sebagian antena, fungsi perolehan menunjukkan suatu maksimum yang sangat nyata, nilai maksimum dari keterarahan sebagai perolehan dari antena, tetapi ini hanyalah perolehan dalam arti bahwa antena tersebut memusatkan atau memfokuskan daya pada rasio dari intensitas pada suatu arah dengan daya yang diterima antena, dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (Sinurat, 2015):

$$gain = 4\pi \frac{(\theta, \varphi)}{Pin} \qquad (4)$$

Harga maksimum dari *gain* adalah harga maksimum dari intensitas radiasi atau harga maksimum dari persamaan (4), sehingga dapat dinyatakan kembali pada persamaan sebagai berikut (Sinurat, 2015):

$$G = d\,\frac{4\pi U(\theta,\varphi)}{P_{in} losles} \qquad (5)$$

Keteranan :
U(θ,ϕ) = Perolehan daya pada arah tertentu
Pin = Daya yang diterima oleh antena
Pin (losless) = Daya yang diterima oleh antena isotropik

3. Antena Mikrostrip *Patch* Persegi Panjang

Menentukan lebar *patch* (*w*) (Sidauruk, 2015):

$$W = \frac{c}{2 f_0 \sqrt{\frac{(\varepsilon_r + 1)}{2}}} \qquad (6)$$

Keterangan
c = Kecepatan cahaya (3x108 m/s)
fr = Frekuensi kerja antena
Ɛr = Konstanta dielektrik substrat

Sedangkan untuk menentukan panjang patch (l) diperlukan parameter Δl yang merupakan pertambahan panjang dari l akibat adanya *fringing effect*. Pertambahan panjang dari l (Δl) tersebut dirumuskan dengan (Sidauruk, 2015):

$$\Delta L = 0.412h\,\frac{\left(\varepsilon_{reff} + 0,3\right)\left(\frac{W}{h} + 0,264\right)}{\left(\varepsilon_{reff} - 0,258\right)\left(\frac{W}{h} + 0,8\right)} \qquad (7)$$

Dimana *h* merupakan tinggi substrat dan ε_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif yang dirumuskan sebagai (Sidauruk, 2015):

$$\varepsilon_{reff} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2}\left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12\left(\frac{h}{W}\right)}}\right) \qquad (8)$$

Dengan demikian panjang *patch* (l) diberikan oleh (Sidauruk, 2015):

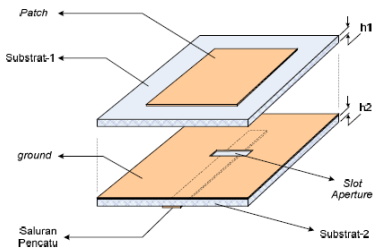
$$L = L_{eff} - 2\Delta L \qquad (9)$$

Dimana L_{eff} merupakan panjang *patch* efektif yang dapat dirumuskan dengan:

$$L_{eff} = \frac{c}{2 f_0 \sqrt{\varepsilon_{reff}}} \qquad (10)$$

4. Teknik Pencatuan Mikrostrip *Aperture Coupled*

Teknik pencatuan pada antena mikrostrip merupakan teknik untuk mentransmisikan energi elektromagnetik ke antena mikrostrip. Untuk kebutuhan mendapatkan *bandwitdh* yang lebar, salah satu teknik yang dapat dilakukan adalah dengan teknik pencatuan *aperture coupled*. Ada beberapa keuntungan yang diperoleh bila menggunakan penggandengan celah (*aperture coupled*), antara lain adalah *bandwidth* lebih lebar dan mempunyai tingkat osilasi antara antena dan saluran transmisi yang lebih baik. Dengan teknik pencatuan ini, memungkinkan antena mikrostrip dan saluran transmisi dioptimasi secara terpisah dengan menggunakan bahan substrat yang berbeda. Struktur teknik pencatuan *aperture coupled* ditunjukkan oleh gambar 3 (Sidauruk, 2015).



Gambar 3. Teknik Pencatuan *Aperture Coupled*
(Sidauruk, 2015)

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung panjang dan lebar saluran mikrostrip diberikan oleh persamaan di bawah ini (Yuniati, 2015):

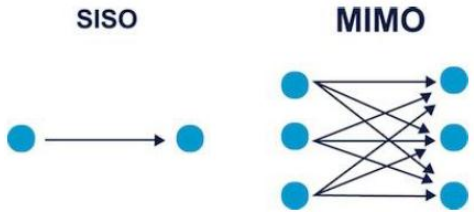
$$W = \frac{2h}{\pi}\left\{B - 1 - \ln(2B-1) + \frac{\varepsilon_r - 1}{2_{\varepsilon_r}}\left[\ln(B-1) + 0,39 - \frac{0,61}{\varepsilon_r}\right]\right\} \qquad (11)$$

Dengan ε_r adalah konstanta dielektrik relatif dan:

$$B = \frac{60\varepsilon_r^{\ 2}}{Z_0\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad (12)$$

5. *Massive* MIMO

Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan sistem yang terdiri atas sejumlah antena pengirim dan penerima. Sistem MIMO bekerja dengan baik pada komponen *multipath*. *Massive* MIMO merupakan teknologi MIMO dimana jumlah terminal jauh lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah antena *mobile station. Massive* MIMO dapat meningkatkan kapasitas hingga 15 kali, serta meningkatkan efisiensi energi radiasi hingga 100 kali. Peningkatan efisiensi energi didukung dengan penggunaan antena dalam jumlah besar (Wijanto, 2017). Teknik MIMO dengan beberapa antena pemancar ditunjukkan pada Gambar 4.



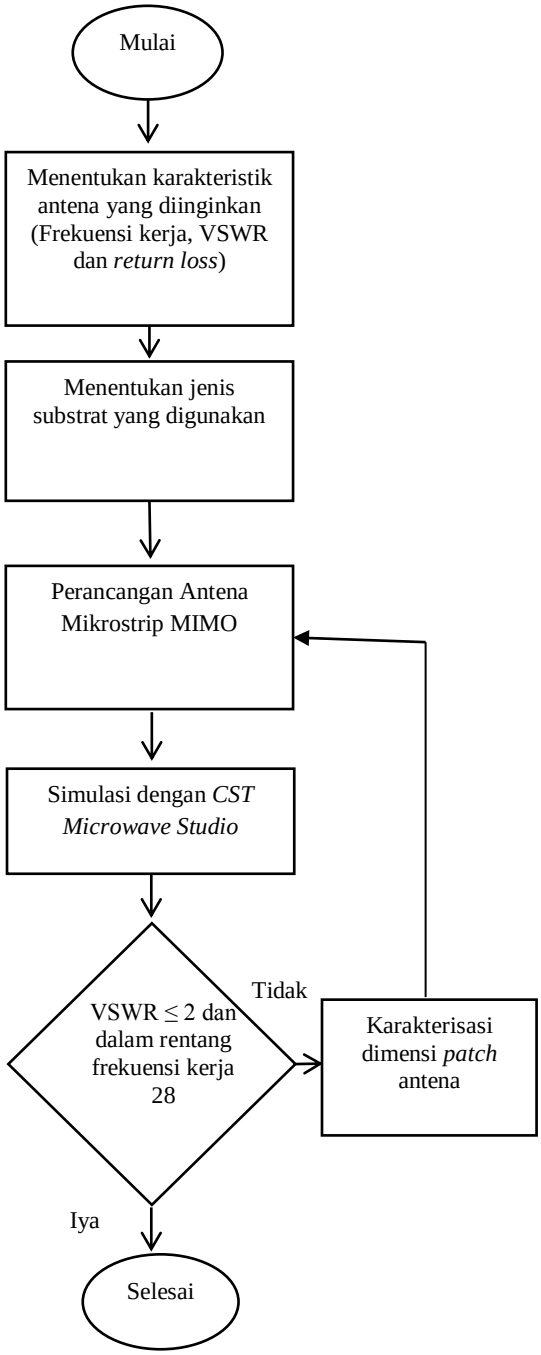
Gambar 4. Konfigurasi MIMO
(Wijanto, 2017)

Prinsip dari MIMO adalah memecah deretan simbol yang akan dikirimkan menjadi beberapa paralel deretan simbol, yang kemudian ditransmisikan secara bersamaan dengan *bandwidth* yang sama (Elda, 2014).

BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut. Gambar 5 menggambarkan diagram alir dalam perancangan antena hingga proses simulasi dan karakerisasi antena. Pada diagram alir terdapat proses-proses langkah yang harus dilakukan dalam merancang antena mikrostrip MIMO.

Perancangan dimulai dengan menentukan jenis subsrat yang digunakan serta frekuensi kerja yang ingin dicapai. Kemudian melakukan perancangan dan simulasi antena mikrostrip MIMO pada *software* CST *Microwave Studio.*



Gambar 5. Diagram Alir Perancangan

Menentukan Karakteristik Antena

Adapun tahapan awal dari peracangan antena adalah menenrukan karakteristik antena yang diharapkan, yaitu frekuensi kerja antena, *impedance bandwidth*, *return loss*, VSWR, dan *gain*. Adapun parameter antena 5G yang diinginkan seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter Antena yang Diinginkan

Parameter	Karakterisasi Antena
Frekuensi Kerja	28 GHz
Return Loss	< -10 dB
Bandwidth	> 500 MHz
VSWR	≤ 2
Gain	≤15 dB

Menentukan Jenis Substrat yang digunakan

Adapun jenis substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah substrat RT Duroid 5880 yang memiliki ketebalan sebesar 0,2 mm dengan spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Substrat yang Digunakan

Jenis Substrat	RT Duroid 5880
Konstanta Dielektrik Relatif ($\mathcal{E}r$)	2,2
Dielectric Loss Tangent (tan δ)	0,0009
Ketebalan Substrat (h)	0,2 mm

Perancangan Dimensi *Patch* Persegi Panjang

Pada perancangan awal dilakukan perhitungan dimensi antena menggunakan rumus yang telah dijelaskan pada sebelumnya, yaitu menggunakan persamaan (6) hingga (10). Perhitungan dimensi *patch* persegi panjang terdiri atas panjang (l) dan lebar (w).

Menentukan lebar *patch* (w):

$$W = \frac{3\times10^{8}}{2\times28\times10^{9}\times\sqrt{\frac{2,2+1}{2}}} = 4,24\,\text{mm}$$

Menentukan panjang *patch* (l) :

$$\varepsilon_{reff} = \frac{2,2+1}{2} + \frac{2,2-1}{2}\left(\frac{1}{\sqrt{1+12\left(\frac{0,2}{4,24}\right)}}\right) = 2,079$$

$$\Delta L = 0,412\times0,2\times\frac{\left(2,079+0,3\right)\left(\frac{4,24}{0,2}+0,264\right)}{\left(2,079-0,258\right)\left(\frac{4,24}{0,2}+0,8\right)} = 0,105\,\text{mm}$$

$$L_{eff} = \frac{3\times10^{8}}{2\times28\times10^{9}\times\sqrt{2,079}} = 3,71\text{mm}$$

$$L = 3,71-\left(2\times0,105\right) = 3,5\,\text{mm}$$

Dari perhitungan tersebut berdasarkan spesifikasi substrat yang akan digunakan, diperoleh panjang dan lebar *patch* masing-masing adalah 3,5 mm dan 4,24 mm.

Perancangan Saluran Pencatu 50 Ohm

Pada saat perancangan antena mikrostrip MIMO elemen tunggal pada CST *Microwave Studio* perlu adanya impedansi masukan (Zin) sebesar 50 Ω dimana pencatu akan dihubungkan dengan konektor *impedance* 50 Ω tersebut. Nilai tersebut bisa didapatkan dengan mengatur lebar dari saluran pencatu. Untuk mendapatkan besar lebar dari saluran pencatu yang menghasilkan nilai impedansi 50 Ω dapat dicari dengan menggunakan persamaan (11) hingga (12).

$$B = \frac{60\times3,14^{2}}{50\times\sqrt{2,2}} = 7,98$$

$$W = \frac{2\times0,2}{3,14}\times\left\{\begin{matrix}7,98-1-\ln\left(\left(2\times7,98\right)-1\right)+\frac{2,2-1}{2\times2,2}\times\\ \left[\ln\left(7,98-1\right)+0,39-\frac{0,61}{2,2}\right]\end{matrix}\right\} = 1,2\,\text{mm}$$

Dengan memasukkan karakteristik impedansi yang diinginkan dan parameter-parameter substrat yang digunakan ke dalam rumus di atas, maka dari hasil perhitungan untuk menghasilkan nilai impedansi 50 Ω dengan menggunakan nilai parameter substrat yang digunakan dalam perancangan ini, dibutuhkan lebar saluran pencatu sebesar 1,2 mm. Sedangkan untuk panjang saluran pencatu diharapkan diperoleh nilai yang optimal melalui iterasi. Untuk perancangan awal digunakan panjang pencatu sebesar 5 mm.

Simulasi Antena Mikrostrip MIMO

Setelah dilakukannya desain manual antena, maka tahap selanjutnya adalah simulasi antena menggunakan perangkat lunak CST *Microwave Studio*. Apabila setelah dilakukan report hasil yang didapat tidak memenuhi dari spesifikasi yang

diinginkan, maka dilakukan pengkarakterisasian antena untuk mendapatkan hasil yang optimal.

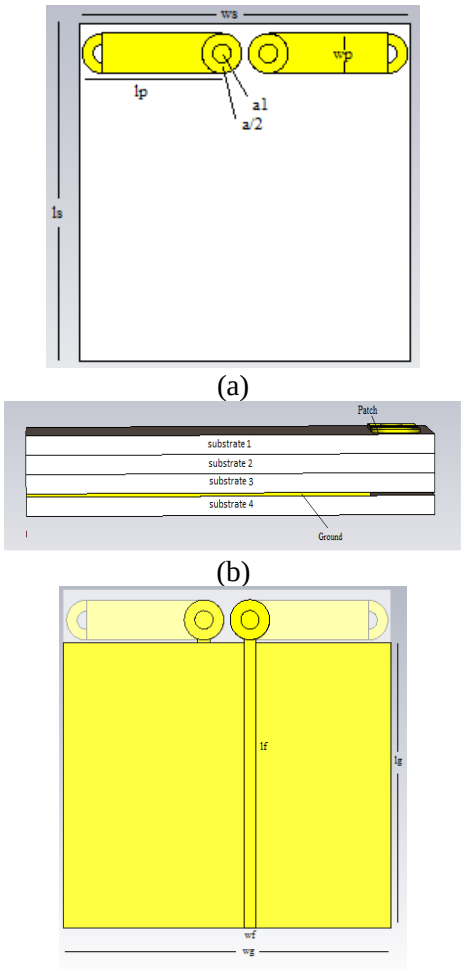
Karakterisasi Antena Mikrostrip MIMO

Karakterisasi antena merupakan perubahan ukuran yang dilakukan pada beberapa parameter antena untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan atau hasil yang optimal. Karakterisasi yang dilakukan berupa perubahan dimensi saluran pencatu dan dimensi *patch*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan Antena Mikrostrip *Multi Layer*

Pada gambar 6 dapat dilihat tahap awal perancangan antena dengan menggunakan 4 lapis substrat RT Duroid 5880 dengan Konstanta Dielektrik Relatif (εr) 2.2 dan ketebalan 0.2 mm di setiap lapisannya.



Gambar 6. Desain Antena Mikrostrip *Multi Layer*

Perancangan *patch* pada antena terdiri dari dua *patch* bagian kanan dan kiri, sehingga panjang *patch* yang diperoleh pada perhitungan dibagi menjadi 2, serta lebar pada *patch* yang diperoleh dari perhitungan akan diabaikan karena lebar *patch* mengikuti radius cincin dari *Vertical Interconnect Access* (VIA) agar perancangan lebih *matching*. Teknik pencatuan *aperture coupled* dihubungkan dengan VIA. Saluran transmisi diposisikan pada lapisan substrat paling bawah, kemudian terhubung dengan VIA yang akan meneruskan pada *patch* bagian kiri yang berada pada lapisan substrat paling atas, sedangkan *patch* bagian kanan terhubung dengan *ground* yang terletak di bawah lapisan substrat ketiga, yaitu di atas lapisan substrat paling bawah.

Perancangan antena mikrostrip melewati beberapa karakterisasi pada panjang *feedline* dan panjang patch. Tabel 3 merupakan dimensi akhir antena mikrostrip setelah melewati karakterisasi.

Tabel 3. Dimensi Akhir Antena Mikrostrip

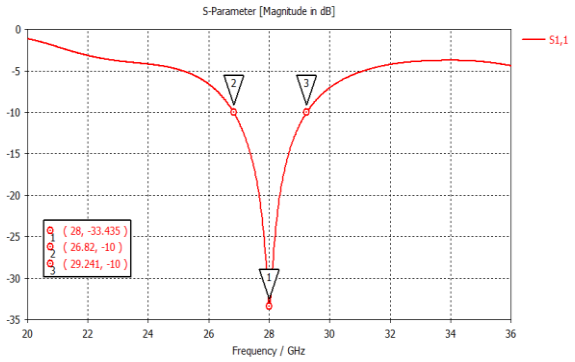
Parameter	Ukuran (mm)
a (*Radius VIA*)	0,65
a1 (*Radius VIA*)	0,15
lg (*Length of Ground*)	4,68
lf (*Length of Feed*)	5
lp (*Length of Patch*)	3,9
ls (*Length of Substrate*)	5,5
wg (*Width of Ground*)	5,4
wf (*Width of Feed*)	0,2
wp (*Width of Patch*)	0,2
ws (*Width of Substrate*)	5,4

Hasil Simulasi Antena Mikrostrip *Multi Layer*

Antena mikrostrip *multi layer* disimulasikan pada *software* CST *Microwave Studio*. Setelah antena disimulasikan dan melewati karakterisasi serta optimisasi akan menghasilkan beberapa nilai parameter. Seperti parameter *return loss*, VSWR, *bandwidth*, dan *gain* seperti berikut.

Return loss

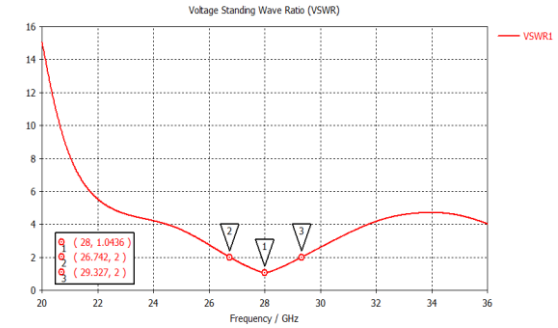
Nilai *return loss* yang didapatkan setelah simulasi dan karakterisasi adalah -33,43 dB dengan frekuensi kerja 28 GHz. Berdasarkan hasil simulasi, antena mikrostrip *multi layer* menghasilkan parameter *return loss* sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 7 merupakan grafik *return loss* setelah simulasi dilakukan.



Gambar 7. Grafik *Return Loss* Antena Mikrostrip *Multi Layer*

***Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR)**

Nilai VSWR yang didapatkan setelah simulasi dan karakterisasi adalah 1,04 dengan frekuensi kerja 28 GHz. Berdasarkan hasil simulasi, antena mikrostrip *multi layer* menghasilkan parameter VSWR sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 8 merupakan grafik VSWR setelah simulasi dilakukan.



Gambar 8. Grafik VSWR Antena Mikrostrip *Multi Layer*

Bandwidth

Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai VSWR ≤ 2 frekuensi 28 GHz adalah :

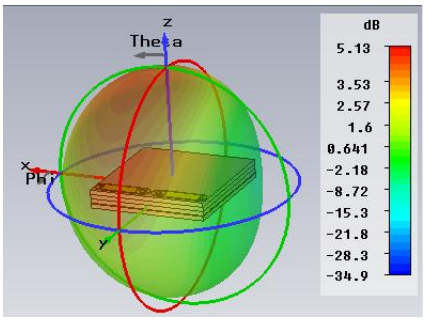
$$Bandwidth = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\ \%$$

$$Bandwidth = \frac{29{,}32 - 26{,}74}{28} \times 100\ \%$$

$$Bandwidth = 2{,}58\ (9{,}21\ \%)$$

Gain

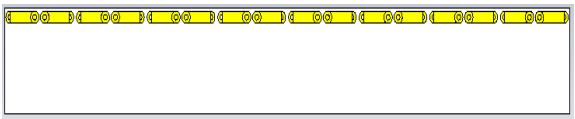
Nilai *gain* yang didapatkan dari hasil simulasi setelah proses optimasi adalah sebesar 5,13 dB pada frekuensi 28 GHz. Berdasarkan hasil simulasi, antena mikrostrip *multi layer* menghasilkan parameter *gain* sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 9 menunjukkan *gain* hasil simulasi antena mikrostrip *multi layer*.



Gambar 9. *Gain* Antena Mikrostrip *Multi Layer*

Perancangan Antena MIMO 8x8 *Multi Layer*

Antena MIMO 8x8 dirancang dengan menyusun secara horisontal 8 antena mikrostrip. Gambar 10 memperlihatkan antena MIMO 8x8 dan dimensi akhir antena MIMO 8x8 ditunjukkan oleh tabel 4.



Gambar 10. Desain Antena MIMO 8x8 *Multi Layer*

Tabel 4. Dimensi Akhir Antena MIMO 8x8

Parameter	Ukuran (mm)
a (*Radius VIA*)	0,65
a1 (*Radius VIA*)	0,15
lg (*Length of Ground*)	4,68
lf (*Length of Feed*)	5
lp (*Length of Patch*)	3,8
ls (*Length of Substrate*)	5,5
wg (*Width of Ground*)	5,4
wf (*Width of Feed*)	0,2
wp (*Width of Patch*)	0,2
ws (*Width of Substrate*)	43,6

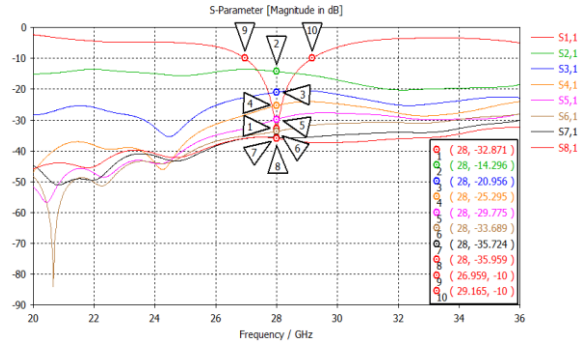
Hasil Simulasi Antena MIMO 8x8 *Multi Layer*

Antena MIMO 8x8 *multi layer* disimulasikan pada *software* CST *Microwave Studio*. Setelah antena disimulasikan dan melewati karakterisasi serta optimisasi akan menghasilkan beberapa nilai parameter. Seperti parameter *return loss*, VSWR, *bandwidth*, dan *gain* seperti berikut.

Return Loss

Nilai *return loss* yang didapatkan setelah simulasi dan karakterisasi adalah -32,87 dB dengan frekuensi kerja 28 GHz. Berdasarkan hasil simulasi, antena MIMO 8x8 *multi layer*

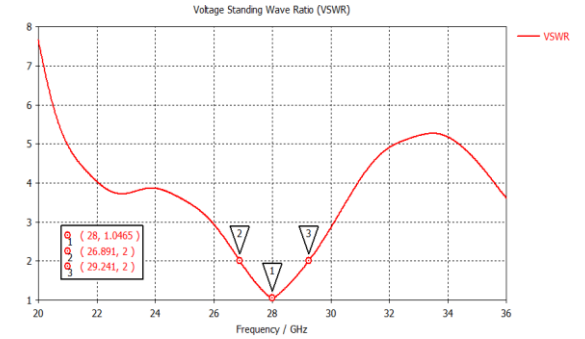
menghasilkan parameter *return loss* sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 11 merupakan grafik *return loss* setelah simulasi dilakukan.



Gambar 11. Grafik *Return Loss* Antena MIMO 8x8 *Multi Layer*

***Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR)**

Nilai VSWR yang didapatkan setelah simulasi dan karakterisasi adalah 1,04 dengan frekuensi kerja 28 GHz. Berdasarkan hasil simulasi, antena MIMO 8x8 *multi layer* menghasilkan parameter VSWR sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 8 merupakan grafik VSWR setelah simulasi dilakukan.



Gambar 12. Grafik VSWR Antena MIMO 8x8 *Multi Layer*

Bandwidth

Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai VSWR ≤ 2 frekuensi 28 GHz adalah :

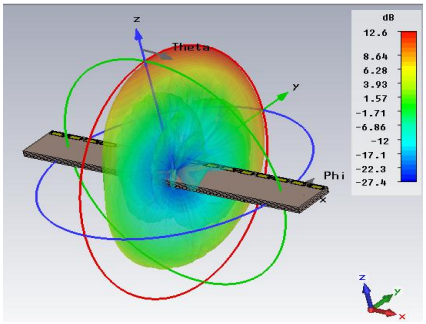
$$Bandwidth = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \times 100\ \%$$

$$Bandwidth = \frac{29{,}24 - 26{,}89}{28} \times 100\ \%$$

$$Bandwidth = 2{,}35\ (8{,}39\ \%)$$

Gain

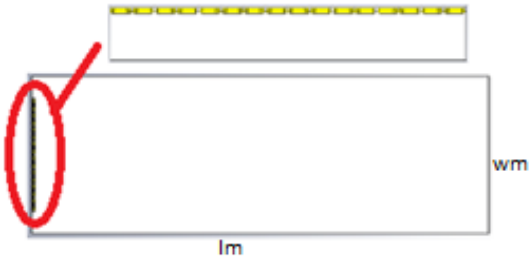
Nilai *gain* yang didapatkan dari hasil simulasi setelah proses optimasi adalah sebesar 12,6 dB pada frekuensi 28 GHz. Berdasarkan hasil simulasi, antena MIMO 8x8 *multi layer* menghasilkan parameter *gain* sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 13 menunjukkan *gain* hasil simulasi antena MIMO 8x8 *multi layer*.



Gambar 13. *Gain* Antena MIMO 8x8 *Multi Layer*

Perancangan Antena *Smartphone* MIMO 8x8 *Multi Layer*

Antena *smartphone* MIMO 8x8 dirancang dengan menambahkan substrat RT Duroid 5880 dengan ukuran 120x60 mm^2. Gambar 14 merupakan desain antena *smartphone* MIMO 8x8 dan dimensi akhir antena *smartphone* MIMO 8x8 ditunjukkan oleh tabel 5.



Gambar 14. Desain Antena *Smartphone* MIMO 8x8 *Multi Layer*

Tabel 5. Dimensi Akhir Antena MIMO 8x8

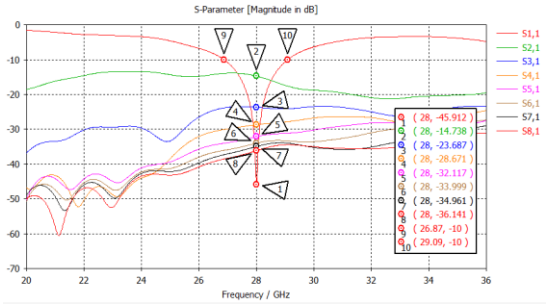
Parameter	Ukuran (mm)
a (*Radius VIA*)	0,65
a1 (*Radius VIA*)	0,15
lg (*Length of Ground*)	4,68
lf (*Length of Feed*)	5
lm (*Length of Mobile*	120
lp (*Length of Patch*)	3,8
ls (*Length of Substrate*)	5,5
wg (*Width of Ground*)	5,4
wf (*Width of Feed*)	0,2
wm (*Width of Mobile*)	60
wp (*Width of Patch*)	0,2
ws (*Width of Substrate*)	43,6

Hasil Simulasi Antena *Smartphone* MIMO 8x8 *Multi Layer*

Antena *smartphone* MIMO 8x8 *multi layer* disimulasikan pada *software* CST *Microwave Studio.* Setelah antena disimulasikan dan melewati karakterisasi serta optimisasi akan menghasilkan beberapa nilai parameter. Seperti parameter *return loss*, VSWR, *bandwidth*, dan *gain* seperti berikut.

Return Loss

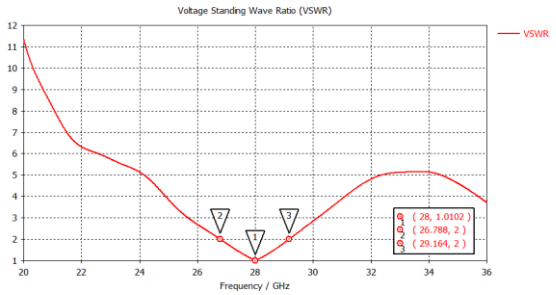
Nilai *return loss* yang didapatkan setelah simulasi dan karakterisasi adalah -45,91 dB dengan frekuensi kerja 28 GHz. Gambar 15 merupakan grafik *return loss* setelah simulasi dilakukan. Berdasarkan hasil simulasi, antena *smartphone* MIMO 8x8 *multi layer* menghasilkan parameter *return loss* sesuai dengan yang diinginkan.



Gambar 15. Grafik *Return Loss* Antena *Smartphone* MIMO 8x8 *Multi Layer*

***Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR)**

Nilai VSWR yang didapatkan setelah simulasi dan karakterisasi adalah 1,04 dengan frekuensi kerja 28 GHz. Gambar 16 merupakan grafik VSWR setelah simulasi dilakukan.



Gambar 16. Grafik VSWR Antena *Smartphone* MIMO 8x8 *Multi Layer*

Bandwidth

Adapun *bandwidth* yang dicapai pada nilai VSWR ≤ 2 frekuensi 28 GHz adalah :

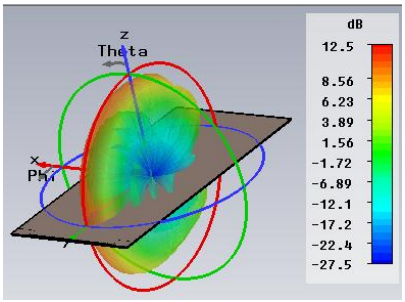
$$Bandwidth = \frac{f_2 - f_1}{f_c} \text{ x } 100\ \%$$

$$Bandwidth = \frac{29{,}16 - 26{,}78}{28} \text{ x } 100\ \%$$

$$Bandwidth = 2{,}38\ (8{,}5\ \%)$$

Gain

Gambar 17 menunjukkan *gain* hasil simulasi antena *smartphone* MIMO 8x8 *multi layer.*



Gambar 17. *Gain* Antena *Smartphone* MIMO 8x8 *Multi Layer*

Nilai *gain* yang didapatkan dari hasil simulasi antena *smartphone* MIMO *multi layer* 8x8 adalah sebesar 12,5 dB. Berdasarkan hasil simulasi, antena *smartphone* MIMO 8x8 *multi layer* menghasilkan parameter *gain* sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 17 menunjukkan *gain* hasil simulasi antena *smartphone* MIMO 8x8 *multi layer*.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari hasil perancangan dan proses simulasi antena mikrostrip *smartphone* MIMO *multi layer*, diantaranya sebagai berikut:

1. Antena mikrostrip *multi layer* menggunakan teknik pencatuan *aperture coupled* yang dirancang mampu bekerja pada frekuensi 5G yang ditargetkan yaitu pada 28 GHz dengan *return loss* sebesar -33,43 dB dan memiliki nilai *impedance bandwitdh* pada VSWR ≤ 1,9 sebesar 2,58 GHz (9,21 %) untuk frekuensi 28 GHz. Dengan demikian, antena telah memenuhi kebutuhan *bandwidth* yang ditargetkan yaitu pada *bandwidth* ≥ 500 MHz.
2. *Gain* antena mikrostrip *multi layer* menggunakan teknik pencatuan *aperture coupled* yang didapat berdasarkan hasil simulasi mencapai nilai maksimum sebesar 5,13 dB pada frekuensi 28 GHz.

Gain ini sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, yaitu *gain* $\leq$ 15 dB.

3. Antena MIMO 8x8 *multi layer* menggunakan teknik pencatuan *aperture coupled* mampu menghasilkan frekuensi kerja 5G yang ditargetkan yaitu pada 28 GHz dengan *return loss* sebesar -32,87 dB dan memiliki nilai *impedance bandwitdh* pada VSWR $\leq$ 1,9 sebesar 2,35 GHz (8,39 %) untuk frekuensi 28 GHz. Dengan demikian, antena telah memenuhi kebutuhan *bandwidth* yang ditargetkan yaitu pada *bandwidth* $\geq$ 500 MHz.
4. *Gain* antena MIMO 8x8 *multi layer* menggunakan teknik pencatuan *aperture coupled* yang didapat berdasarkan hasil simulasi mencapai nilai maksimum sebesar 12,6 dB pada frekuensi 28 GHz. *Gain* ini sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, yaitu *gain* $\leq$ 15 dB.
5. Antena *smartphone* MIMO 8x8 *multi layer* menggunakan teknik pencatuan *aperture coupled* yang dirancang mampu bekerja pada frekuensi 5G yang ditargetkan yaitu pada 28 GHz dengan *return loss* sebesar -45,91 dB dan memiliki nilai *impedance bandwitdh* pada VSWR $\leq$ 1,9 sebesar 2,38 GHz (8,5 %) untuk frekuensi 28 GHz. Dengan demikian, antena telah memenuhi kebutuhan *bandwidth* yang ditargetkan yaitu pada *bandwidth* $\geq$ 500 MHz.
6. *Gain* antena *smartphone* MIMO 8x8 *multi layer* menggunakan teknik pencatuan *aperture coupled* yang didapat berdasarkan hasil simulasi mencapai nilai maksimum sebesar 12,5 dB pada frekuensi 28 GHz. *Gain* ini sudah sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan, yaitu *gain* $\leq$ 15 dB.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M., et al. (2017). Compact 4-Port MIMO Antenna System for 5G Mobile Terminal. University of Electronic Science and Technology of China Chengdu, IEEE access.

Deriko, F. (2015). Rancang Bangun Antena Mikrostrip Array Patch Segiempat Dual-Band (2,3 GHz dan 3,3 GHz) dengan Pencatuan Proximity Coupled. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

Elda, K., Sari, L. (2014). Analisis Kinerja *Sphere Decoding* Pada Sistem *Multiple Input Multiple Output.* Jurnal Elektro, Fakultas Teknik Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya.

Ojaroudiparchin, N., Shen, M., Pedersen, G. F. (2015). A 28 GHz FR-4 Compatible Phased Array Antenna for 5G Mobile Phone Applications. Aalborg University.

Rahayu, Y., Mustofa, I. R. (2017). Design of 2×2 MIMO Microstrip Antenna Rectangular Patch Array for 5G Wireless Communication Network. PIERS.

Rahayu, Y., et al. (2018). A New 2x4 Array Design of Dual-Band Millimeter-Wave Antenna for 5G Applications. IEEE Access.

Sidauruk, H. F., Rambe, A. H. (2015). Analisa Penentuan Ukuran Slot Pada Karateristik Antena Mikrostrip Patch Segiempat Dengan Pencatu Aperture Coupled. Singuda Ensikom, 10.

Sinurat, M., Rambe, A. H. (2015). Perbandingan Kinerja Antena Mikrostrip Susun Dua Elemen Patch Segiempat menggunakan Teknik DGS (Defected Ground Structure) dan tanpa DGS Berbentuk Segitiga Samasisi. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.

Wang, Y., Wang, H., Yang, G. (2016). Design of Dipole Beam-steering Antenna Array for 5G Handset Applications. PIERS, 2450-2453.

Wijanto, E. (2017). Analysis Of Technology Readiness For The Implementation Of Fifth Generation (5G) Telecommunications Technology. Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer, 06.

Yuniati, M. (2015). Design dan Realisasi Antena Mikrostrip Rektangular 2 Array untuk Aplikasi WiFi. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Sekolah Tinggi Teknologi Telematika Telkom.