

PERANCANGAN 1×6 LINEAR ARRAY ANTENA DIPOLE PADA FREKUENSI 38 GHz UNTUK 5G SMARTPHONE

Hikmah Adi Putra^[1], Yusnita Rahayu^[1], Adit Kurniawan^[2]

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Riau^[1]

Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru, 28293^[1]

Sekolah Tinggi Elektro Informatika, Institut Teknologi Bandung^[2]

Gedung Achmad Bakrie Lt. 2, Jl. Ganesha No. 10, Bandung, 40123^[2]

Email: hikmah.adiputra@student.unri.ac.id

ABSTRACT

The 5G technology is the next phase of wireless network communication development. Adaptation of Multiple Input Multiple Output (MIMO) techniques into 5G technology is used to produce high data rate communication, low power consumption and bigger network capacity compared to 4G technology. Antenna design that can work on millimeter waves with high gain, better efficiency and compact size antenna is needed for 5G mobile devices. This paper proposed the design of MIMO antenna for 5G smartphone application with gain > 10 dBi and bandwidth > 500 MHz. The proposed antenna is designed by RT Duroid 5880 substrate with the overall size of 44,8x4,4x0,78 mm³, consisting of 1x6 element linear array antenna. The proposed antenna yields bandwidth of 5,68 GHz at frequencies range 36.05 GHz to 41.74 GHz and 11.4 dBi of gain at 38 GHz frequency.

Keyword: Antenna Smartphone, 5G, Beam steerable, MIMO.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi yang terus dilakukan dalam satu dekade terakhir. Kemajuan pada pengembangan teknologi komunikasi khususnya untuk perangkat nirkabel menyebabkan peningkatan jumlah pengguna yang sangat signifikan, saat ini telah mencapai miliaran perangkat di seluruh dunia. Penggunaan perangkat nirkabel yang semakin beragam seperti untuk pengiriman data teks, audio maupun video ataupun digunakan untuk bermain *game*, hal ini memaksa untuk mengembangkan teknologi komunikasi yang lebih handal dibandingkan yang digunakan saat ini (teknologi 4G) (Wijanto, 2017).

Teknologi jaringan komunikasi 5G merupakan pengembangan dari teknologi 4G dengan mengadaptasi penggunaan *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) dan menggunakan spektrum gelombang milimeter (>6 GHz) untuk menghasilkan *bandwidth* yang lebar, kecepatan transfer data hingga 10 Gbps, *latency* yang rendah dan kapasitas jaringan yang lebih besar dibandingkan teknologi 4G (NTT Docomo, 2014).

Untuk memenuhi persyaratan jaringan 5G, diperlukan model antenna khusus, seperti penelitian perancangan antenna MIMO *mobile phone* yang dilakukan oleh N. O. Parchin dalam penelitiannya yang berjudul "*Small-Size Tapered Slot Antenna (TSA) Design for Use in 5G Phased Array*

Applications", dengan hasil *bandwidth* sebesar 2 GHz pada frekuensi 22 GHz dengan *gain* sebesar 12.7 dB. Selanjutnya penelitian juga dilakukan oleh S. Xuat Ta yang berjudul "*Broadband Printed-Dipole Antenna and Its Arrays for 5G Application*", pada penelitian ini dilakukan perancangan antenna *linear array dipole* untuk jaringan komunikasi nirkabel 5G dengan hasil *gain* 12.5 dB pada frekuensi 22 GHz.

Pada penelitian ini akan dirancang antenna mikrostrip *dipole* yang digunakan untuk aplikasi *smartphone* 5G, desain antenna akan menggunakan spektrum 38 GHz dengan menggunakan teknik pencatutan *microstrip line* untuk menghasilkan *gain* antenna > 10 dBi.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang

Antena mikrostrip merupakan jenis antenna yang memiliki bentuk *board* yang terdiri dari 3 lapisan, yaitu *patch* sebagai elemen peradiasi gelombang elektromagnetik, substrat yang merupakan bahan dielektrik dan *ground*. Bentuk dari antenna mikrostrip bermacam-macam disesuaikan dengan penggunaan antenna, bentuk *patch* persegi merupakan model yang jamak digunakan dikarenakan proses perancangannya yang mudah dibandingkan dengan model *patch* lainnya. Berikut adalah persamaan yang digunakan

untuk menentukan dimensi antenna mikrostrip *patch* persegi panjang. Menentukan lebar *patch* (w) (Sidauruk, 2015):

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

Keterangan

c = Kecepatan cahaya (3×10^8 m/s)

f_r = Frekuensi kerja antenna

ϵ_r = 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):

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

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

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right)}} \right) \quad (8)$$

Dengan demikian panjang *patch* (l) diberikan oleh (Gusma, 2014):

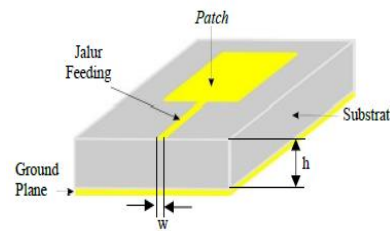
$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (9)$$

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

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

2.2 Teknik Pencatuan *Microstrip Line*

Teknik pencatuan antenna mikrostrip akan mempengaruhi impedansi input dan karakteristik antenna. Teknik pencatuan pada antenna mikrostrip merupakan salah satu hal penting yang akan mempengaruhi proses perancangan antenna. Teknik pencatuan *microstrip line* tidak memerlukan lapisan khusus dalam pembuatan saluran pencatu antenna, pencatuan *microstrip line* dapat langsung dibuat pada lapisan yang sama dengan *patch* antenna (Wibowo, 2017). Pada gambar 1 merupakan bentuk dari teknik pencatuan *microstrip line*



Gambar 1. Teknik pencatuan *microstrip line* (Wibowo, 2017)

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung panjang dan lebar saluran mikrostrip diberikan oleh persamaan di bawah ini (Balanis, 2016):

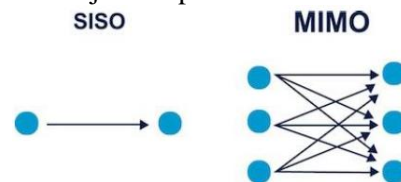
$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\frac{\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r}}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (11)$$

Dengan ϵ_r adalah konstanta dielektrik relatif dan:

$$B = \frac{60\epsilon_r^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (12)$$

2.3 Massive MIMO

Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan sistem yang terdiri atas sejumlah antenna 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 antenna *mobile station*. Massive MIMO dapat meningkatkan kapasitas hingga 15 kali, serta meningkatkan efisiensi energi radiasi hingga 100 kali. Peningkatan efisiensi energi didukung dengan penggunaan antenna dalam jumlah besar (Wijanto, 2017). Teknik MIMO dengan beberapa antenna pemancar ditunjukkan pada Gambar 2.



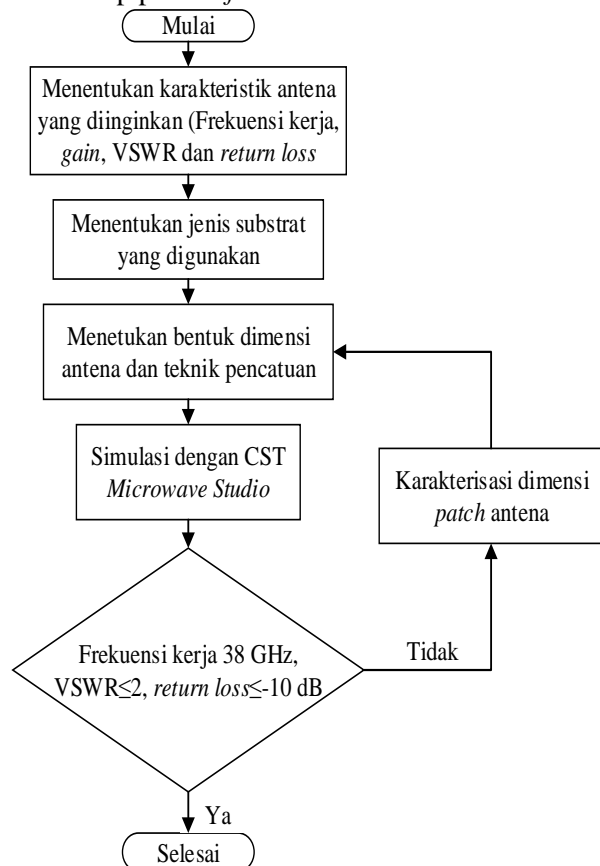
Gambar 2. Konfigurasi MIMO (Wijanto, 2017)

III. BAHAN DAN METODE

3.1 Diagram Alir Perancangan Antena

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut. Gambar 3 menggambarkan diagram alir dalam perancangan antenna hingga

proses simulasi dan karakterisasi antenna. Pada diagram alir terdapat proses-proses langkah yang harus dilakukan dalam merancang antenna mikrostrip. Perancangan dimulai dengan menentukan jenis substrat yang digunakan serta frekuensi kerja yang ingin dicapai. Kemudian melakukan perancangan dan simulasi antenna mikrostrip pada *software* CST Microwave Studio.



Gambar 3. Diagram alir perancangan

3.2 Menentukan Karakteristik Antena

Adapun tahapan awal dari perancangan antenna adalah menentukan karakteristik antenna yang diharapkan, yaitu frekuensi kerja antenna, *impedance bandwidth*, *return loss*, VSWR, dan *gain*. Adapun parameter antenna yang diinginkan seperti terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter antenna yang diinginkan

Parameter	Karakterisasi Antena
Frekuensi Kerja	38 GHz
Return Loss	< -10 Db
Bandwidth	> 500 MHz
VSWR	≤ 2
Gain	≥ 10 dBi

3.3 Menentukan Jenis Substrat

Pada penelitian ini, perancangan antenna mikrostrip *dipole* menggunakan substrat jenis RT Duroid 5880 dengan ketebalan substrat sebesar 0.787 mm. berikut adalah spesifikasi yang ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Substrat yang Digunakan

Jenis Substrat	RT Duroid 5880
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	2,2
Dielectric Loss Tangent ($\tan \delta$)	0,0009
Ketebalan Substrat (h)	0,787 mm

3.4 Perancangan Dimensi Patch

Pada perancangan awal dilakukan perhitungan dimensi antenna 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):

$$W = \frac{(3 \times 10^8)}{2 \times 38 \times 10^9 \sqrt{\frac{2.2 + 1}{2}}} = 3.12 \text{ mm}$$

Menentukan panjang *patch* (l):

$$\epsilon_{reff} = \frac{2.2 + 1}{2} + \frac{2.2 - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{0.787}{3.12} \right]^{-\frac{1}{2}}$$

$$\epsilon_{reff} = 2.8$$

$$\Delta l = 0.412 \times 0.787 \frac{(2.8 + 0.3) \left(\frac{3.12}{0.787} + 0.264 \right)}{(2.8 - 0.258) \left(\frac{3.12}{0.787} + 0.8 \right)}$$

$$\Delta l = 0.35 \text{ mm}$$

$$L_{eff} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 38 \times 10^9 \sqrt{2.8}} = 3.36 \text{ mm}$$

$$L = 3.36 - (2 \times 0.35) = 2.66 \text{ mm}$$

Dari perhitungan yang dilakukan menggunakan spesifikasi substrat pada tabel 1, diperoleh panjang *patch* antenna sebesar 2.66 mm dan lebar *patch* sebesar 3.12 mm.

3.5 Perancangan Saluran Pencatu 50 Ohm

Pada saat perancangan antenna mikrostrip MIMO elemen tunggal pada CST Microwave Studio perlu adanya impedansi masukan (Z_{in}) 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 50Ω dapat dicari dengan menggunakan persamaan (11) hingga (12).

$$B = \frac{60 \times \pi^2}{50\sqrt{2.2}} = 6.98$$

$$W_p = \frac{2 \times 0.787}{\pi} \times \left\{ \frac{6.98 - 1 - \ln(2 \times 6.98) - 1}{2.2} + \left[\frac{2.2}{2 \times 2.2} \times \left[\ln(7.98 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{2.2} \right] \right] \right\}$$

$W_p = 2.2 \text{ mm}$

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 50Ω dengan menggunakan nilai parameter substrat yang digunakan dalam perancangan ini, maka didapatkan lebar saluran pencatu yang digunakan adalah 2.2 mm. Panjang saluran pencatu yang optimal digunakan didapatkan dari iterasi yang dilakukan dengan nilai awal 3 mm.

3.6 Simulasi Antena Mikrostrip

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.

3.7 Karakterisasi Antena Mikrostrip

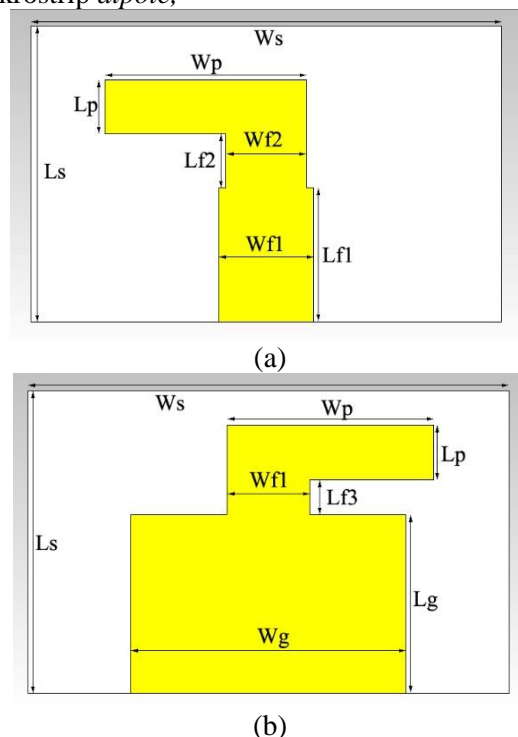
Karakterisasi antena merupakan perubahan ukuran yang dilakukan pada beberapa parameter antena untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan atau hasil yang optimal. Karakterisasi yang dilakukan berupa perubahan dimensi saluran pencatu dan dimensi *patch*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan Antena Mikrostrip

Perancangan antena mikrostrip *dipole* dengan model *patch* persegi panjang serta bentuk *ground plane* yang sama dengan *patch* antena, Teknik pencatuan yang digunakan menggunakan teknik pencatuan *microstrip line*, penggunaan pencatuan ini untuk mempermudah dalam proses perancangan antena mikrostrip. Perancangan bentuk *patch* dan *ground* dengan ukuran sama tetapi arah yang berbeda digunakan untuk menghasilkan pola radiasi yang mengarah ke

bagian atas antena. Pada gambar merupakan perancangan elemen tunggal untuk antena mikrostrip *dipole*,



Gambar 4. Desain antena mikrostrip

Tabel 3. Dimensi akhir antena mikrostrip

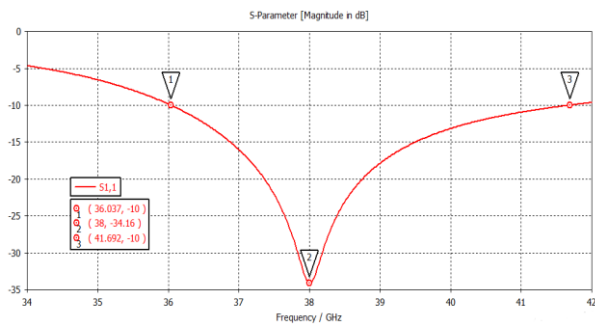
Parameter	Ukuran (mm)
Tebal Substrat (h)	0,787
Lebar Pencatu 1 (Wf1)	1,4
Lebar Pencatu 2 (Wf2)	1,2
Panjang Pencatu 1 (Lf1)	2
Panjang Pencatu 2 (Lf2)	0,8
Lebar Patch (Wp)	3
Panjang Patch (Lp)	0,8
Panjang Ground (Lg)	2,6
Lebar Ground (Wg)	4
Panjang Substrat (Ls)	4,4
Lebar Substrat (Ws)	5,6
Panjang Pencatu 3 (Lf3)	0,5
Jarak Antar Elemen	4

4.2 Hasil Simulasi Elemen Tunggal

Desain antena mikrostrip *dipole* disimulasikan menggunakan *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.

4.2.1 Return loss

Nilai *return loss* yang didapatkan setelah simulasi dan karakterisasi adalah -36.07 dB dengan frekuensi kerja 37.98 GHz. Berdasarkan hasil simulasi, antenna mikrostrip menghasilkan parameter *return loss* sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 5 merupakan grafik *return loss* setelah simulasi dilakukan.



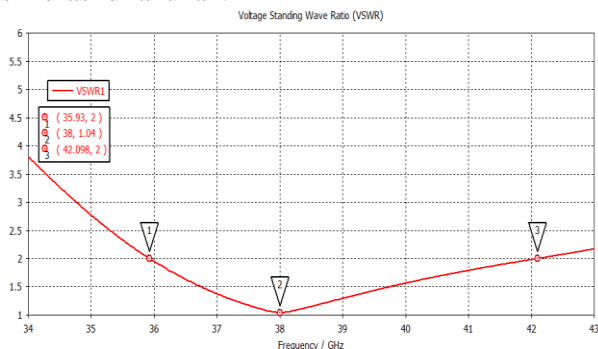
Gambar 5. Grafik *return loss* antenna mikrostrip

4.2.2 Bandwidth

Nilai *bandwidth* yang didapatkan dari hasil perancangan antenna mikrostrip *dipole* berdasarkan hasil *return loss* pada gambar 5 pada frekuensi kerja 38 GHz. Berdasarkan frekuensi kerja antenna yang memenuhi ketentuan dengan nilai *return loss* < -10 dB, maka rentang frekuensi antenna pada rentang 36.03 GHz sampai 41,69 GHz. Nilai *bandwidth* pada perancangan antenna mikrostrip *dipole* adalah 5.65 GHz.

4.2.3 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

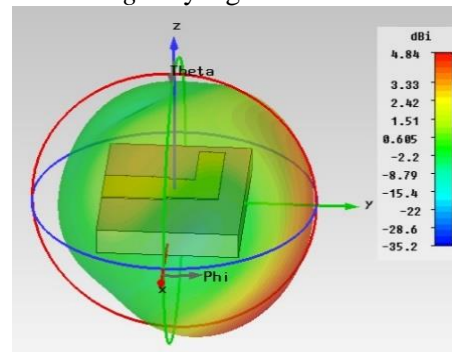
Nilai VSWR yang didapatkan setelah simulasi dan karakterisasi adalah 1,04 dengan frekuensi kerja 38 GHz. Berdasarkan hasil simulasi, antenna mikrostrip menghasilkan parameter VSWR sesuai dengan yang diinginkan. Gambar 6 merupakan grafik VSWR setelah simulasi dilakukan.



Gambar 6. Grafik VSWR antenna mikrostrip

4.2.4 Gain

Nilai *gain* antenna yang dihasilkan pada simulasi perancangan antenna mikrostrip *dipole* sebesar 4,84 dBi pada frekuensi kerja 38 GHz. Berdasarkan hasil simulasi pola radiasi antenna mikrostrip *dipole* dengan puncak radiasi antenna berada pada bagian atas antenna, pada gambar 7 merupakan bentuk pola radiasi antenna mikrostrip *dipole* dan nilai *gain* yang dihasilkan.

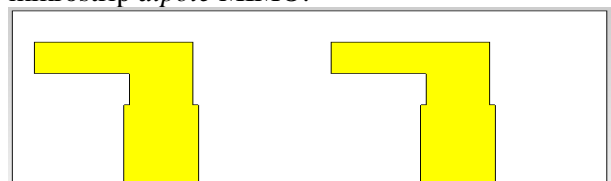


Gambar 7. Pola radiasi dan *gain* antenna mikrostrip *dipole*

4.3 Perancangan Antena Mikrostrip MIMO

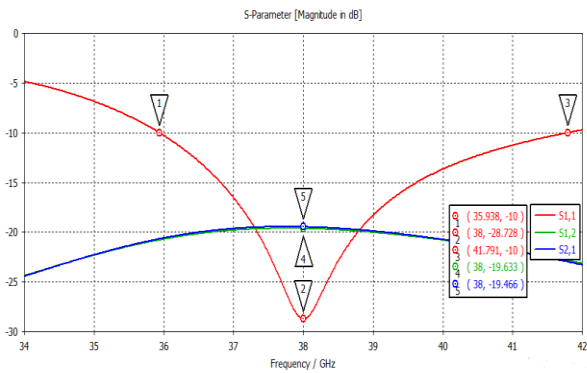
4.3.1 MIMO 2 Elemen

Perancangan antenna mikrostrip *dipole* MIMO akan menggabungkan beberapa elemen peradiasi antenna. Penggunaan antenna MIMO pada perancangan ini untuk meningkatkan nilai *gain* dihasilkan antenna sehingga dapat memenuhi spesifikasi untuk diterapkan pada *smartphone* 5G. Berikut pada 2 adalah desain perancangan atena mikrostrip *dipole* MIMO:



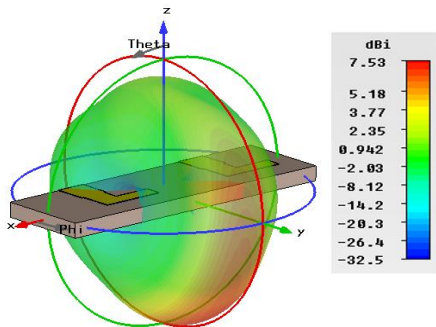
Gambar 8. Antena mikrostrip *dipole* MIMO 2 elemen

Pada gambar 8 dimensi antenna yang digunakan adalah $14 \times 4.4 \text{ mm}^2$, untuk menentukan jarak antar elemen antenna (d) adalah 4 mm, nilai d dihasilkan dari perhitungan ($\lambda/2$) pada frekuensi 38 GHz. Dari hasil perncangan menggunakan 2 elemen maka didaparkan hasil *return loss* pada gambar 9.



Gambar 9. *return loss* antenna MIMO 2 elemen

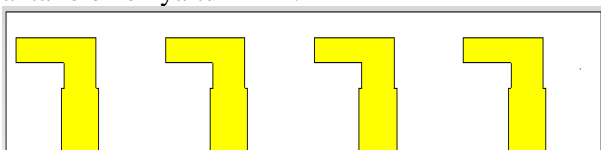
Hasil *return loss* pada gambar 9 menunjukkan hasil S1,1 sebesar -28,73 dB pada frekuensi 38 GHz dan S2,1 sebesar -19,63 dB. *Bandwidth* yang dihasilkan menggunakan 2 elemen sebesar 5.85 GHz pada rentang frekuensi 35.95 GHz – 41.79 GHz. Sedangkan nilai *gain* yang dihasilkan menggunakan 2 elemen peradiasi antenna adalah sebesar 7.53 dBi yang dapat dilihat pada gambar 10.



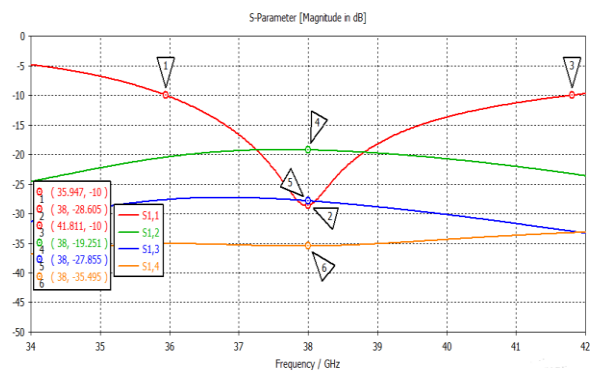
Gambar 10. *Gain* dan pola radiasi antenna MIMO 2 elemen

4.3.2 MIMO 4 Elemen

Dari hasil penggabungan 2 elemen peradiasi antenna belum memenuhi nilai *gain* diharapkan, maka dilakukan penambahan kembali elemen yang digunakan untuk antenna MIMO menjadi 4 elemen yang dapat dilihat pada gambar 11. Pemanambahan elemen antenna berakibat terjadinya penambahan ukuran antenna menjadi $28 \times 4.4 \text{ mm}^2$ dengan jarak antar elemen yaitu 4 mm.

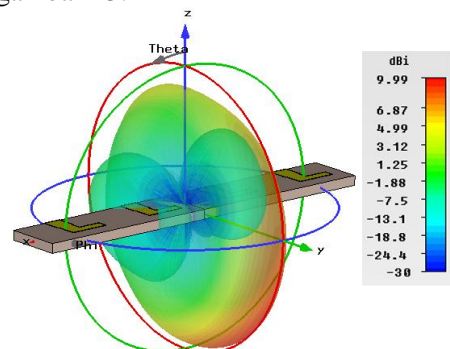


Gambar 11. Antena mikrostrip *dipole* MIMO 4 elemen



Gambar 12. *return loss* antenna MIMO 4 elemen

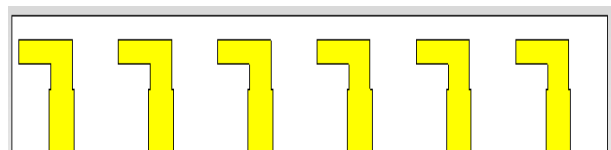
Hasil *return loss* dari simulasi antenna mikrostrip *dipole* MIMO 4 elemen, pada gambar 12 menunjukkan hasil S1,1 sebesar -28,60 dB pada frekuensi 38 GHz dan S2,1 sebesar -19,51 dB. *Bandwidth* yang dihasilkan menggunakan 4 elemen sebesar 5.86 GHz pada rentang frekuensi 35.95 GHz – 41.81 GHz. Sedangkan nilai *gain* yang dihasilkan menggunakan 2 elemen peradiasi antenna adalah sebesar 9.99 dBi yang dapat dilihat pada gambar 13.



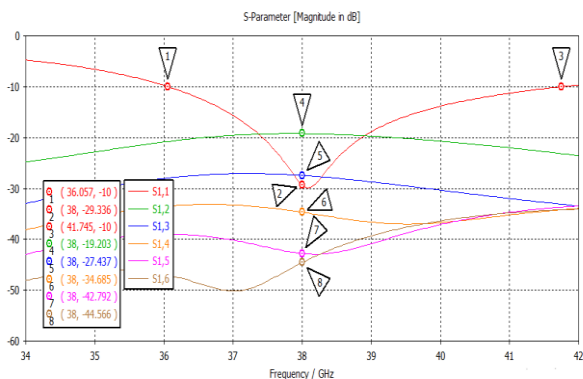
Gambar 13. *Gain* dan pola radiasi antenna MIMO 4 elemen

4.3.3 MIMO 6 Elemen

Berdasarkan hasil simulasi antenna mikrostrip *dipole* MIMO menggunakan 2 dan 4 elemen masih belum mencapai nilai *gain* > 10 dBi, maka dilakukan kembali penambahan elemen menjadi 6 buah. Pada gambar 14 merupakan bentuk antenna *dipole* MIMO menggunakan 6 elemen dengan dimensi antenna $42 \times 4.4 \text{ mm}^2$ dengan jarak antar elemen sebesar 4 mm.

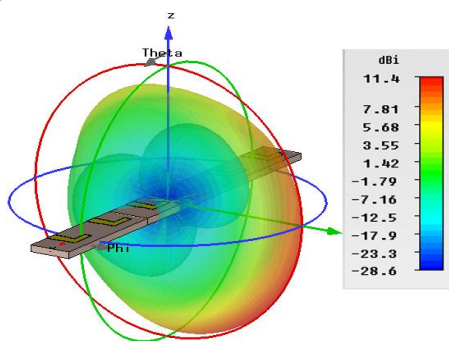


Gambar 14. Antena mikrostrip *dipole* MIMO 6 elemen



Gambar 15. *return loss* antenna MIMO 6 elemen

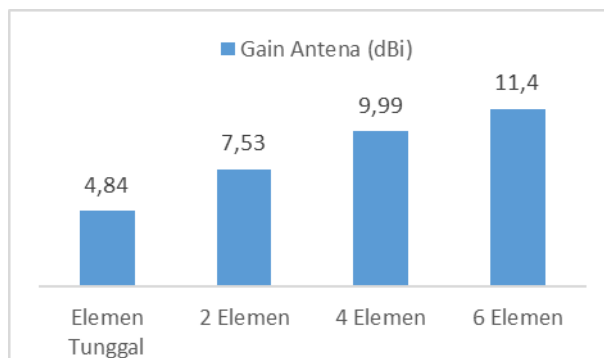
Hasil *return loss* dari simulasi antenna mikrostrip *dipole* MIMO 6 elemen, pada gambar 15 menunjukkan hasil S1,1 sebesar -29.33 dB pada frekuensi 38 GHz dan S2,1 sebesar -19,2 dB. *Bandwidth* yang dihasilkan menggunakan 6 elemen sebesar 5.68 GHz pada rentang frekuensi 36.05 GHz – 41.74 GHz. Sedangkan nilai *gain* yang dihasilkan menggunakan 2 elemen peradiasi antenna adalah sebesar 11.4 dBi yang dapat dilihat pada gambar 16.



Gambar 16. *Gain* dan pola radiasi antenna MIMO 6 elemen

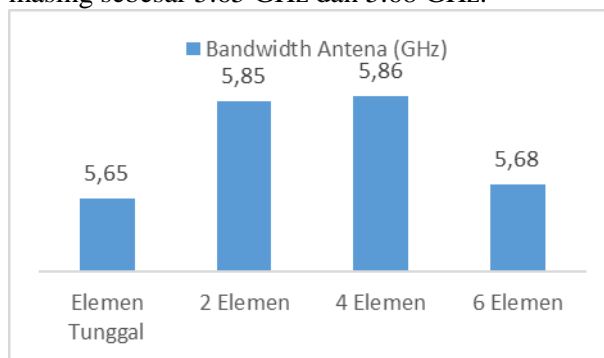
4.3.4 Perbandingan *Gain* dan *Bandwidth* Antena

Dari hasil perancangan antenna mikrostrip MIMO *dipole* menggunakan beberapa konfigurasi elemen peradiasi maka didapatkan hasil *gain* paling tinggi sebesar 11.4 dBi menggunakan 6 elemen antenna, nilai *gain* ini telah memenuhi tujuan perancangan antenna yang dilakukan. Sedangkan nilai *gain* terendah pada elemen tunggal sebesar 4.83 dBi. Pada gambar 17 yang merupakan perbandingan hasil *gain* setiap perancangan antenna mikrostrip *dipole* MIMO didapatkan bahwa *gain* hasil perancangan antenna akan semakin besar seiring dengan penambahan elemen antenna yang digunakan.



Gambar 16. Perbandingan *gain* antenna MIMO

Pada gambar 17 merupakan hasil *bandwidth* dari perancangan antenna MIMO, dapat dilihat bahwa nilai *bandwidth* yang dihasilkan menggunakan 2 dan 4 elemen antenna dengan nilai sebesar >5,8 GHz, sedangkan konfigurasi 6 elemen dan elemen tunggal antenna hanya menghasilkan masing-masing *bandwidth* masing-masing sebesar 5.65 GHz dan 5.68 GHz.



Gambar 17. Perbandingan *bandwidth* antenna MIMO

V. KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari hasil perancangan dan antenna mikrostrip *dipole*, diantaranya sebagai berikut:

1. Perancangan antenna mikrostrip menggunakan teknik pencatutan mikrostrip *line* yang memiliki frekuensi kerja 38 GHz dengan *return loss* sebesar -36,07 dB dan nilai $VSWR \leq 1,04$. Dari hasil perancangan *single* elemen antenna mikrostrip *dipole* lebar *bandwidth* sebesar 5.85 GHz, dengan nilai *gain* sebesar 4,84 dBi.
2. Perancangan antenna mikrostrip *dipole* MIMO menggunakan teknik pencatutan mikrostrip *line* dengan konfigurasi 6 elemen yang memiliki frekuensi kerja 38 GHz dengan

return loss sebesar -29.3 dB. Dari hasil perancangan antenna mikrostrip *dipole* MIMO memiliki lebar *bandwidth* sebesar 5.68 GHz, dengan nilai *gain* sebesar 12,4 dBi.

3. Hasil perancangan antenna mikrostrip MIMO mengalami peningkatan dari segi *bandwidth* dan *gain* dibandingkan dengan *single* elemen antenna.

Readiness For The Implementation Of Fifth Generation (5G) Telecommunications Technology. Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer, 06. No. 23: Jakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Balanis, C. A. 2016. Antenna Theory Analysis And Design 4th Edition. Microstrip and Mobile Communications Antennas. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Gusma, R. A. 2014. Simulasi Antena Mikrostrip *Patch* Persegi Panjang *Plannar Array* 6 Elemen dengan Pencatuan *Aperture Coupled* untuk Aplikasi CPE WiMax Pada Frekuensi 3,3-3,4 GHz. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Riau: Pekanbaru.
- NTT Docomo. 2014. 5G Radio Access: White Paper Requirements, Concept and Technologies.
- Sidauruk H. F, Rambe A. H. 2014. Analisa Penentuan Ukuran *Slot* Pada Karakteristik Antena Mikrostrip *Patch* Segiempat Dengan Pencatu *Aperture Coupled*. Konsentrasi Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Vol. 10 No. 27: Medan.
- Parchin, N. O., Shen, M., Pedersen, G. F. 2017. Small-Size Tapered Slot Antenna (TSA) Design for Use in 5G Phased Array Applications. Departement of Electronic System, Faculty of Engineering and Science, Aalborg University, Denmark.
- Stanley, M.. dkk, 2018. A Novel mm-Wave Phased Array for 180⁰ Coverage for 5G Smartphone Applications. 12th European Conference on Antennas and Propagation.
- Wibowo R. P. 2017. Perancangan Dan Pembuatan Antena *Array* Dengan *Beamwidth* $\leq 5^\circ$ Pada Frekuensi S-Band Dengan Menggunakan Elemen *Microstrip Bow-Tie*. Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Wijanto, E. (2017). Analysis Of Technology