

PERANCANGAN ANTENA METAMATERIAL *SUPERSTRATE* UNTUK MENINGKATKAN *GAIN* DAN *BANDWIDTH* PADA MIMO *MICROSTRIP PATCH ARRAY* UNTUK JARINGAN 5G

Johanes Firdaus¹⁾, Yusnita Rahayu²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Jl. H. R. Soebrantas Km. 12,5 Simpang Baru, Panam
Pekanbaru 28293

Email: johanes.m.firdaus@student.unri.ac.id; yusnita.rahayu@lecturer.unri.ac.id

ABSTRACT

In recent years, research on microstrip antennas is increasingly being developed for the needs of innovations, performance, and better efficiency improvements in upcoming 5G wireless communication. In this research, a microstrip antenna is designed by using metamaterial superstrate which operates at 38 GHz communication to increase gain and bandwidth in antenna. The design have been simulated using CST Microwave Studio. The dimension used in the metamaterial superstrate layer are 4.8×10 mm. Simulation results show that the antenna design using the metamaterial superstrate can increase bandwidth up to 1.05 GHz and gain increase up to 1.8 dBi. In this design, it was later design a MIMO 4×4 with patch distance of 1.98 mm and increase gain up to 5.2 dBi. The use of metamaterial superstrate techniques has the potential to be used in various communication applications.

Keyword : Antenna, Gain, Metamaterial, Microstrip, Superstrate.

1. PENDAHULUAN

Telekomunikasi merupakan salah satu bidang yang memiliki peranan penting pada abad ini, dan salah satu bagian utama dalam sistem telekomunikasi *nirkabel* adalah antenna. Berbagai antenna telah banyak dikembangkan untuk beragam aplikasi, termasuk antenna mikrostrip. Antena mikrostrip adalah suatu antena konduktor metal yang menempel diatas *ground plane* yang diantaranya terdapat bahan dielektrik, komponen utama pada antena mikrostrip terdiri dari *ground plane*, substrat, dan *patch* peradiasi. Antena mikrostrip banyak digunakan sebagai radiator gelombang mikro pada sejumlah sistem telekomunikasi modern saat ini, hal ini disebabkan ukuran antena mikrostrip yang kecil, ringan dan mudah untuk diintegrasikan (Balanis, 2016).

Salah satu elemen material yang menjadi perhatian dalam penelitian ini adalah *metamaterial superstrate*. Hal ini karena teknik *metamaterial superstrate* dapat meningkatkan *gain* dan *bandwidth* pada rancangan antena mikrostrip. Metamaterial merupakan bahan buatan yang dirancang (artifisial) untuk memiliki karakteristik permeabilitas dan permitivitas negatif yang digunakan untuk mengarakterisasi properti listrik dan magnetik dari material yang berinteraksi

dengan medan-medan elektromagnetik (Hidayatul, 2018).

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang membuat suatu desain antena menggunakan teknik *metamaterial superstrate*, salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh C.M. Saleh dan kawan-kawan pada tahun 2014. Penelitian yang berjudul "*A Zero-Index Metamaterial Single Layer Superstrate for Patch Antenna Gain Enhancement*" pada perancangan yang dilakukan, didesain sebuah antena menggunakan teknik *metamaterial superstrate* yang tersuspensi diatas *patch* antena yang beroperasi pada frekuensi 4.3 GHz. Hasil simulasi menunjukkan peningkatan *gain* sampai dengan 5.1 dBi, dari 7.2 dBi menjadi 12.3 dBi.

Kemudian penelitian yang berjudul "*A Novel High Directive EBG Structure and Metamaterial Superstrate for Microstrip Antenna*" yang dilakukan oleh R.A. Sadeghzadeh dan kawan-kawan pada tahun 2013 didesain suatu antena menggunakan *metamaterial superstrate electromagnetic band-gap* (EBG) yang dipasang diatas *patch* antena yang kemudian memusatkan energi radiasi ke *superstrate*. Dari hasil simulasi menunjukkan kenaikan *gain* dari 11 dBi menjadi 16 dBi.

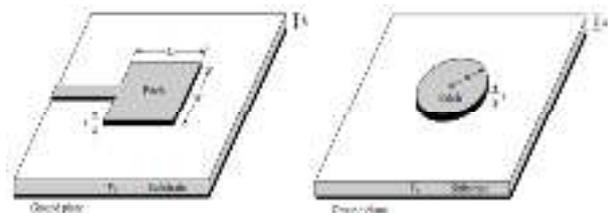
Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Chirag Arora dan kawan-kawan pada tahun 2017, penelitian yang berjudul “SRR Superstrate for Gain and Bandwidth Enhancement of Microstrip Patch Antenna Array” didesain suatu antena mikrostrip *array* yang beroperasi pada frekuensi 5.8 GHz Wi-MAX, setelah dilakukan simulasi didapatkan hasil *gain* 4.3 dBi dan *bandwidth* sebesar 424 MHz, dengan desain *array* yang sama kemudian di tambahkan *lapisan metamaterial superstrate* di atas *patch* didapatkan hasil yang lebih baik yaitu *gain* sebesar 8 dBi dan *bandwidth* 680 MHz.

Berdasarkan penelitian terdahulu, pada penelitian ini akan dilakukan perancangan antena mikrostrip dengan teknik *metamaterial superstrate*. Sebagai perbandingan, penelitian ini akan dilengkapi antena dengan *gain* dan *bandwidth* yang lebih baik.

II LANDASAN TEORI

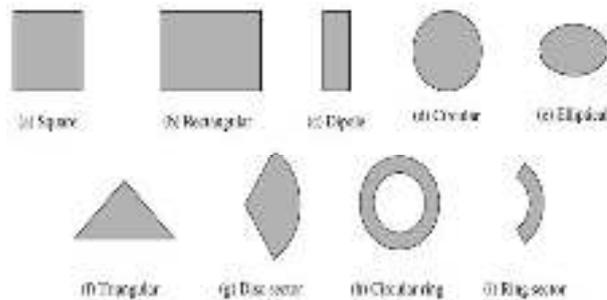
2.1 Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip banyak digunakan dan sangat populer pada tahun 1970-an terutama digunakan untuk aplikasi luar angkasa. Untuk saat ini banyak digunakan untuk aplikasi pemerintah atau komersial. Antena mikrostrip terdiri dari *patch* dan *ground* logam yang tersuspensi pada substrat. *Patch* logam terdiri dari beberapa konfigurasi yang berbeda, *patch* persegi panjang dan *patch* berbentuk lingkaran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 merupakan konfigurasi yang paling banyak digunakan karena kemudahan analisis dan fabrikasi (Balanis, 2016).



Gambar 1. Struktur antena mikrostrip *rectangular* dan *circular* (Balanis, 2016)

Elemen peradiasi (*patch*) merupakan sebuah lempengan bahan konduktor tipis yang akan beresonansi sesuai dengan frekuensi kerjanya, berfungsi untuk meradiasikan gelombang listrik dan magnet. Bentuk *patch* sangat bervariasi sesuai dengan rancangan yang diinginkan. Bentuk-bentuk *patch* yang umum digunakan dan sederhana dapat dilihat pada Gambar 2 (Balanis, 2016).



Gambar 2. Bentuk-bentuk antena mikrostrip (Balanis, 2016)

2.2 Parameter Antena

Performansi suatu antena dapat dinilai dari parameter-parameter antena itu sendiri. Ada beberapa parameter antena, diantaranya seperti *voltage standing ratio*, *return loss*, *bandwidth*, dan *gain*. Berikut akan dijelaskan mengenai parameter tersebut.

2.2.1 Voltage Standing Wave Ratio

Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{max}$) dengan minimum ($|V|_{min}$). kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun pada praktiknya kondisi ini sulit didapatkan. Pada umumnya nilai VSWR yang sudah dapat dianggap baik adalah $VSWR \leq 2$ untuk mencari nilai VSWR dapat menggunakan persamaan 1 (Imam, 2017).

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

Dimana :

Z_1 = impedansi beban (*load*)

Z_2 = impedansi saluran (*lossless*)

2.2.2 Return Loss

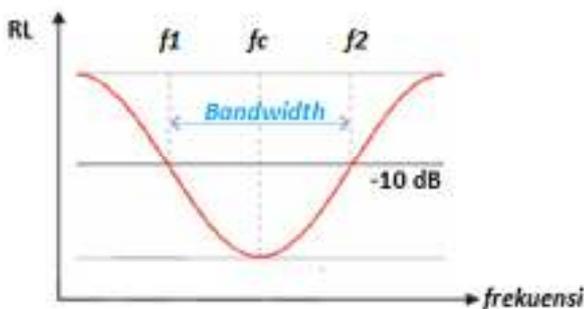
Return loss adalah perbandingan amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* dapat terjadi karena adanya diskontinuitas diantara saluran transmisi dengan impedansi masukan beban (antena), sehingga tidak semua daya yang dipancarkan melainkan ada yang dipantulkan kembali (Wibowo, 2017).

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

Nilai *return loss* yang baik adalah dibawah -9.54dB, 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 antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan atau tidak.

2.2.3 Bandwidth

Bandwidth atau lebar pita frekuensi suatu antenna didefinisikan sebagai kisaran rentang frekuensi dimana kinerja antenna yang berhubungan dengan beberapa karakteristik sesuai dengan standart yang ditentukan (seperti impedansi masukan, pola radiasi, *beamwidth*, polarisasi, *gain*, efisiensi, VSWR, dan *return loss*). Nilai *bandwidth* dapat diketahui apabila nilai frekuensi bawah dan nilai frekuensi atas dari suatu antenna sudah diketahui. Frekuensi bawah adalah nilai frekuensi awal dari frekuensi kerja antenna, sedangkan frekuensi atas merupakan nilai frekuensi akhir dari frekuensi kerja antenna (Balanis, 2016)



Gambar 3. Rentang frekuensi yang menjadi *bandwidth* (Wijayanto, 2017).

Persamaan 3 digunakan untuk mencari nilai *bandwidth* adalah sebagai berikut :

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

Dimana :

- f_2 = frekuensi tertinggi (Hz)
- f_1 = frekuensi terendah (Hz)
- f_c = frekuensi tengah (Hz)

2.2.4 Penguatan (Gain)

Ada dua jenis penguatan (*gain*) pada antenna yaitu penguatan absolut (*absolute gain*) dan penguatan relatif (*relative gain*). Penguatan absolut pada suatu antenna didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas pada arah tertentu dengan intensitas radiasi yang diperoleh jika daya yang diterima oleh antenna teradiasi secara isotropik. Intensitas radiasi yang berhubungan dengan daya yang diradiasikan secara tropik sama dengan daya yang diterima oleh antenna (P_{in}) dibagi 4π . *Absolute gain* ini dapat dihitung dengan persamaan 4 (balanis, 2016).

$$gain = 4\pi \frac{(\theta, \varphi)}{P_{in}} \quad (4)$$

2.3 Antena Mikrostrip Rectangular

Antena mikrostrip *rectangular* adalah antenna dengan bentuk pada *patch*, *ground* atau keduanya memiliki bentuk persegi panjang. *Patch* berbentuk persegi panjang merupakan salah satu yang paling umum digunakan karena lebih mudah dilakukannya karakterisasi pada dimensi panjang dan lebarnya. Adapun perhitungan yang digunakan dalam melakukan perancangan antenna mikrostrip *patch* berbentuk persegi panjang didapatkan menggunakan persamaan 5 (Balanis, 2016).

Menentukan lebar *patch* (w):

$$W = \frac{c}{2 f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \quad (5)$$

Dimana :

- c : kecepatan cahaya 3×10^8 m/s
- f_0 : frekuensi kerja antenna
- ϵ_r : konstanta dielektik substrat.

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 persamaan 6 (Balanis, 2016).

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0,3) \left(\frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{reff} - 0,258) \left(\frac{W}{h} + 0,8 \right)} \quad (6)$$

Dimana h merupakan tinggi substrat dan ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik efektif yang dirumuskan sebagai (Gusma, 2014).

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right)}} \right) \quad (7)$$

Dengan demikian panjang *patch* (l) diberikan :

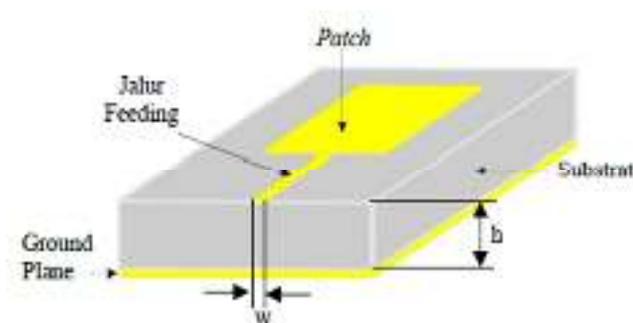
$$L = L_{\text{eff}} - 2\Delta L \quad (8)$$

Dimana L_{eff} merupakan panjang *patch* efektif yang dapat dirumuskan dengan persamaan 9:

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (9)$$

2.4 Teknik Pencatuan *Microstrip Line Feeding*

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 perencanaan. Teknik pencatuan antenna mikrostrip *rectangular* dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu secara langsung menggunakan teknik *probe coaxial* atau dengan menggunakan *microstrip line* (Wibowo, 2017). Pada perancangan antenna mikrostrip yang dilakukan menggunakan teknik *microstrip line*.



Gambar 4. Teknik Pencatuan *Microstrip line feeding* (Wibowo, 2017)

Adapun persamaan yang digunakan untuk menghitung panjang dan lebar saluran mikrostrip diberikan oleh persamaan 10 dan 11 (Balanis, 2016):

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\frac{\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r}}{0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r}} \right] \right\} \quad (10)$$

Dengan ϵ_r adalah konstanta dielektrik relatif dan:

$$B = \frac{60\epsilon_r^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (11)$$

2.5 Massive MIMO

Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan suatu 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 yang besar (Wijanto, 2017).

2.6 Metamaterial Superstrate

Metamaterial merupakan bahan/ media yang dirancang artifisial untuk memiliki karakteristik permitifitas atau permeabilitas negatif Permittivitas (ϵ_r) dan permeabilitas (μ) adalah dua parameter yang digunakan untuk mengkarakterisasi properti listrik dan magnetik dari material yang berinteraksi dengan medan-medan elektromagnetik. Permittivitas adalah ukuran seberapa besar perubahan sebuah medium untuk menyerap energi listrik ketika dipaparkan ke sebuah medan listrik. Permittivitas merupakan perbandingan antara perpindahan listrik oleh medium (D) dengan kuat medan listrik (E). yang dikatakan sebagai konstanta dielektrik adalah perbandingan antara permittivitas sebuah material terhadap permittivitas ruang bebas ($\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{F/m}$), yang juga disebut permittivitas negatif. Sementara itu, permeabilitas adalah konstanta kesebandingan yang ada antara induksi magnetik dan intensitas medan magnet (Hidayatul, 2018).

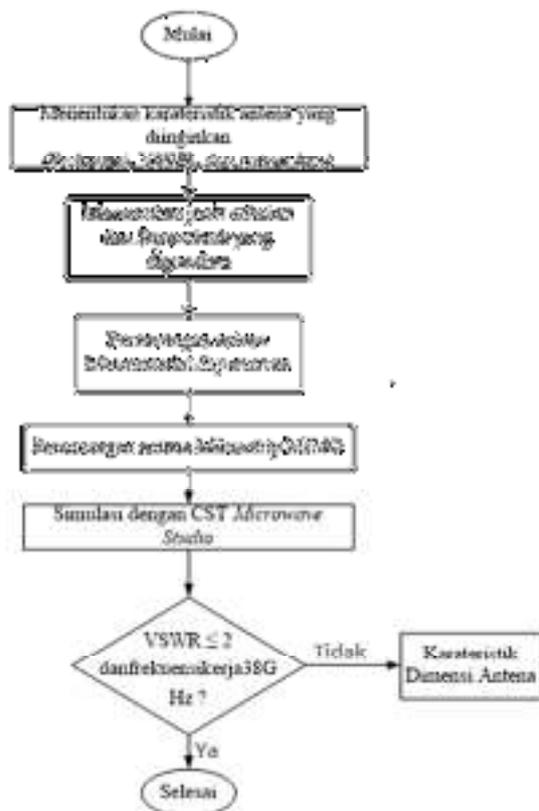
Terdapat beberapa metode perancangan antenna mikrostrip dengan elemen metamaterial seperti *Composit Right Left Handed* (CRLH), *Complementary Split Ring Resonantor* (CSRR),

Split Ring Resonator (SRR), dan selanjutnya metamaterial superstrate. Penggunaan setiap metode dengan metamaterial memiliki keuntungannya masing-masing dalam pemanfaatannya. Metode yang dipilih pada perancangan antenna ini adalah perancangan antenna mikrostrip array dengan metamaterial superstrate, penggunaan metode ini dilakukan dengan menambahkan superstrate layer diatas patch peradiasi untuk mendapatkan peningkatan pada gain dan bandwidth.

III BAHAN DAN METODE

3.1 Diagram Alir Perancangan Antena

Pada perancangan antenna mikrostrip dengan teknik metamaterial superstrate ini diperlukan diagram alir yang berisikan tahapan untuk membantu dalam proses perancangan. Gambar 5 dibawah ini merupakan diagram alir perancangan antenna secara umum.



Gambar 5. Diagram alir perancangan antenna mikrostrip

3.2 Menentukan Karakteristik Antena

Adapun tahapan awal dari perancangan antenna adalah menentukan karakteristik antenna yang diharapkan, yaitu frekuensi kerja antenna terhadap impedance Bandwidth, return loss,

VSWR, dan gain. Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, adapun parameter antenna 5G yang diinginkan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter antenna yang diinginkan

Parameter	Karakterisasi Antena
Frekuensi Kerja	38 GHz
Return Loss	< -10 dB
Bandwidth	> 5 GHz
Voltage Standing	≤ 2
Wave Rasio	
Gain	≥ 16 dBi

3.3 Menentukan Jenis Substrat yang digunakan

Adapun jenis substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah substrat Arlon Ad 250 yang memiliki ketebalan 0.76 mm dengan spesifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi substrat

Jenis Material	Arlon Ad 250
Konstanta Dielektrik (εr)	2.5
Dielectric Loss Tangent	0.0015
Ketebalan Substrat	0.76 mm

3.5 Perancangan Dimensi Patch Rectangular

Pada perancangan awal perlu dilakukan perhitungan dimensi antenna menggunakan persamaan-persamaan yang sudah dijelaskan sebelumnya. Perhitungan dimensi patch rectangular terdiri atas panjang (l) dan lebar dimensi (w).

Menentukan lebar patch (w):

$$W = \frac{(3 \cdot 10^8)}{2 \cdot 38 \cdot 10^9 \sqrt{\frac{2.2+1}{2}}} = 3.14 \text{ mm}$$

Perhitungan nilai efektif dielektrik konstan

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{2.2 + 1}{2} + \frac{2.2 - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{0.635}{3.14} \right]^{\frac{1}{2}} = 1.973$$

Perhitungan nilai pertambahan panjang L (Δl)

$$\Delta l = 0.412 * 0.635 \frac{(1.973+0.3) \left(\frac{3.20}{0.635} + 1.973 \right)}{(1.973-0.258) \left(\frac{3.20}{0.635} + 0.8 \right)} = 0.417 \text{ mm}$$

Perhitungan panjang *patch* efektif (L_{eff})

$$L_{eff} = \frac{3 * 10^8}{2 * 38 * 10^9 \sqrt{1.973}} = 2.81 \text{ mm}$$

Perhitungan panjang *patch* (L)

$$L = 2.81 - 2 * 0.248 = 1.98 \text{ mm}$$

Dari perhitungan yang sudah dilakukan berdasarkan spesifikasi substrat yang akan digunakan diperoleh panjang dan lebar *patch* masing-masing adalah 3,14 mm dan 1,98 mm.

3.6 Perancangan Saluran Pencatu 50 Ohm

Pada saat perancangan antenna mikrostrim metamaterial *superstrate* pada *CST Microwave Studio* perlu adanya impedansi masukan (Z_{in}) sebesar 50Ω dimana pencatu akan dihubungkan dengan konektor *impedance* 50Ω 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 (10) dan (11).

$$B = \frac{60 * 3.14^2}{50 \sqrt{2.2}} = 6.98$$

$$W = \frac{2 * 0.635}{3.14} \left\{ [6.98 - 1 - \ln(2 * 6.98 - 1)] + \frac{2.2 - 1}{2 * 2.2} \right\} \left[\ln(6.98 - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{2.2} \right]$$

$$= 1.6 \text{ mm}$$

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, dibutuhkan lebar saluran pencatu sebesar 1.6 mm. Sedangkan untuk panjang saluran pencatu diharapkan diperoleh nilai yang optimal melalui iterasi. Untuk perancangan awal digunakan panjang pencatu sebesar 6.98 mm.

3.6 Simulasi Antena Mikrostrip

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

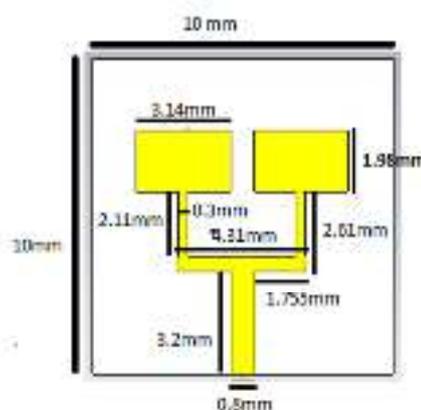
3.7 Karakterisasi Antena Mikrostrip

Karakterisasi antenna merupakan perubahan ukuran yang dilakukan pada beberapa parameter antenna 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

Pada Gambar 6 dapat dilihat tahap awal perancangan antenna menggunakan substrat Arlon AD250 dengan Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r) 2.2 dan ketebalan 0.76 mm.



Gambar 6. Rancangan antenna mikrostrip *patch array rectangular*.

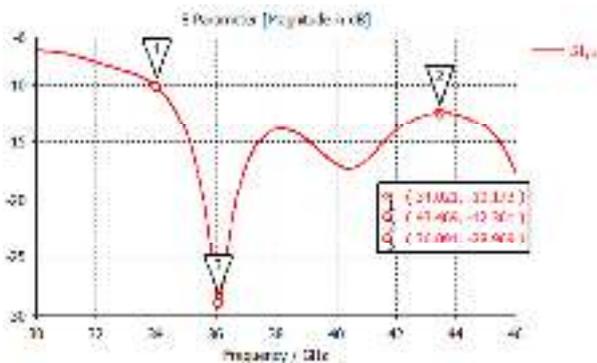
Setelah dilakukan optimasi dengan cara mengganti/merubah nilai beberapa dimensi saluran pencatu dan dimensi *patch* antenna yaitu lebar saluran pencatu, lebar *patch*, dan panjang *patch* didapatkan nilai dimensi antenna yang ideal berdasarkan hasil simulasi.

4.2 Hasil Simulasi

4.3 Perancangan Antena *Microstrip Array*

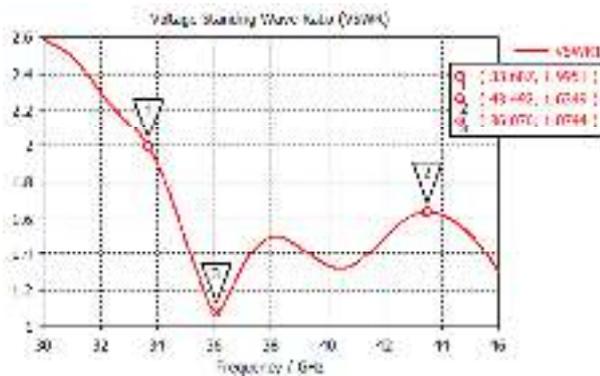
Pada tahap ini hasil rancangan akan disimulasikan menggunakan *software simulator CST Microwave studio*. Setelah antenna disimulasikan dan melewati karakterisasi serta optimisasi akan menghasilkan beberapa nilai parameter.

Hasil simulasi dari perancangan antenna mikrostrip *patch rectangular array* pada gambar 7 akan dijelaskan berikut ini.



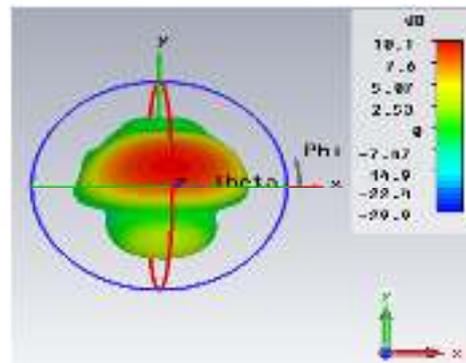
Gambar 7. Grafik *return loss* antena mikrostrip *array*

Nilai *return loss* yang didapatkan setelah simulasi dan karakterisasi adalah -28.969 dB dengan frekuensi kerja antena 36.091 GHz. Berdasarkan hasil simulasi, antena mikrostrip *array* sudah menghasilkan parameter *return loss* yang diinginkan namun antena tidak bekerja tepat pada frekuensi yang diinginkan yaitu 38 GHz. Selanjutnya grafik VSWR antena terlihat pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Grafik VSWR antena mikrostrip *array*

Nilai VSWR yang didapatkan setelah simulasi dan karakterisasi adalah 1.07 dengan frekuensi kerja 36 GHz. Berdasarkan hasil simulasi, antena mikrostrip menghasilkan parameter VSWR sesuai dengan yang diinginkan yaitu $VSWR \leq 2$.

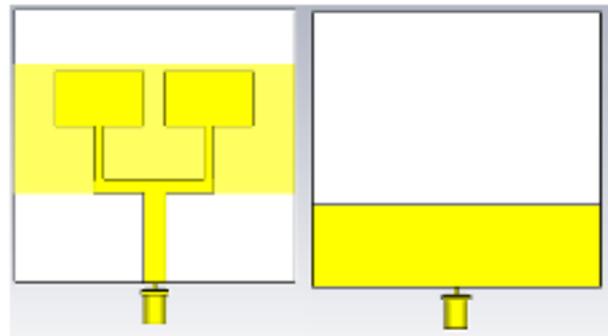


Gambar 9. *Gain* antena mikrostrip *array*

Nilai gain yang didapatkan dari perancangan antena *array* adalah sebesar 10.1 dB dengan lebar *bandwidth* 9.13 GHz seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

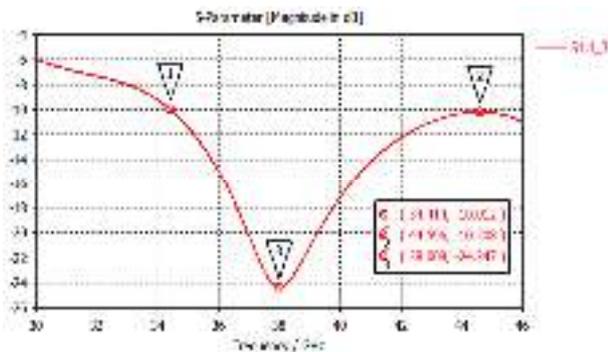
4.4 Perancangan Antena *Microstrip Array* dengan *Metamaterial Superstrate*

Material yang digunakan untuk *layer superstrate* pada desain ini adalah Arlon Diclud 880 dengan ketebalan 0.13 mm.



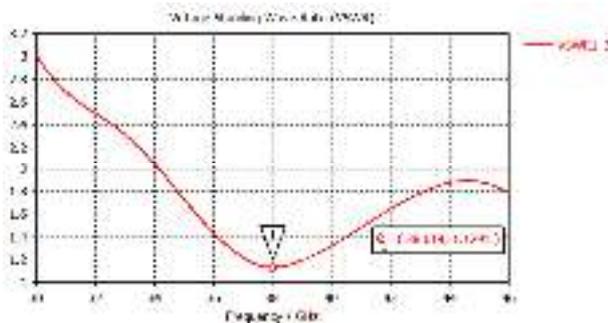
Gambar 10. Rancangan antena mikrostrip *array* dengan *metamaterial superstrate*.

Ukuran dimensi pada dimensi *metamaterial superstrate* adalah lebar 4.8 mm dan panjang 10 mm dan tersuspensi di atas permukaan dimensi *patch*. Hasil simulasi dan karakterisasi perancangan antena mikrostrip dengan *metamaterial* adalah sebagai berikut.



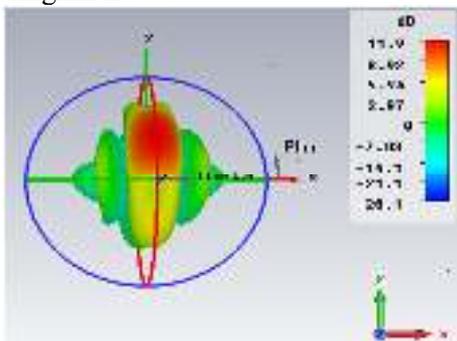
Gambar 11. Grafik *return loss* antenna mikrostrip metamaterial *superstrate*

Nilai *return loss* yang didapatkan setelah simulasi dan karakterisasi adalah sebesar -24.347 dB dengan frekuensi kerja 38.008 GHz dimana hasil ini sudah sesuai dengan parameter *return loss* yang diinginkan.



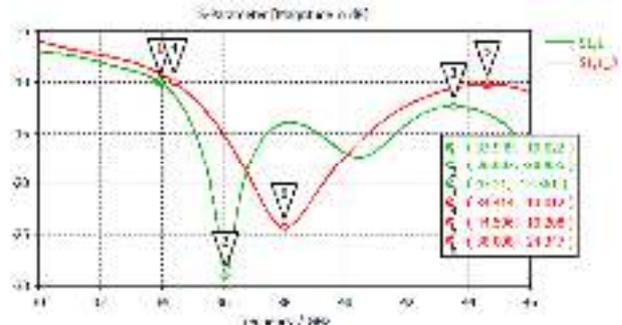
Gambar 12. Grafik VSWR antenna mikrostrip metamaterial *superstrate*

Nilai VSWR yang didapatkan setelah simulasi dan karakterisasi pada perancangan ini adalah 1.12 dengan frekuensi kerja 38.008 GHz . berdasarkan hasil simulasi dan karakterisasi antenna mikrostrip dengan metamaterial *superstrate* menghasilkan parameter VSWR sesuai dengan yang diinginkan



Gambar 13. Gain antenna mikrostrip dengan metamaterial *superstrate*

Gain yang didapatkan dari hasil simulasi dan proses optimasi adalah sebesar 11 dB dengan frekuensi kerja 38.008 GHz dan lebar *bandwidth* sebesar 10.182 GHz.

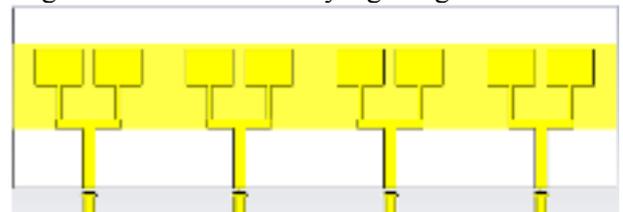


Gambar 14. Perbandingan sebelum dan sesudah menggunakan metamaterial *superstrate*.

Gambar 14 merupakan grafik perbandingan hasil *return loss* sebelum dan sesudah menggunakan teknik metamaterial *superstrate*. Grafik hijau merupakan hasil *return loss* awal dimana hanya antenna microstrip array elemen tunggal tanpa *metamaterial superstrate* dan grafik merah merupakan hasil *return loss* setelah menggunakan *metamaterial superstrate*. Terjadi pergeseran pada frekuensi yang ditandai dengan *marker 2* dan *marker 6*, dari 36.087 GHz ke 38.008 GHz, peningkatan pada nilai *bandwidth* yang semula 9.13 GHz menjadi 10.182 GHz. Namun terjadi penurunan performansi pada *return loss* dari -28.955 dB menjadi -24.347 dB.

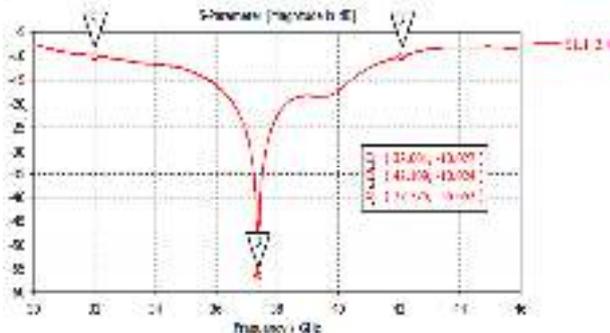
4.5 Perancangan Antena Mikrostrip MIMO 4x4

Pada tahap ini dirancang antenna MIMO 4x4 yang berjejer kesamping sebanyak 4 buah antenna. Dari hasil perancangan ini diharapkan akan mendapatkan hasil yang lebih baik dan mencapai target karakteristik antenna yang diinginkan.



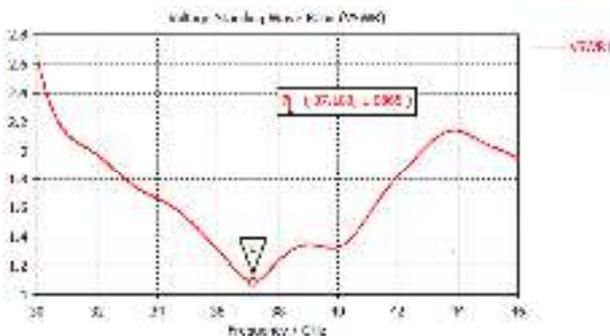
Gambar 15. Rancangan antenna MIMO 4x4 dengan metamaterial *superstrate* tampak depan

Hasil simulasi dari rancangan antenna MIMO 4x4 dengan metamaterial *superstrate* didapatkan rentang frekuensi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16 dan nilai VSWR pada Gambar 17.



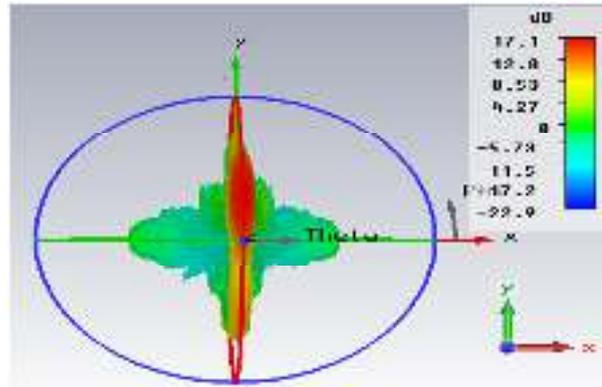
Gambar 16. Grafik *return loss* antenna mikrostrip MIMO 4x4 dengan metamaterial *superstrate*

Dari hasil simulasi perancangan antenna mikrostrip MIMO 4x4 dengan metamaterial *superstrate* didapatkan nilai *return loss* sebesar -56.653 dB dengan frekuensi kerja antenna 37.375 GHz dimana pada hasil ini terjadi peningkatan pada *return loss* dan terjadi sedikit pergeseran pada frekuensi, namun hasil ini masih sesuai dengan parameter yang diinginkan.



Gambar 17. Grafik VSWR antenna mikrostrip MIMO 4x4 dengan metamaterial *superstrate*

Nilai VSWR yang didapatkan dari hasil simulasi dan optimasi pada perancangan antenna MIMO 4x4 adalah 1.086 dimana hasil ini sudah memenuhi kriteria $VSWR \leq 2$. Selanjutnya hasil *gain* dapat dilihat pada Gambar 16 berikut.



Gambar 18. Gain antenna mikrostrip MIMO 4x4 dengan metamaterial *superstrate*

Gain yang didapatkan dari hasil simulasi dan proses optimasi rancangan antenna mikrostrip MIMO 4x4 adalah sebesar 17.1 dB dengan frekuensi kerja 38.008 GHz dan lebar *bandwidth* sebesar 10.108 GHz. Hasil ini sudah memenuhi kriteria yang diinginkan yaitu $gain \geq 16$ dBi.

Tabel 3 dan 4 berikut merupakan perbandingan hasil *gain* dan *bandwidth* yang didapatkan dari hasil perancangan antenna mikrostrip tanpa metamaterial *superstrate* dan dengan teknik metamaterial *superstrate*. Rancangan antenna mikrostrip dengan teknik metamaterial *superstrate* selanjutnya juga di desain MIMO 4x4.

Tabel 3. Perbandingan nilai *bandwidth*

Bandwidth maksimum antenna array (tanpa <i>superstrate</i>)	Bandwidth maksimum antenna array (dengan <i>superstrate</i>)	Bandwidth maksimum antenna MIMO 4x4 (dengan <i>superstrate</i>)
9.13 GHz	10.182 GHz	10.108 GHz

Tabel 4. Perbandingan nilai *gain*

Gain maksimum antenna array (tanpa <i>superstrate</i>)	Gain maksimum antenna array (dengan <i>superstrate</i>)	Gain maksimum antenna MIMO 4x4 (dengan <i>superstrate</i>)
10.1 dBi	11 dBi	17.1 dBi

V KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang diperoleh dari hasil perancangan dan proses simulasi antena mikrostrip metamaterial *superstrate*, diantaranya sebagai berikut :

1. Antena mikrostrip dengan metamaterial *superstrate* mampu meningkatkan performansi rancangan antena awal tanpa menggunakan teknik metamaterial *superstrate*, dapat dilihat hasil yang sebelumnya didapatkan yaitu frekuensi 36.043 GHz, nilai *return loss* sebesar -25.813 dB, lebar *bandwidth* sebesar 9.13 GHz, dan *gain* sebesar 10.1 dBi mengalami peningkatan yaitu frekuensi antena menjadi 38.008 GHz, dengan nilai *return loss* sebesar -24.347, lebar *bandwidth* sebesar 10.182 GHz, dan *gain* sebesar 11.9 dBi.
2. Hasil rancangan antena mikrostrip MIMO 4×4 mengalami peningkatan performansi yang signifikan yaitu nilai *return loss* meningkat menjadi -56.653 dB, dan nilai *gain* juga meningkat menjadi 17.1 dBi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arora. C. 2017. *SRR Superstrate for Gain and Bandwidth Enhancement of Microstrip Patch Antenna Array*. Progres In Electromagnetic Research. Khrisna Institute of Engineering & Technology: India.
- Balanis, C. A. 2016. *Antenna Theory Analysis And Design 4th Edition*. Microstrip and Mobile Communications Antennas. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- C.M Saleh. 2014. *A Zero-Index Metamaterial Single Layer Superstrate for Patch Antena Gain Enhancement*. ICCESSEN. Telecommunication Signal and Systems Laboratory, Laghouat : Algeria.
- 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.
- Hidayatul. Amin. 2018. *Perancangan Antena Mikrostrip Circular Patch Dual-band 28 dan 38 GHz Dengan Metamaterial CSSR (Complementary Split Ring Resonator) untuk Jaringan 5G*. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Riau: Pekanbaru.
- R.A. Sadegzadeh. 2013. *A Novel High Directive EBG Structure And Metamaterial Superstrate for Microstrip Antenna*. International Journal of Engineering. Department of Electrical Engineering, Khaje-Nasir Toosi University, Tehran : Iran.
- Wibowo R. P. 2017. *Perancangan Dan Pembuatan Antena Array Dengan Beamwidth $\leq 5^\circ$ Pada Frekuensi S-Band Dengan Menggunakan Elemen Mikrostrip Bow-Tie*. Tugas Akhir. Fakultas Teknologi Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember: Surabaya.
- Wijanto, E. 2017. *Analysis Of Technology Readiness For The Implementation Of Fifth Generation (5G) Telecommunications Technology*. Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer, 06. No. 23: Jakarta.