

# Perancangan Antena Mikrostrip Menggunakan Inset dan Slot Untuk Sistem Komunikasi 5G pada Frekuensi 3.5 Ghz

<sup>1</sup>Pandhu Pramarta, <sup>2\*</sup>Sri Mardiyati  
<sup>1,2</sup>Universitas Indraprasta PGRI  
Jakarta, Indonesia

<sup>1</sup>pandhu.unindra@gmail.com, <sup>2</sup>srimardiyati05@gmail.com

\*Penulis Korespondensi

Diajukan : 13/09/2024

Diterima : 06/10/2024

Dipublikasi : 06/10/2024

## ABSTRAK

Perkembangan teknologi 5G membutuhkan sistem antena yang mendukung kinerja frekuensi tinggi dan bandwidth yang lebih lebar. Dalam hal ini, antena mikrostrip menjadi pilihan karena ukurannya yang kecil, bobot yang ringan, serta kemampuannya untuk diproduksi secara massal. Penelitian ini bertujuan untuk merancang antena mikrostrip yang beroperasi pada frekuensi 3.5 GHz, yang merupakan salah satu band utama untuk jaringan 5G. Desain antena menggunakan teknik inset dan slot untuk meningkatkan efisiensi radiasi, bandwidth, dan gain. Metode inset feed diaplikasikan untuk mengatasi masalah pencocokan impedansi antara antena dan jaringan transmisi, sehingga mengurangi VSWR (Voltage Standing Wave Ratio). Sementara itu, penambahan slot pada patch antena dilakukan untuk mengoptimalkan distribusi arus dan memperluas bandwidth. Desain ini juga memanfaatkan bahan substrat dengan nilai konstanta dielektrik rendah untuk menjaga stabilitas sinyal dan mengurangi rugi-rugi dielektrik. Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak berbasis elektromagnetik seperti CST atau HFSS. Hasil simulasi menunjukkan bahwa antena yang dirancang memiliki gain yang cukup tinggi dan VSWR yang rendah pada frekuensi target 3.5 GHz. Antena ini diharapkan mampu mendukung aplikasi komunikasi 5G dengan performa yang baik dalam hal efisiensi, gain, dan lebar pita, serta memenuhi spesifikasi teknis yang dibutuhkan dalam penerapan sistem 5G di masa depan.

**Kata Kunci:** Antena mikrostrip, *bandwidth*, Frekuensi 3.5 GHz, *Inset Feed*, *Slot*, *Software AWR Design Environment*, 5G

## I. PENDAHULUAN

Teknologi komunikasi nirkabel telah mengalami perkembangan pesat dalam beberapa dekade terakhir, dan saat ini berada di ambang revolusi besar dengan hadirnya generasi kelima (5G). Teknologi 5G menawarkan peningkatan signifikan dalam hal kecepatan data, latensi rendah, serta kapasitas yang lebih besar, sehingga mendukung berbagai aplikasi yang membutuhkan konektivitas tinggi, seperti *Internet of Things (IoT)*, *Augmented Reality (AR)*, *Virtual Reality (VR)*, serta kendaraan otonom. Salah satu aspek kunci dalam pengembangan 5G adalah penggunaan spektrum frekuensi yang lebih luas, termasuk frekuensi 3.5 GHz, yang berada dalam rentang sub-6 GHz dan digunakan secara luas untuk implementasi jaringan 5G.

Indonesia sebagai salah satu negara yang sedang bersiap untuk mengadopsi teknologi 5G harus mempertimbangkan beberapa faktor penting, seperti kesiapan infrastruktur, ekosistem inovasi, serta dampak sosial dan regulasi. Meskipun ada tantangan yang perlu diatasi, terdapat pula faktor pendorong yang dapat mempercepat adopsi 5G di Indonesia, seperti permintaan pelanggan,

peng-urutan biaya, dan peluang pendapatan baru bagi operator jaringan seluler (Hutajulu et al., 2020).

Frekuensi 3.5 GHz merupakan salah satu frekuensi utama dalam spektrum sub-6 GHz yang digunakan untuk komunikasi 5G. Frekuensi ini memiliki kemampuan penetrasi yang lebih baik dibandingkan frekuensi millimeter-wave (mmWave) dan cocok untuk diaplikasikan dalam infrastruktur jaringan 5G di berbagai wilayah. Namun, agar sistem komunikasi pada frekuensi ini dapat beroperasi secara optimal, diperlukan perancangan antena yang sesuai, yang mampu bekerja dengan performa tinggi dalam mendukung kebutuhan 5G, terutama dalam hal bandwidth, gain, dan efisiensi radiasi. Sebagaimana disebutkan dalam (Bacci et al., 2023), penggunaan array antena yang lebih besar (*electrically large arrays*) berpotensi dapat meningkatkan efisiensi spektral pada jaringan 5G dengan skema penolakan interferensi yang optimal. Selain itu, antena dengan kemampuan beam-steering dan MIMO juga perlu didukung agar dapat memanfaatkan keunggulan propagasi pada frekuensi millimeter-wave (Bai & Chisum, 2017). Penelitian yang dilakukan pada tahun 2023 menunjukkan bahwa antena mikrostrip dapat menjadi solusi yang menarik untuk kebutuhan tersebut, karena sifatnya yang compact dan ringan, serta mampu menyediakan bandwidth dan direktifitas yang tinggi (Nayak et al., 2023).

Antena mikrostrip menjadi salah satu pilihan yang paling banyak digunakan untuk aplikasi komunikasi nirkabel, termasuk 5G, karena dimensinya yang kecil, biaya produksi yang rendah, serta kemudahan dalam integrasi dengan perangkat elektronik lainnya. Namun, antena mikrostrip memiliki beberapa kekurangan, seperti bandwidth yang sempit dan efisiensi radiasi yang relatif rendah. Oleh karena itu, berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja antena mikrostrip, termasuk penggunaan teknik inset feed dan penambahan slot pada desain patch antena. Salah satu tantangan utama dalam pengembangan antena 5G adalah kebutuhan akan antena dengan gain tinggi, bandwidth lebar, dan kemampuan pembentukan berkas (*beamforming*) yang baik, terutama pada frekuensi gelombang milimeter. Pada frekuensi ini, efek rugi-rugi saluran transmisi dan antena menjadi semakin signifikan, sehingga teknik-teknik baru diperlukan untuk mengatasi masalah ini. Misalnya, antena array phased dapat menjadi pilihan yang menarik karena kemampuannya untuk menghasilkan pola radiasi yang dapat diarahkan secara elektronik (McKinnis et al., 2018).

Teknik inset feed memungkinkan penyesuaian impedansi antena dengan lebih baik, sehingga dapat mengurangi refleksi sinyal yang tidak diinginkan dan meningkatkan efisiensi transmisi. Di sisi lain, penambahan slot pada patch antena bertujuan untuk memperluas bandwidth dan meningkatkan gain, sehingga antena dapat bekerja lebih optimal pada frekuensi 3.5 GHz. Kombinasi dari kedua teknik ini diharapkan mampu menghasilkan antena yang tidak hanya kompak, tetapi juga memiliki performa yang mendukung berbagai aplikasi 5G.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang antena mikrostrip dengan menggunakan inset feed dan slot yang beroperasi pada frekuensi 3.5 GHz untuk mendukung komunikasi 5G. Desain antena ini diharapkan mampu memenuhi kebutuhan standar kinerja seperti VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) yang rendah, return loss yang minimal, bandwidth yang lebar, serta gain yang memadai untuk memastikan konektivitas yang andal dan berkecepatan tinggi pada jaringan 5G.

## II. STUDI LITERATUR

Dalam perancangan antena mikrostrip untuk sistem komunikasi 5G pada frekuensi 3.5 GHz, terdapat berbagai literatur yang mendukung pemahaman dan pengembangan teknik desain yang optimal. Studi literatur ini mencakup teori dasar tentang antena mikrostrip, teknik inset feed, penggunaan slot, serta aplikasi antena pada jaringan 5G.

### Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip merupakan jenis antena planar yang terdiri dari lapisan patch konduktor di atas substrat dielektrik dengan lapisan ground di bagian bawah. Analisis dan Desain, antena mikrostrip memiliki banyak kelebihan, seperti ukuran yang kompak, biaya fabrikasi yang rendah, serta kemampuan integrasi yang baik dengan rangkaian RF. Namun, antena ini juga memiliki keterbatasan dalam hal bandwidth yang sempit dan gain yang relatif rendah. Oleh karena itu,

diperlukan teknik-teknik khusus untuk meningkatkan kinerja antenna mikrostrip agar sesuai dengan kebutuhan 5G, yang menuntut bandwidth luas dan efisiensi tinggi.

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk menganalisis dan mendesain antenna mikrostrip yang sesuai untuk aplikasi 5G pada frekuensi tinggi. Penggunaan mikrostrip patch sebagai elemen peradiasi terbukti dapat menghasilkan antenna yang kompak dan ringan, yang cocok untuk diintegrasikan ke dalam perangkat 5G. Sebuah antenna mikrostrip dual-band yang dirancang untuk beroperasi pada 28 GHz dan 46 GHz dilaporkan dengan karakteristik bandwidth lebar dan gain yang baik (Nayak et al., 2023). Selain itu, teknik susunan array juga dapat diterapkan untuk meningkatkan gain antenna mikrostrip agar memenuhi kebutuhan 5G, seperti pada antenna array 64 elemen yang mencapai effective isotropic radiated power hingga 48 dBm.

### Teknik Inset Feed

Inset feed adalah salah satu metode pencocokan impedansi yang digunakan dalam antenna mikrostrip. Teknik ini melibatkan pemotongan slot kecil pada patch antenna untuk menyesuaikan impedansi antara patch dan saluran transmisi, sehingga mengurangi refleksi sinyal yang tidak diinginkan. Antenna mikrostrip menggunakan lapisan-lapisan yang terdiri dari groundplane, substrate, dan patch. Pemotongan slot pada patch antenna dapat mempengaruhi impedansi dan mengurangi refleksi sinyal (Arfin et al., 2022). Penelitian yang dilakukan oleh (Marchellia et al., 2021) menyatakan bahwa Desain antenna mikrostrip persegi yang menggunakan kombinasi u-slot dan elemen parasitik. Pemotongan slot berbentuk huruf U pada patch utama juga digunakan untuk menyesuaikan impedansi dan meningkatkan kinerja antenna. Dengan demikian, inset feed adalah teknik yang efektif dalam mengoptimalkan kinerja antenna mikrostrip dengan mengurangi refleksi sinyal dan meningkatkan impedansi.

### Penggunaan Slot pada Patch Antena

Penggunaan slot pada patch antenna merupakan salah satu teknik yang efektif untuk meningkatkan kinerja antenna, terutama dalam memperluas bandwidth dan memodifikasi pola radiasi. Slot pada patch antenna dapat meningkatkan bandwidth antenna. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan U-Slot dapat meningkatkan bandwidth sebesar 50,7%, sedangkan penambahan H-Slot hanya dapat meningkatkan bandwidth sebesar 21,2% (Ardianto et al., 2019). Teknik slot melibatkan penambahan celah pada patch antenna, yang dapat berbentuk U, H, T, E, atau V. Pemberian slot ini dapat mereduksi dimensi antenna dan memperlebar bandwidth (Aditama et al., 2018). Slot dapat digunakan dalam berbagai jenis antenna mikrostrip, termasuk antenna mikrostrip persegi panjang dan antenna mikrostrip lingkaran. Pada desain antenna mikrostrip lingkaran, slot digunakan untuk meningkatkan lebar bandwidth dan menurunkan nilai *return loss*. Pemberian slot pada patch antenna dapat mempengaruhi kinerja antenna. Slot dapat meningkatkan efisiensi radiasi dan memodifikasi pola radiasi antenna menjadi *omnidirectional* (Manalu et al., 2024). Dengan demikian, penggunaan slot pada patch antenna merupakan strategi yang efektif untuk meningkatkan kinerja antenna, terutama dalam meningkatkan bandwidth dan memodifikasi pola radiasi.

### Komunikasi 5G pada Frekuensi 3.5 GHz

Frekuensi 3.5 GHz merupakan salah satu calon frekuensi mid-band yang diajukan untuk penggunaan teknologi 5G. Namun, frekuensi ini juga digunakan oleh beberapa operator sistem komunikasi satelit di Indonesia, seperti yang disebutkan dalam analisis interferensi teknologi 5G terhadap sistem komunikasi satelit di pita frekuensi extended C-band (3400-3700 MHz) (Faqih et al., 2020). Dalam penelitian tentang analisis komunikasi D2D pada jaringan 5G 3.5 GHz, permodelan kanal D2D dirancang untuk memahami pengaruh jarak dan kondisi frekuensi pada kualitas sinyal. Pengukuran respon magnitudo dan fasa dilakukan menggunakan Vector Network Analyzer, dengan frekuensi yang digunakan berada pada kisaran 3.2 GHz hingga 3.7 GHz (Hidayat, 2022).

Implementasi spektrum frekuensi 3.5 GHz untuk teknologi 5G di Indonesia telah dilakukan dengan menggunakan metode STEP analysis. Penelitian ini menunjukkan bahwa frekuensi 3.5 GHz sangat potensial digunakan dalam teknologi 5G karena memiliki cakupan yang luas dan dapat menghemat biaya pengembangan jaringan. Perancangan dan realisasi antenna 5G pada frekuensi

kerja 3.5 GHz berbasis metasurface dan terintegrasi dengan penguat juga dilakukan untuk meningkatkan gain. Antena ini menggunakan algoritma integrasi footprint LNA pada ground plane antena utama dan metasurface untuk penyerapan gelombang.

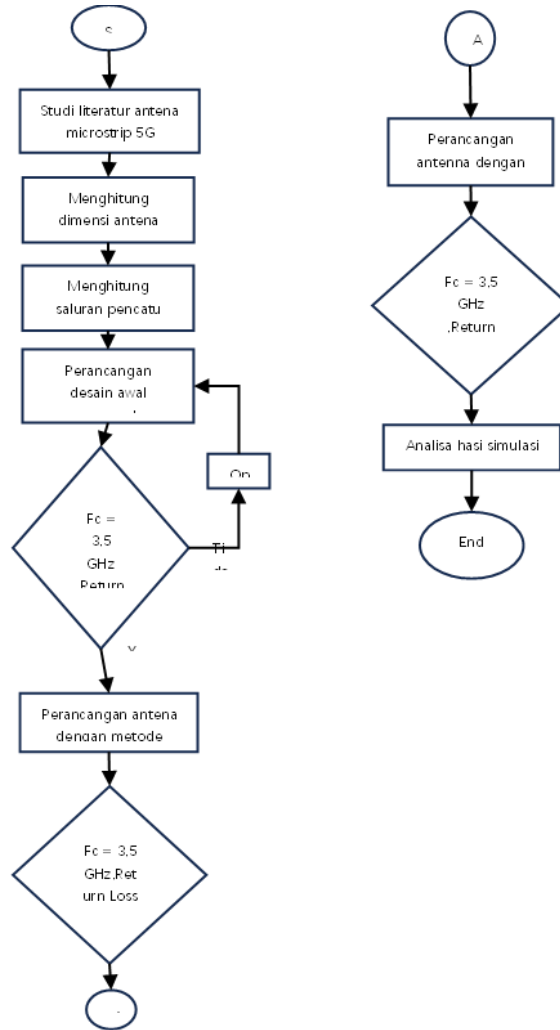
### Desain Antena untuk Aplikasi 5G

Desain antena untuk aplikasi 5G harus memenuhi beberapa kriteria penting, seperti bandwidth yang luas, gain yang tinggi, efisiensi yang baik, dan ukuran yang kompak. Antena 5G harus dapat menangani bandwidth yang sangat lebar, minimal 1 GHz, untuk mendukung kecepatan data yang tinggi (Yulindon & Septima, 2024). Gain yang tinggi diperlukan untuk meningkatkan kuat sinyal dan memastikan komunikasi yang stabil. Antena mikrostrip array dan metode inset feed dapat digunakan untuk meningkatkan gain (Madiawati & Simanjuntak, 2021). Efisiensi antena yang tinggi sangat penting untuk mengurangi kehilangan sinyal dan meningkatkan kinerja antena. Parameter seperti return loss dan VSWR harus diatur untuk memastikan efisiensi yang baik. Antena mikrostrip memiliki ukuran yang relatif kecil dan ringan, sehingga mudah dibawa dan dipasang. Bentuk lingkaran dan array mikrostrip juga dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi ruang.

Studi literatur ini menegaskan pentingnya penggunaan teknik inset feed dan slot dalam perancangan antena mikrostrip untuk aplikasi komunikasi 5G pada frekuensi 3.5 GHz. Dengan mengkombinasikan teknik-teknik ini, diharapkan dapat dicapai kinerja antena yang memenuhi standar komunikasi 5G, termasuk bandwidth yang luas, gain yang tinggi, dan efisiensi yang baik. Penelitian ini akan memanfaatkan pengetahuan dari studi-studi sebelumnya untuk mengembangkan desain antena yang optimal dan melakukan validasi melalui simulasi serta pengujian laboratorium.

### III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian dilakukan beberapa tahap untuk proses perancangan dan realisasi antena yang diusulkan seperti yang dilihat pada gambar 1 dibawah ini



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Antena

**Dimensi Antena**

Antena mikrostrip dapat diintegrasikan dengan mudah pada peralatan telekomunikasi. Antena mikrostrip memiliki beberapa kekurangannya, yaitu efisiensi rendah, bandwidth terbatas, dan low directivity. Akibatnya beberapa cara harus digunakan untuk mengembangkan antena mikrostrip untuk mengatasi kekurangan ini (Hilyawan et al., 2023). Dalam merancang antena mikrostrip, perlunya perhitungan matematika dalam menentukan ukuran antena. Pada perancangan awal antena mikrostrip terlebih dahulu menentukan dimensi antena yang bekerja pada frekuensi 3.5 GHz. Bentuk antena yang direncanakan adalah persegi panjang dengan nilai lebar (W) dan panjang (L). Dimensi antena diperoleh dengan menggunakan persamaan (1) (2) (3) (4) dan (5), sedangkan untuk perhitungan pencatu menggunakan persamaan (6) dan (7). Berikut adalah rumus yang digunakan untuk merancang antena mikrostrip (Alam & Wibisono, 2017).

$$W = \frac{C}{2fr\sqrt{\frac{\epsilon r + 1}{2}}} \tag{1}$$

$$L_{eff} = \frac{C}{2f\sqrt{\epsilon_{eff}}} \tag{2}$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon + 1}{2} + \frac{\epsilon - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}} \tag{3}$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \tag{4}$$

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left( \frac{w}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left( \frac{w}{h} + 0.8 \right)} \tag{5}$$

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0\sqrt{\epsilon_{eff}}} \tag{6}$$

$$Wz = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon - 1}{2\epsilon} \left[ \ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon} \right] \right\} \tag{7}$$

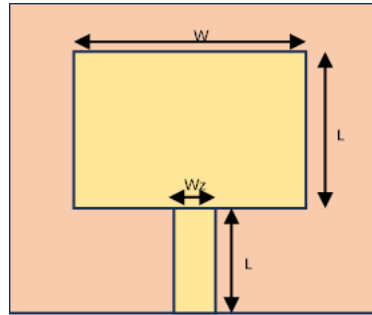
Setelah melakukan perhitungan dimensi antenna, didapatkan hasil seperti tabel 1 dibawah ini:

Tabel I. Dimensi Antena

Parameter	Dimensi (mm)
PCB	50x50
Lebar patch (W)	26
Lebar saluran Pencatu (Wz)	3.1
Lebar Slot (W1)	8
Panjang Patch (L)	19.5
Panjang Saluran Pencatu (Lz)	18.5
Panjang Slot (L1)	1
Panjang Inset (f)	1
Lebar Inset (g)	1

**Desain Antena**

Merancang antenna perlu diketahui sebelumnya spesifikasi antenanya dan perhitungan dimensinya sesuai yang diinginkan. Antena yang dibuat adalah antenna mikrostrip berbentuk rectangular yang bekerja pada frekuensi 3.5 Ghz untuk aplikasi 5G. Tipe bahan substrat yang digunakan adalah FR-4, memiliki konstanta dielektik 4,3, impedansi 50 ohm, dan ketebalan 1,6 mm. Desain antenna dapat dilihat seperti gambar 2 berikut ini:

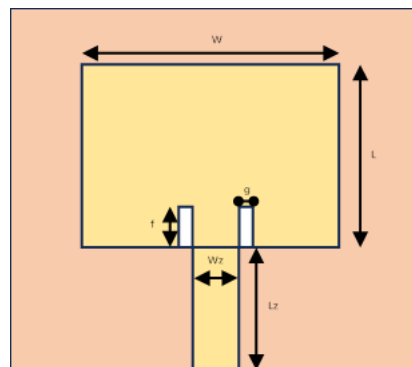


Gambar 2. Desain Awal Antena Mikrostrip Recatngular

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Studi parametrik merupakan suatu proses yang dilakukan untuk memperoleh parameter antena yang sesuai dengan yang diinginkan, tujuannya untuk melihat perubahan desain antena mikrostrip, seperti perubahan patch, ground plane, slot, atau parameter lainnya. Studi parametrik ini dilakukan dengan cara memperkecil atau memperbesar ukuran dari desain antena.

Desain awal dari antena mikrostrip yang direncanakan ini adalah lebar 26 mm, panjang 19,5 mm dan tinggi 1,6 mm. Pengambilan data menggunakan Software AWR Design Environment. Dari desain awal antena mikrostrip tersebut didapat data dari pengukuran return loss sebesar -12,04 dB, efisiensi bandwidth sebesar 4,0%, dan terdapat pergeseran frekuensi menjadi 3,48 GHz. Optimasi dilakukan untuk mendapatkat return loss yang lebih baik dengan menambahkan inset. Desain antena dengan penambahan inset seperti terlihat pada gambar 3.

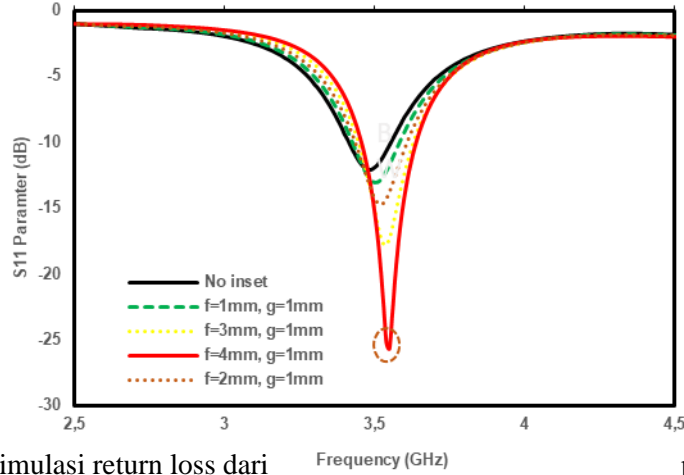


Gambar 3. Desain Antena Mikrostrip dengan inset

Iterasi dilakukan untuk mendapatkan nilai return loss yang optimal dengan merubah parameter  $f$  pada inset yaitu dengan dimensi  $f \times g$ . Pada inset  $f = 1\text{ mm} \times g = 1\text{ mm}$  didapatkan hasil return loss sebesar -13, 03 dB dan efisiensi bandwidth 4.5%, inset  $f = 2\text{ mm} \times g = 1\text{ mm}$  didapatkan nilai return loss sebesar -14,72 dB dan efisiensi bandwidth 4.9%, inset  $f = 3\text{ mm} \times g = 1\text{ mm}$  didapatkan nilai return loss sebesar -17,79 dB dan efisiensi



bandwidth 5.2%, dan inset  $f = 4\text{mm} \times g = 1\text{mm}$  didapatkan nilai return loss sebesar -25,62 dB dan efisiensi bandwidth 5.1%. Hasil simulasi return loss dari parameter inset dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini:



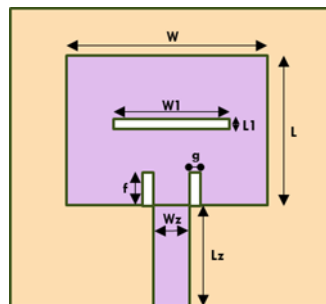
Gambar 4. Hasil simulasi return loss dari parameter inset

Tabel 2 dibawah ini menunjukkan hasil perbandingan dari tiap parameter iterasi. Hasil iterasi tersebut menunjukkan bahwa semakin panjang parameter  $f$  pada inset maka menghasilkan nilai return loss yang lebih tinggi, dan nilai efisiensi bandwidth juga mengalami peningkatan, tetapi terjadi pergeseran frekuensi menjadi 3,55 GHz dari frekuensi awal.

Tabel 2. Hasil pengukuran dengan metode inset

Iterasi	Frekuensi S11 Parameter (Ghz)	S11 Parameter (dB)	Bandwidth (GHz)		Efisiensi Bandwidth	
			FL	FH		
Tanpa Inset	3.48	-12.0438	3.416	3.554	0.138	4.0%
Inset $f=1\text{mm}, g=1\text{mm}$	3.5	-13.0356	3.427	3.584	0.157	4.5%
Inset $f=2\text{mm}, g=1\text{mm}$	3.52	-14.7255	3.436	3.609	0.173	4.9%
Inset $f=3\text{mm}, g=1\text{mm}$	3.54	-17.7935	3.447	3.63	0.183	5.2%
Inset $f=4\text{mm}, g=1\text{mm}$	3.55	-25.6247	3.457	3.639	0.182	5.1%

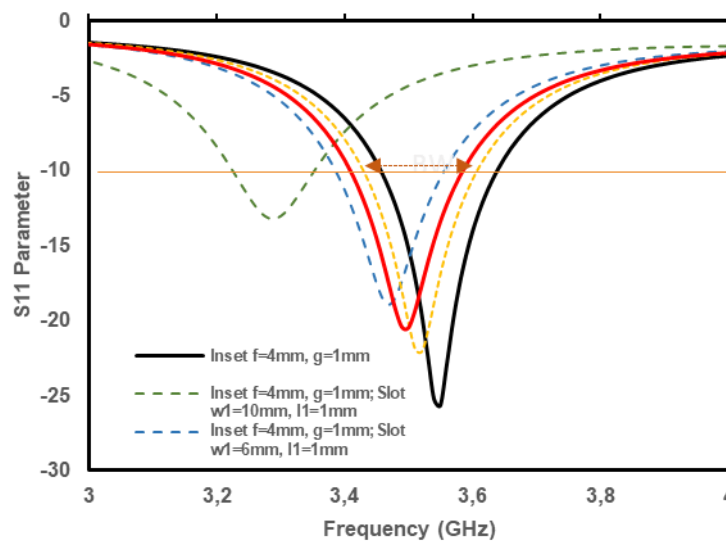
Hasil return loss yang paling baik dari hasil iterasi metode inset menunjukkan nilai -25.62 dB, dan terjadi pergeseran frekuensi menjad 3,55 GHz. Pergeseran frekuensi antenna ini tidak sesuai dengan yang direncanakan, untuk itu desain antenna ditambahkan dengan metode slot dengan tujuan frekuensi akan bergeser kembali ke frekuensi 3.5 GHz. Desain antenna dengan penambahan metode slot seperti yang terlihat pada gambar 5 dibawah ini:



Gambar 5. Desain antenna dengan penambahan slot  
 Setelah penambahan slot pada antenna mikrostrip dengan tujuan menggeser frekuensi,



dilakukan iterasi pada slot. Iterasi dilakukan dengan merubah parameter W1 dengan parameter L1 tetap untuk mencapai nilai frekuensi yang diinginkan. Pada slot W1 = 10mm x L1= 1mm didapatkan nilai return loss sebesar -13.25 dB, nilai frekuensi 3,29 GHz, efisiensi bandwidth 3.9%, slot W1=6mm x L1 = 1mm didapatkan nilai return loss sebesar -18.27 dB, nilai frekuensi 3,47 GHz, efisiensi bandwidth 5.0%, slot W1=4mm x L1 = 1mm didapatkan nilai return loss sebesar -22.07 dB, nilai frekuensi 3,52 GHz, efisiensi bandwidth 5.1%, dan slot W1=5mm x L1 = 1mm didapatkan nilai return loss sebesar -20.46 dB, nilai frekuensi 3,5 GHz, efisiensi bandwidth 5.2%. Hasil simulasi return loss dari penambahan parameter slot dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini:



Gambar 6. Hasil simulasi return loss dengan penambahan inset dan slot

Tabel 3 menunjukkan hasil perbandingan dari tiap parameter iterasi setelah antenna ditambahkan inset dan slot Hasil iterasi menunjukkan bahwa semakin panjang parameter W1 slot maka frekuensi bergeser ke arah lebih kecil. Iterasi yang paling optimal adalah ketika W1 = 5mm x L1=1mm, yaitu dengan ditunjukkannya frekuensi sesuai yang direncanakan yaitu 3.5 GHz, walaupun nilai return loss nya lebih kecil dibandingkan dengan W1=4mm x L1=1mm. Namun dibandingkan dengan nilai return loss pada desain awal antenna, desain ini menunjukkan return loss yang jauh meningkat sebesar 65% dari -13.03 dB ke -20.46 dB, dan terjadi peningkatan efisiensi bandwidth sebesar 15,6% dari 157Mhz ke 182 MHz.

Tabel 3. Hasil pengukuran dengan metode inset dan slot

Iterasi	Frekuensi (Ghz)	S11 Parameter (dB)	Bandwidth (GHz)			Efisiensi Bandwidth
			FL	FH		
Slot						
W1=10mm, L1=1mm	3.29	-13.25	3.224	3.352	0.128	3.9%
Inset f=4mm, g=1mm	W1=6mm, L1=1mm	3.47	3.384	3.556	0.172	5.0%
	W1=4mm, L1=1mm	3.52	3.428	3.607	0.179	5.1%
	W1=5mm, L1=1mm	3.5	-20.46	3.457	3.639	0.182

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian ini, perancangan antenna mikrostrip dengan frekuensi kerja 3.5 GHz yang mengimplementasikan inset feed dan penambahan slot terbukti efektif dalam meningkatkan performa antenna. Salah satu hasil signifikan dari penelitian ini adalah perbaikan pada return loss. Dengan penambahan inset dan slot, return loss meningkat sebesar 65%, dari nilai awal -13.03 dB menjadi -20.46 dB, yang menunjukkan pencocokan impedansi yang lebih baik antara antenna dan saluran transmisi. Peningkatan ini penting karena return loss yang lebih rendah menunjukkan bahwa lebih sedikit energi yang dipantulkan kembali, yang berarti lebih banyak energi yang ditransmisikan dengan efisiensi yang lebih tinggi. Selain itu, terdapat peningkatan pada efisiensi bandwidth sebesar 15.6%, dengan lebar pita yang awalnya 157 MHz meningkat menjadi 182 MHz. Peningkatan bandwidth ini memungkinkan antenna untuk mendukung transmisi data yang lebih luas, yang sangat penting untuk aplikasi jaringan 5G yang membutuhkan kapasitas tinggi dan kecepatan transmisi yang cepat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan teknik inset dan slot dalam perancangan antenna mikrostrip dapat secara signifikan meningkatkan kinerja antenna pada frekuensi 3.5 GHz, menjadikannya lebih ideal untuk digunakan dalam sistem komunikasi 5G.

## VI. REFERENSI

- Aditama, K., Wisniana, E., & Yunus, M. (2018). Desain Miniaturisasi Antena Mikrostrip Patch Persegi Panjang dengan Slot Loading Technique Rectangle Slot untuk Aplikasi LTE 1800. *Seminar Nasional Microwave, Antena Dan Propagasi (SMAP)*.
- Alam, S., & Wibisono, I. (2017). Pengantar antenna dan propagasi: Konsep dasar dan teori. *Jakarta: UTA*, 45, 22–24.
- Ardianto, F. W., RENALDY, S., LANANG, F. F., & YUNITA, T. (2019). Desain Antena Mikrostrip Rectangular Patch Array 1x2 dengan U-Slot Frekuensi 28 GHz. *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, 7(1), 43.
- Arfin, N. S. S., Nursal, F., & Yulindon, Y. (2022). Antena Mikrostrip Rectangular dengan Slot X Untuk Komunikasi Pada UAV. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2), A163–A168.
- Bacci, G., Sanguinetti, L., & Björnson, E. (2023). Spherical wavefronts improve MU-MIMO spectral efficiency when using electrically large arrays. *IEEE Wireless Communications Letters*, 12(7), 1219–1223.
- Bai, W., & Chisum, J. (2017). A compact, wide field-of-view gradient-index lens antenna for millimeter-wave mimo on mobile devices. *2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)*, 1–4.
- Faqih, M., Ardiansyah, N. M., & Usman, U. K. (2020). Analisis Interferensi Teknologi 5g Terhadap Sistem Komunikasi Satelit Di Pita Frekuensi Extended-C (3.4-3.7 Ghz). *EProceedings of Engineering*, 7(3).
- Hidayat, J. A. (2022). *Analisa Komunikasi D2D Pada Jaringan 5G 3.5 GHz Dalam Ruang*. Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Hilyawan, M. R., Alam, S., & Surjati, I. (2023). Antena Mikrostrip Triple-Band untuk Aplikasi LTE dan L-Band Radar. *Jurnal Telematika*, 18(1), 7–14.
- Hutajulu, S., Dhewanto, W., & Prasetyo, E. A. (2020). Two scenarios for 5G deployment in Indonesia. *Technological Forecasting and Social Change*, 160, 120221. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120221>
- Madiawati, H., & Simanjuntak, A. B. (2021). Antena Mikrostrip Rectangular Array 4x2 Elemen dengan Metode Inset Feed pada Frekuensi 3, 5 GHz untuk Aplikasi 5G. *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, 6(2), 175.
- Manalu, M. F., Wildan, M., & Dewantara, M. F. Y. (2024). Rancangan Antena Mikrostrip Rectangular Patch Dengan Tambahan Slot Untuk Aplikasi Antena Cuaca. *Jurnal Rekayasa Elektro Sriwijaya*, 5(2), 98–106.
- Marchellia, M., Simanjuntak, A. B., & Madiawati, H. (2021). Desain Antena Mikrostrip Persegi Menggunakan Kombinasi U-Slot dan Elemen Parasitik pada Frekuensi 2.4 GHz. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 12, 724–730.

- 
- McKinnis, J. M., Gresham, I., & Becker, R. (2018). Figures of merit for active antenna enabled 5G communication networks. *2018 11th Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM)*, 1–7.
- Nayak, A., Dutta, S., & Mandal, S. (2023). Design of Dual Band Microstrip Patch Antenna for 5G Communication Operating at 28 GHz and 46 GHz. *International Journal of Wireless and Microwave Technologies*, *13*(2), 43–52. <https://doi.org/10.5815/ijwmt.2023.02.05>
- Yulindon, Y., & Septima, U. (2024). DESAIN ANTENA MIKROSTRIP 3.5 GHZ UNTUK APLIKASI 5G MENGGUNAKAN METODE COMPLEMENTARY RHOMBUS RESONATOR UNTUK MENINGKATKAN BANDWIDTH. *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, *19*(2), 99–103.