

Karakterisasi Antena Mikrostrip dengan *H-Slot* Untuk Aplikasi *Synthetic Aperture Radar* Pita X

Valahdyo Arbandy¹, Rheyuniarto Sahlendar Asthan²

Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia¹

Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Sumatera, Indonesia²

*rheyuniarto.asthan@el.itera.ac.id

ABSTRACT

A square patch microstrip antenna for X-band synthetic aperture radar has been designed and simulated using proximity coupling method. An H-shaped slot is added at the center of the patch to produce wide bandwidth. Parameter study is carried out during simulation by varying the physical parameters of the antenna to investigate the effect to its performances. Antenna characterization is also performed by comparing the microstrip antenna with and without slot to the conventional microstrip antenna. The final dimensions of the microstrip antenna with H-slot is 11.1mm × 11.1mm. The simulation results show that the proposed antenna yields fractional bandwidth of 34.23% in the range frequency of 7.95GHz to 11.23GHz and peak gain of 4.08dB at the frequency of 10.6GHz.

Keywords : *Synthetic Aperture Radar (SAR), Microstrip Antenna, H-Slot, Proximity Coupling.*

INTISARI

Antena mikrostrip *patch* berbentuk persegi untuk aplikasi *synthetic aperture radar* pita X telah dirancang dan disimulasikan menggunakan teknik pencatutan *proximity coupling*. Pada bagian tengah *patch* ditambahkan *slot* berbentuk “H” untuk menghasilkan *bandwidth* lebar. Studi parameter dilakukan dengan mengubah parameter fisik antena untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja antena. Karakterisasi antena juga dilakukan dengan membandingkan rancangan antena mikrostrip tanpa *slot* dan dengan *slot* terhadap antena mikrostrip konvensional. Dimensi akhir rancangan antena mikrostrip dengan *H-slot* adalah 11,1mm×11,1mm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa antena yang diusulkan menghasilkan *bandwidth* fraksional sebesar 34,23% pada rentang frekuensi 7,95GHz sampai 11,23GHz dan *gain* puncak sebesar 4,08dB pada frekuensi 10,6GHz.

Kata kunci: *Synthetic Aperture Radar (SAR), Antena Mikrostrip, H-Slot, Proximity Coupling.*

I. PENDAHULUAN

Synthetic aperture radar (SAR) merupakan sistem radar yang dimaksudkan untuk meningkatkan resolusi azimut [1]. Sistem ini umumnya diaplikasikan untuk mengobservasi bumi dari udara atau ruang angkasa. Secara umum, sistem ini memancarkan gelombang elektromagnetik ke permukaan bumi dan mengambil data berupa citra beresolusi tinggi. SAR diketahui mampu beradaptasi dalam berbagai macam situasi dan kondisi cuaca. Sistem ini dapat ditemukan pada satelit mikro, *airborne*, dan/atau *unmanned aerial vehicle* (UAV) di berbagai pita frekuensi. Untuk

mendukung transmisi data berupa citra dengan resolusi tinggi diperlukan sebuah antena dengan *bandwidth* lebar dan memiliki bentuk yang sederhana.

Antena mikrostrip merupakan salah satu tipe antena yang umumnya digunakan untuk aplikasi militer ataupun komersial, seperti radar, penginderaan, komunikasi bergerak, dan aplikasi lainnya. Pada antena mikrostrip konvensional, *bandwidth* yang dihasilkan cenderung sempit, *gain* kecil, serta efisiensinya rendah. Kekurangan tersebut membuat antena tipe ini sulit digunakan sebagai antena radar, terutama untuk sistem radar yang membutuhkan *bandwidth* lebar. Namun, hal tersebut dapat diatasi

dengan melakukan modifikasi pada antenna melalui penerapan teknik pelebaran *bandwidth*.

Penelitian mengenai pelebaran *bandwidth* pada antenna mikrostrip telah dilakukan pada penelitian [2]–[5]. Pada penelitian [2], pelebaran dilakukan dengan menggunakan medium dielektrik yang lebih tebal serta menggunakan permitivitas relatif yang kecil dan mampu meningkatkan *bandwidth* sebesar 8%. Akan tetapi, metode tersebut sulit diimplementasikan karena ketebalan medium dielektrik sulit divariasikan dan apabila ingin menggunakan permitivitas relatif yang kecil, dibutuhkan biaya yang lebih mahal. Pada penelitian [3], bagian tepi *patch* pada kedua sisi dihubungkan dengan *shorting via* dan mampu menghasilkan *bandwidth* fraksional lebih dari 10%. Konfigurasi antenna mikrostrip dengan celah udara diantara *ground plane* dan substrat yang dikombinasikan dengan *defected ground structure* serta *via* menghasilkan *bandwidth* hingga 50% [4]. Meskipun demikian, dibutuhkan tingkat akurasi yang tinggi dalam mengatur besarnya celah udara diantara elemen antenna. Sementara itu, pada penelitian [5] dilakukan modifikasi elemen peradiasi dengan menambahkan celah atau *slot* pada bagian *patch*.

Antena mikrostrip dengan *slot* memiliki beberapa keuntungan, yaitu dapat menghasilkan *bandwidth* lebar, konfigurasi sederhana, dan fabrikasi lebih mudah dilakukan. Penelitian terkait metode pelebaran *bandwidth* menggunakan *slot* untuk antenna mikrostrip telah banyak dilakukan. Pada penelitian [6]–[7] dilakukan perancangan antenna menggunakan *slot* berbentuk “U” dan *bandwidth* fraksional yang dihasilkan masing-masing adalah sebesar 15,8% dan 6,3%. Namun, struktur antenna menjadi lebih tebal karena antenna dikonfigurasi menggunakan tiga layer [6]. Pada penelitian [8] dilakukan penambahan *slot* berbentuk “E” dan menghasilkan *bandwidth* fraksional yang tinggi yaitu sebesar 30%. Akan tetapi, dimensi antenna sangat besar dengan ukuran *patch* lebih besar dua kali lipat dari antenna mikrostrip pada umumnya. Antena mikrostrip konvensional dengan *slot* berbentuk “H” telah dilakukan pada penelitian [9] dan menghasilkan *bandwidth* fraksional sebesar 12,5%.

Artikel ini membahas mengenai karakterisasi antenna mikrostrip *patch* persegi dengan *slot* berbentuk “H”. Antena dikonfigurasi menggunakan pencatutan *proximity coupling* menggunakan 2 lapis substrat dengan permitivitas relatif serta ketebalan substrat yang

sama. Dengan pencatutan ini, polarisasi silang dapat dihindari. Integrasi penggunaan *slot* dan pencatutan *proximity coupling* diharapkan dapat meningkatkan *bandwidth* antenna secara signifikan. Karakterisasi antenna dengan membandingkan antenna tanpa *slot* dan dengan *slot* untuk mengetahui kinerja antenna secara keseluruhan juga dilakukan, khususnya dalam hal peningkatan *bandwidth*. Antena yang dirancang diharapkan dapat bekerja pada pita X dengan frekuensi resonansi sebesar 9,4GHz untuk aplikasi SAR.

II. LANDASAN TEORI

A. Synthetic Aperture Radar

Synthetic aperture radar (SAR) umumnya digunakan untuk melakukan pencitraan terhadap permukaan bumi. Cara kerja sistem SAR, yaitu mengambil data secara berurutan dari antenna yang panjangnya lebih pendek kemudian digabungkan untuk mensimulasikan antenna yang panjangnya jauh lebih besar secara elektronik, sehingga memberikan citra dengan resolusi lebih tinggi.

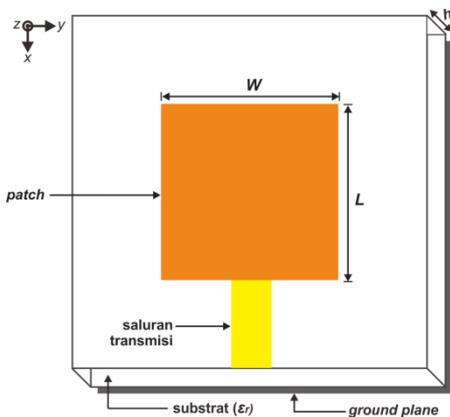
Sistem SAR dapat memberikan resolusi citra yang lebih tinggi tanpa pemrosesan yang rumit. Dengan menggunakan SAR, antenna dengan apertur besar yang mengakibatkan penambahan beban pada *platform* antenna (satelit, UAV, pesawat, dan sebagainya) dapat digantikan fungsinya dengan antenna yang lebih kecil. Panjang gelombang adalah sesuatu yang penting untuk dipertimbangkan saat merancang antenna untuk aplikasi SAR karena ini menentukan bagaimana gelombang radar berinteraksi dengan permukaan dan seberapa jauh sinyal dapat menembus ke dalam. Misalnya, radar pita X, yang beroperasi pada panjang gelombang sekitar 3cm, memiliki kemampuan yang sangat kecil untuk menembus ke dalam hutan berdaun lebar, dengan demikian sebagian besar berinteraksi dengan daun di bagian atas kanopi pohon.

Pada penelitian ini dipilih frekuensi 9,4GHz (pita X) sebagai frekuensi resonansi dari antenna karena ditujukan untuk pemantauan untuk perkotaan dengan tutupan vegetasi yang rendah. Penggunaan frekuensi tinggi ini memiliki beberapa keuntungan, seperti antenna yang lebih kecil sehingga semakin mudah dibawa dan dipasang pada berbagai macam *platform*, frekuensi yang lebih tinggi sehingga memberikan lebih banyak *bandwidth*, dalam hal ini dapat mengirim informasi lebih banyak dalam interval waktu yang

singkat dibandingkan antenna frekuensi rendah, dan juga pada frekuensi ini jarang terkena interferensi perangkat sekitar.

B. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip terdiri dari elemen peradiasi (*patch*) yang tipis dengan ketebalan lebih kecil dari panjang gelombang di udara (λ_0), serta *ground plane* yang dipisahkan oleh substrat, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Pencatuan dari sumber menuju *patch* dilakukan melalui perantara berupa saluran transmisi. Antena mikrostrip memiliki bentuk yang sederhana, namun *bandwidth* yang dihasilkan sangat kecil, yaitu 2% hingga 5% untuk antena tunggal dengan ketebalan substrat kurang dari $0,02\lambda_0$. Pada antena mikrostrip konvensional, *patch* dan saluran transmisi umumnya menempel tepat di atas substrat. Umumnya, *patch* antena berbentuk persegi, persegi panjang, atau sirkular cenderung banyak digunakan karena memiliki bentuk yang sederhana, serta mudah dianalisis dan difabrikasi. Panjang *patch* (L), tanpa memperhitungkan efek *fringing*, dapat dihitung menggunakan Persamaan (1) [10], dimana c dan f_r masing-masing adalah kecepatan perambatan di udara dan frekuensi resonansi antena.



Gambar 1. Konfigurasi antena mikrostrip

$$L = \frac{c}{2f_r\sqrt{\epsilon_r}} \tag{1}$$

Pada antena mikrostrip, substrat dimaksudkan untuk menjaga jarak yang dibutuhkan antara *patch* dan *ground plane*. Kinerja dari suatu antena akan berpengaruh terhadap permitivitas relatif, $\tan\delta$, serta ketebalan substrat. Dengan mengacu pada Persamaan (1), semakin besar nilai permitivitas relatif, maka

dimensi *patch* semakin kecil, dan sebaliknya. Pemilihan substrat yang tebal dengan permitivitas relatif kecil dapat meningkatkan *bandwidth* antena, namun dimensi yang dihasilkan menjadi lebih besar.

Lebar saluran transmisi (W_f) untuk teknik pencatuan secara langsung maupun tidak langsung berbentuk saluran mikrostrip dapat dihitung menggunakan Persamaan (2) atau (3) [11]. Parameter yang perlu diketahui, yaitu impedansi karakteristik (Z_0), ketebalan substrat (h), dan permitivitas relatif (ϵ_r).

untuk $\frac{W_f}{h} \leq 2$

$$\frac{W_f}{h} = \frac{8e^A}{e^{2A} - 2} \tag{2}$$

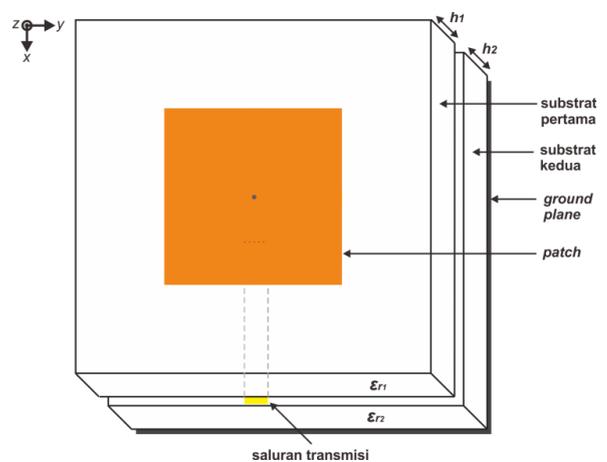
untuk $\frac{W_f}{h} > 2$

$$\frac{W_f}{h} = \frac{2}{\pi} \left[B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon_r} \right) \right] \tag{3}$$

dimana,

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left[0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right]}$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_0\sqrt{\epsilon_r}}$$



Gambar 2. Teknik pencatuan *proximity coupling*

C. Teknik Pencatuan Proximity Coupling

Proximity coupling merupakan teknik pencatuan tidak langsung, dimana saluran transmisi dan patch secara fisik tidak terhubung secara elektromagnetik. Teknik ini memiliki kelebihan dalam hal peningkatan bandwidth antenna, serta menghasilkan radiasi spurious yang rendah, namun fabrikasi antenna dengan pencatuan ini cenderung lebih sulit dilakukan dibandingkan pencatuan langsung. Konfigurasi teknik pencatuan dengan proximity coupling diperlihatkan pada Gambar 2. Bagian patch diletakkan pada bagian atas substrat pertama, sementara saluran transmisi dan ground plane masing-masing diletakkan pada bagian atas dan bawah substrat kedua.

D. Metode Pelebaran Bandwidth dengan Slot

Pelebaran bandwidth menggunakan slot dilakukan dengan membuat celah atau kerusakan pada bagian patch antenna. Penambahan slot pada elemen peradiasi (patch) akan mengganggu distribusi gelombang yang diradiasikan serta menyebabkan luas area patch berkurang dan rugi-rugi konduktor (ohmic) juga berkurang sehingga mengakibatkan menurunnya faktor kualitas antenna, dimana faktor kualitas berbanding terbalik dengan bandwidth antenna [10]. Bentuk slot yang umumnya digunakan untuk meningkatkan lebar bandwidth, yaitu persegi, dogbone, bowtie, "H", "U", "L", dan hourglass. Dimensi slot dapat dihitung menggunakan Persamaan (4) dan (5) [10],

$$L_{slot} = \frac{L}{2,72} \tag{4}$$

$$W_{slot} = \frac{L}{27,2} \tag{5}$$

dimana L_{slot} adalah panjang slot dan W_{slot} adalah lebar slot.

III. PERANCANGAN DAN SIMULASI ANTENA

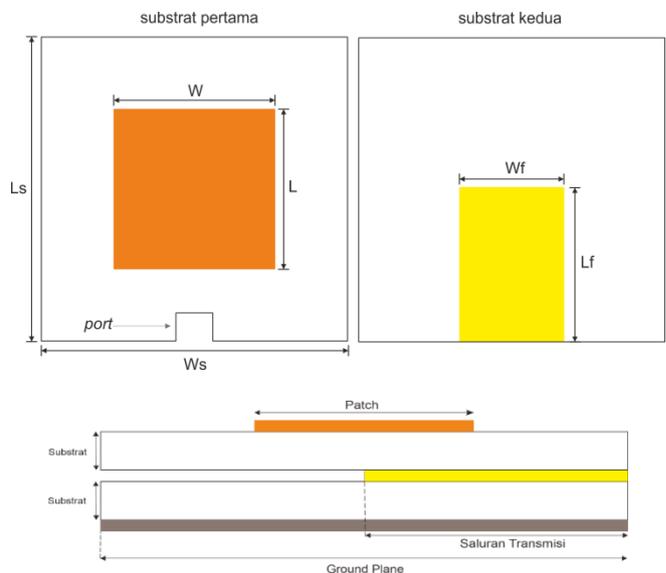
A. Kriteria Perancangan

Antena mikrostrip dengan slot berbentuk "H" dirancang dalam upaya memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan untuk aplikasi SAR pita X, yang mencakup frekuensi resonansi, koefisien refleksi dan voltage standing wave ratio (VSWR), bandwidth fraksional (FBW), serta gain antenna. Adapun kriteria yang diinginkan dicapai dalam perancangan dan simulasi antenna

yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai koefisien refleksi di bawah -10dB (VSWR <2) menyatakan bahwa daya yang dipantulkan balik ke sumber adalah kurang dari 10% dari daya yang dicatukan ke elemen peradiasi. Sementara itu, bandwidth fraksional dihitung dengan membandingkan lebar bandwidth impedansi (saat koefisien refleksi -10dB) terhadap frekuensi tengah antenna.

Tabel 1. Kriteria perancangan antenna

Parameter	Nilai
Frekuensi resonansi	9,4GHz
Koefisien refleksi	<-10dB
VSWR	<2
Bandwidth fraksional	>25%
Gain	3dB

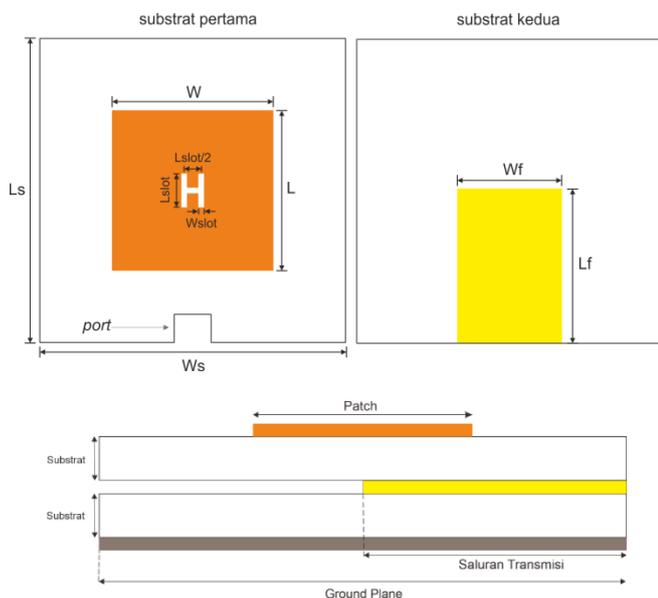


Gambar 3. Konfigurasi rancangan antenna mikrostrip tanpa slot dengan pencatuan proximity coupling

B. Konfigurasi Antena

Pada rancangan antenna mikrostrip tanpa slot, elemen patch dicatu menggunakan teknik pencatuan proximity coupling. Antena dikonfigurasi menggunakan 2 lapis substrat dengan permitivitas relatif dan ketebalan yang sama. Elemen patch dan saluran transmisi dipisahkan oleh substrat pertama, sementara ground plane diletakkan pada bagian bawah dari substrat kedua. Teknik pencatuan menggunakan 2 lapis substrat ini diterapkan untuk meningkatkan bandwidth dari antenna konvensional. Pada rancangan antenna ini, terdapat bagian tambahan yaitu jalur disipasi (penyisipan saluran transmisi dibagian bawah

patch) yang ditetapkan panjang awalnya dari tepi patch hingga titik tengah patch. Konfigurasi antenna mikrostrip tanpa slot dengan pencatatan proximity coupling ditunjukkan pada Gambar 3. Ukuran panjang patch antenna yang dihitung menggunakan Persamaan (1) adalah sebesar 7,6mm. Karena patch antenna berbentuk persegi, maka lebar patch (W) akan selalu sama dengan panjang patch (L). Sementara lebar saluran transmisi (W_f) yang dihitung menggunakan Persamaan (3) adalah sebesar 3mm.



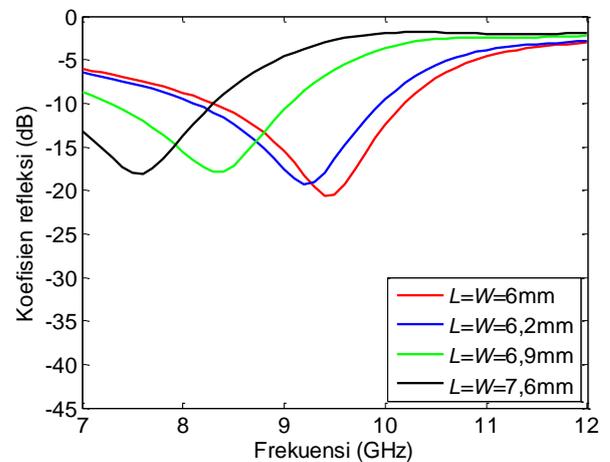
Gambar 4. Konfigurasi rancangan antenna mikrostrip dengan slot menggunakan pencatatan proximity coupling

Konfigurasi rancangan antenna mikrostrip dengan slot ditunjukkan pada Gambar 4. Pada antenna ini dilakukan modifikasi dari rancangan antenna mikrostrip tanpa slot. Modifikasi dilakukan dengan merusak bagian tengah patch melalui penambahan slot berbentuk “H”. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan antenna dengan bandwidth yang lebar untuk memenuhi kriteria perancangan. Panjang dan lebar slot yang dihitung menggunakan Persamaan (4) dan (5) masing-masing adalah 2,2mm dan 0,2mm. Setelah rancangan diimplementasikan pada simulator antenna, maka selanjutnya dilakukan simulasi awal menggunakan parameter fisik hasil perhitungan. Hasil simulasi tersebut dijadikan acuan awal apakah antenna hasil perancangan berdasarkan perhitungan menghasilkan

antenna yang telah memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan atau perlu dioptimasi lebih lanjut.

C. Studi Parameter

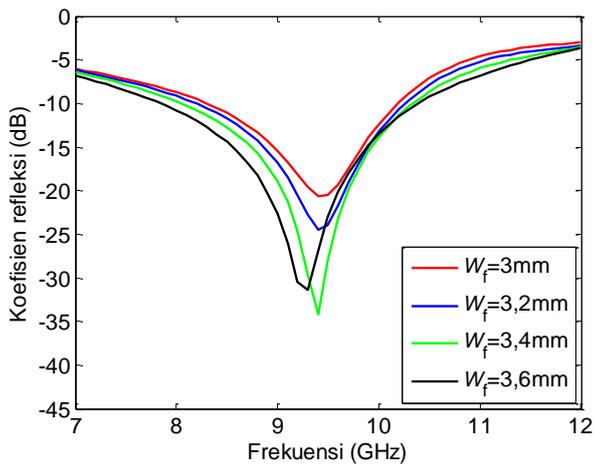
Studi parameter dilakukan melalui simulasi dengan bantuan perangkat lunak untuk melihat pengaruh perubahan parameter fisik antenna serta penambahan slot terhadap parameter antenna yang mencakup nilai koefisien refleksi, frekuensi resonansi, serta peningkatan bandwidth. Studi parameter ini kemudian akan digunakan untuk mengoptimasi rancangan antenna sehingga dihasilkan antenna dengan kinerja yang paling optimal.



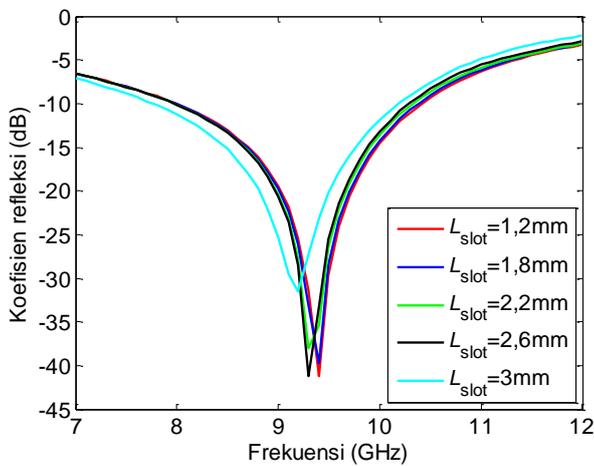
Gambar 5. Pengaruh perubahan dimensi patch terhadap nilai koefisien refleksi pada antenna tanpa slot

Studi parameter untuk antenna mikrostrip tanpa slot dilakukan dengan mengubah parameter fisik panjang dan lebar patch (L dan W) serta lebar saluran transmisi (W_f) secara berurutan. Pengaruh perubahan nilai L dan W terhadap nilai koefisien refleksi ditunjukkan pada Gambar 5. Hasil simulasi menunjukkan bahwa semakin besar nilai L , maka frekuensi antenna berpindah ke frekuensi yang lebih rendah. Sesuai Persamaan (1), frekuensi resonansi antenna berbanding terbalik dengan panjang patch. Nilai dimensi patch yang dipilih yaitu 6mm×6mm karena antenna beresonansi pada frekuensi 9,4GHz dengan koefisien refleksi sebesar -20,59dB dan menghasilkan bandwidth impedansi sebesar 1,9GHz. Sementara itu, studi parameter terhadap lebar saluran transmisi dilakukan dengan memvariasikan nilai W_f sebesar 3mm, 3,2mm, 3,4mm, dan 3,6mm. Hasil simulasi pada Gambar 6 menunjukkan bahwa perubahan nilai W_f akan mempengaruhi besarnya

koefisien refleksi, dimana perubahan nilai W_f ini berhubungan dengan impedansi saluran transmisi. Perubahan nilai W_f akan mempengaruhi kesesuaian impedansi antara saluran transmisi dan *patch* antenna. Nilai W_f yang dipilih yaitu 3,4mm dengan koefisien refleksi sebesar -34,19dB pada frekuensi 9,4GHz dengan *bandwidth* impedansi sebesar 2,28GHz.



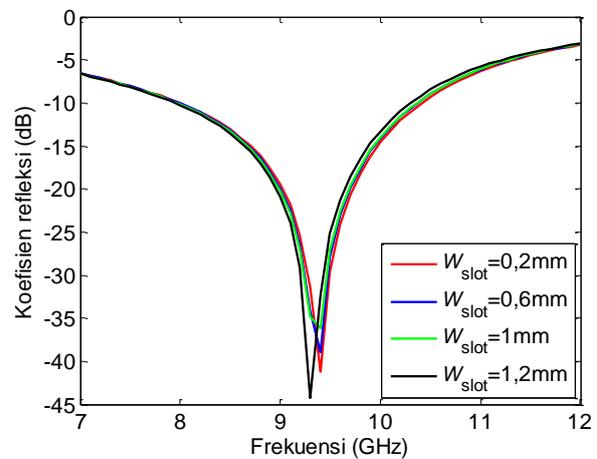
Gambar 6. Pengaruh perubahan lebar saluran transmisi terhadap nilai koefisien refleksi pada antenna tanpa slot



Gambar 7. Pengaruh perubahan panjang slot terhadap nilai koefisien refleksi pada antenna dengan slot

Simulasi antenna mikrostrip dengan slot menggunakan dimensi dari rancangan antenna tanpa slot setelah optimasi. Studi parameter untuk rancangan antenna dengan slot dilakukan dengan mengubah parameter fisik slot, saluran transmisi, dan dimensi *patch*. Parameter fisik pertama yang dioptimasi adalah panjang slot (L_{slot}) antenna. Panjang slot divariasikan mulai dari 1,2mm, 1,8mm, sampai 3mm. Berdasarkan

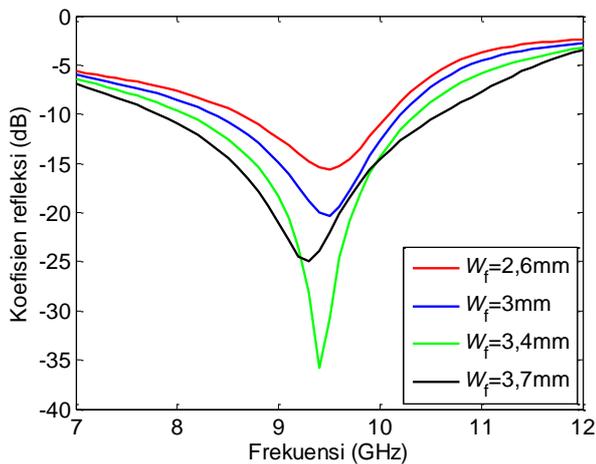
hasil simulasi pada Gambar 7, panjang slot mempengaruhi perpindahan frekuensi antenna. Semakin pendek slot-nya, maka frekuensi berpindah ke frekuensi yang lebih kecil, tetapi semakin panjang slot-nya, maka frekuensi berpindah ke frekuensi yang lebih tinggi. Selain mempengaruhi frekuensi, panjang slot juga mempengaruhi nilai koefisien refleksi dan *bandwidth* yang diperoleh. Panjang slot yang dipilih adalah 1,2mm karena *bandwidth* impedansi yang dihasilkan paling lebar dibandingkan nilai yang lain yaitu 2,42GHz dengan *bandwidth* fraksional sebesar 26,3% serta koefisien refleksi sebesar -41,15dB pada frekuensi 9,4GHz. Setelah mendapatkan ukuran panjang slot, selanjutnya dilakukan perubahan pada lebar slot (W_{slot}) antenna yang divariasikan dengan nilai 0,2mm, 0,6mm, 1mm, dan 1,2mm, seperti yang ditampilkan pada Gambar 8. Semakin lebar slot-nya, maka lebar *bandwidth* yang diperoleh akan semakin kecil. Lebar slot yang digunakan tetap yaitu 0,2mm karena *bandwidth* yang dihasilkan paling lebar dibandingkan nilai lainnya.



Gambar 8. Pengaruh perubahan lebar slot terhadap nilai koefisien refleksi pada antenna dengan slot

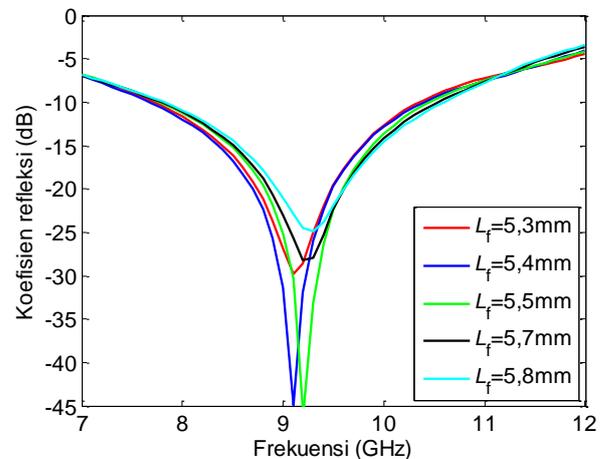
Perubahan parameter fisik yang diamati selanjutnya adalah lebar saluran transmisi (W_f). Lebar saluran transmisi bervariasi dari 2,6mm sampai 3,7mm. Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 9, perubahan lebar saluran transmisi terhadap nilai koefisien refleksi yaitu jika saluran transmisi terlalu lebar, maka nilai koefisien refleksi akan semakin besar. Begitu pula jika lebar saluran transmisi terlalu kecil, maka nilai koefisien refleksi

akan semakin besar. Karena hal tersebut, diperlukan lebar saluran transmisi yang tepat agar nilai koefisien refleksi yang diperoleh dalam kondisi optimal. Oleh karena itu, lebar saluran transmisi yang digunakan yaitu 3,7mm.

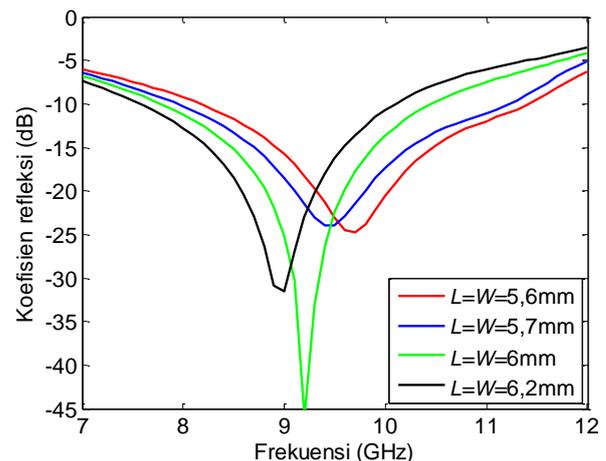


Gambar 9. Pengaruh perubahan lebar saluran transmisi terhadap nilai koefisien refleksi pada antenna dengan slot

Setelah mendapatkan lebar saluran transmisi, selanjutnya dilakukan optimasi pada panjang saluran transmisi (L_f) antenna. Panjang saluran transmisi bervariasi dari 5,3mm, 5,4mm, sampai 5,8mm. Dapat dilihat pada Gambar 10 bahwa panjang saluran transmisi sangat mempengaruhi nilai koefisien refleksi, jika terjadi sedikit saja perubahan pada panjang saluran transmisi, maka nilai koefisien refleksi yang diperoleh antenna akan berubah juga secara signifikan. Namun, untuk *bandwidth* yang diperoleh pada variasi panjang saluran transmisi tidak terjadi perubahan yang signifikan sehingga pada optimasi kali ini lebih mengutamakan nilai koefisien refleksi untuk menentukan panjang saluran transmisi yang digunakan. Oleh karena itu, panjang saluran transmisi yang digunakan yaitu sebesar 5,5mm yang menghasilkan koefisien refleksi sebesar -45,74dB pada frekuensi 9,1GHz dengan *bandwidth* impedansi sebesar 2,67GHz dan *bandwidth* fraksional sebesar 29,3%.



Gambar 10. Pengaruh perubahan panjang saluran transmisi terhadap nilai koefisien refleksi pada antenna dengan slot



Gambar 11. Pengaruh perubahan dimensi patch terhadap nilai koefisien refleksi pada antenna dengan slot

Parameter terakhir yang diamati adalah panjang *patch*. Panjang *patch* bervariasi dari 5,6mm, 5,7mm, sampai 6,2mm. Pada Gambar 11 dapat dilihat dimensi *patch* sangat mempengaruhi frekuensi. Berdasarkan data hasil simulasi dipilih panjang dan lebar *patch* sebesar 5,7mm karena menghasilkan frekuensi resonansi tepat di 9,4GHz. Selain itu, *bandwidth* yang lebar dan nilai koefisien refleksi lebih kecil dari -20dB yang menandakan bahwa koefisien refleksi dari antenna tersebut masih baik. Nilai koefisien refleksi yang diperoleh saat dimensi *patch* sebesar 5,7mm×5,7mm yaitu -24dB pada frekuensi 9,4GHz dengan *bandwidth* impedansi sebesar 3,28GHz dan *bandwidth* fraksional sebesar 34,2%. Dari studi parameter pada masing-

masing parameter fisik antenna yang telah dilakukan didapatkan dimensi akhir antenna mikrostrip dengan slot yang disajikan pada Tabel 2.

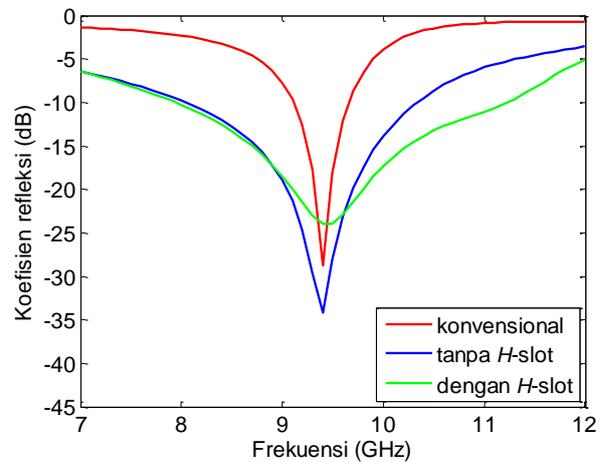
Tabel 2. Dimensi antenna mikrostrip dengan slot setelah optimasi

Parameter fisik	Nilai (mm)
Patch ($L \times W$)	$5,7 \times 5,7$
Substrate ($L_s \times W_s$)	$11,1 \times 11,1$
Groundplane ($L_g \times W_g$)	$11,1 \times 11,1$
Lebar saluran transmisi (W_f)	3,7
Panjang saluran transmisi (L_f)	5,5
Panjang slot (L_{slot})	1,2
Lebar slot (W_{slot})	0,2

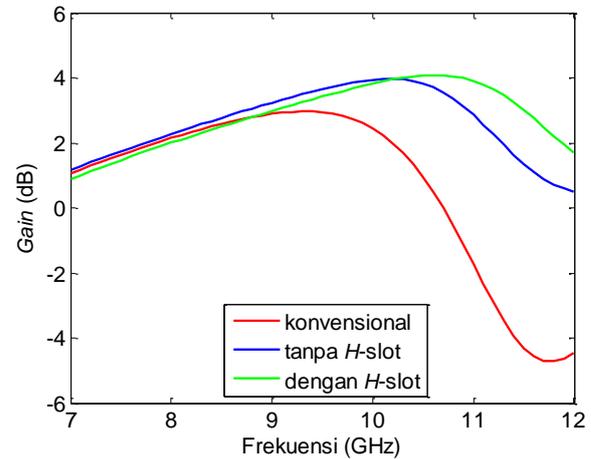
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, karakterisasi antenna dilakukan dengan membandingkan rancangan antenna mikrostrip tanpa slot dan dengan slot yang dicatu dengan teknik *proximity coupling*. Antenna mikrostrip konvensional yang telah disimulasikan juga ditambahkan sebagai referensi untuk mengetahui perubahan parameter antenna terhadap modifikasi yang telah dilakukan. Perbandingan nilai koefisien refleksi hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 12. Antenna mikrostrip dengan slot menunjukkan kinerja yang paling baik dibandingkan rancangan antenna lainnya. *Bandwidth* fraksional dengan penambahan slot mengalami peningkatan sebesar 28,34% dibandingkan antenna mikrostrip konvensional, dan 9,3% dibandingkan antenna tanpa slot.

Penerapan teknik pencatutan dengan *proximity coupling* menyebabkan adanya efek kopling yang terjadi pada saluran transmisi dan patch. Semakin besar efek kopling, maka faktor kualitas akan menurun. Selain itu, penurunan faktor kualitas juga disebabkan karena terjadi kerusakan pada elemen peradiasi sehingga distribusi gelombang mengalami gangguan. Karena faktor kualitas berbanding terbalik dengan *bandwidth*, maka semakin kecil faktor kualitas, *bandwidth* antenna akan menjadi meningkat. Apabila ditinjau dari nilai koefisien refleksi, antenna dengan slot menghasilkan nilai sebesar -24dB dengan VSWR sebesar 1,0757. Dalam hal ini, saluran transmisi dan patch memiliki kesesuaian impedansi yang baik.



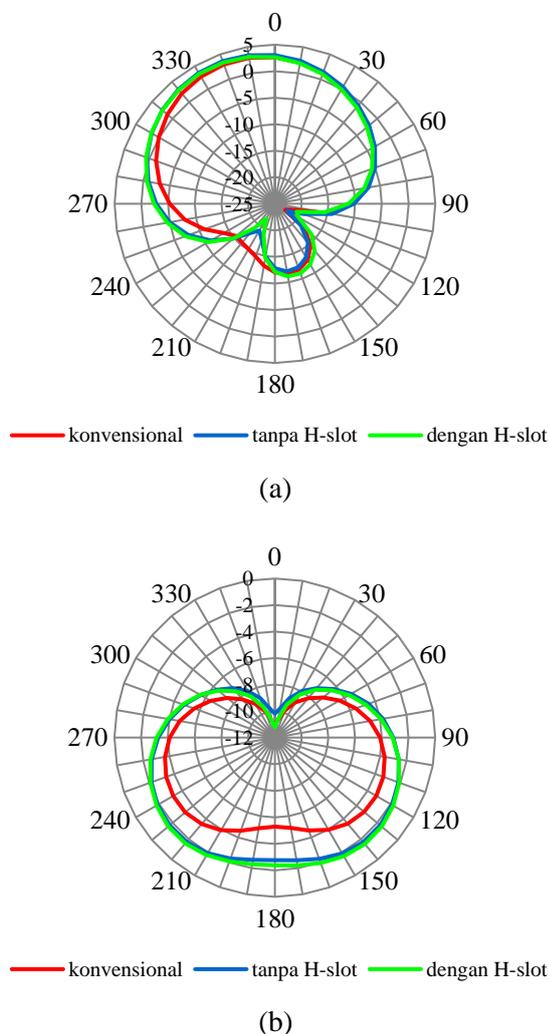
Gambar 12. Perbandingan nilai koefisien refleksi



Gambar 13. Perbandingan nilai gain

Dari perbandingan parameter *gain* yang ditunjukkan pada Gambar 13, antenna mikrostrip konvensional memiliki *gain* terkecil yaitu sebesar 2,96dB pada frekuensi 9,4GHz, sementara antenna mikrostrip dengan slot dan tanpa slot masing-masing memiliki nilai *gain* puncak sebesar 4,08dB pada frekuensi 10,6GHz dan 3,97dB pada frekuensi 10,2GHz. Dalam hal ini terjadi peningkatan *gain* pada antenna dengan slot dibandingkan antenna mikrostrip konvensional. Parameter antenna lainnya yang dikarakterisasi adalah pola radiasi. Pola radiasi antenna pada arah elevasi dan azimuth ditunjukkan pada Gambar 14. Pola radiasi diambil pada frekuensi 9,4GHz sesuai dengan frekuensi resonansi antenna yang diusulkan. Hasil simulasi pola radiasi elevasi dari antenna yang dikarakterisasi memiliki bentuk yang

cenderung sama, dimana intensitas radiasi tidak berada pada arah *broadside*, melainkan pada sudut θ sebesar 337° .



Gambar 14. Perbandingan pola radiasi, (a) arah elevasi, (b) arah azimut

Kinerja beberapa tipe antenna untuk aplikasi pita X yang telah dilaporkan pada [12]-[15] dan antenna yang diusulkan dirangkum dalam Tabel 3 sebagai perbandingan. Rancangan antenna mikrostrip dengan H-slot yang diusulkan memiliki keunggulan pada parameter *bandwidth* fraksional (FBW), sementara untuk *gain* lebih kecil dibandingkan tipe antenna lain dengan elemen tunggal [13]-[14]. Meskipun demikian, rancangan antenna yang diusulkan telah memenuhi kriteria perancangan pada Tabel 1. Untuk sistem yang membutuhkan antenna dengan *gain* tinggi, performansi

antenna dapat ditingkatkan melalui susunan antenna yang terdiri dari dua atau lebih elemen peradiasi yang sejenis.

Tabel 3. Perbandingan kinerja antenna untuk aplikasi pita X

Ref.	Tipe antenna	Jumlah elemen	FBW (%)	Gain Puncak (dB)
[12]	Patch	1×2	29,8	7
[13]	SIW cavity-backed slot*	1	20,8	5,7
[14]	Resonant cavity	1	25,1	13,92
[15]	Fractal slotted array	1×4	~20	12,23
Antenna yang diusulkan	Mikrostrip atau patch	1	34,23	4,08

*) Substrate integrated waveguide (SIW)

V. KESIMPULAN

Perancangan dan simulasi antenna mikrostrip berbentuk persegi dengan penambahan *slot* berbentuk “H” telah dilakukan pada penelitian ini. Rancangan antenna tersebut dicatu dengan teknik pencatutan *proximity coupling* dan mampu menghasilkan *bandwidth* fraksional lebih dari 25% dan koefisien refleksi di bawah -10dB pada frekuensi 9,4GHz. Karakterisasi antenna yang dilakukan menunjukkan peningkatan kinerja yang signifikan untuk parameter *bandwidth* antenna. Berdasarkan hasil yang diperoleh, rancangan antenna dapat direkomendasikan untuk aplikasi SAR pita X.

REFERENSI

- [1] M. I. Skolnik, *Radar Handbook*, 3rd ed., McGraw-Hill, 2008.
- [2] P. Bharath, C. Dharmaraj, and B. Srinu, “Study on the improvement of bandwidth of a rectangular microstrip patch antenna,” *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, vol. 5, no. 5, pp. 16–22, 2013.
- [3] Z. Wang, J. Liu, and Y. Long, “A simple wide-bandwidth and high-gain microstrip patch antenna with both sides shorted,” *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 6,

- pp. 1144-1148, June 2019.
- [4] T. Sarkar, A. Ghosh, L. L. K. Singh, S. Chattopadhyay, and C. Sim, "DGS integrated air loaded wideband microstrip antenna for X and Ku Band," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 19, no. 1, pp. 114-118, 2020.
- [5] N. Gupta, "Effect of slots on microstrip patch antenna," *International Research Journal Engineering and Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 1132-1135, 2017.
- [6] N. K. Darimireddy, R. R. Reddy, and A. M. Prasad, "Design of triple-layer double U-slot patch antenna for wireless applications," *Journal of Applied Research and Technology*, vol. 13, no. 5, pp. 526-534, 2015.
- [7] M. Anthoni, R. S. Asthan, A. Pascawati, D. Maryopi, and M. R. K. Aziz, "Perancangan dan simulasi antena mikrostrip MIMO 4x4 rectangular patch dengan double U-slot dan DGS pada frekuensi 26 GHz untuk aplikasi 5G," *Journal of Science and Applicative Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 371-382, 2021.
- [8] M. T. Islam, M. N. Shakib, and N. Misran, "Broadband E-H shaped microstrip patch antenna for wireless systems," *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 98, pp. 163-173, 2009.
- [9] A. Das, M. N. Mohanty, and R. K. Mishra, "Optimized design of H-slot antenna for bandwidth improvement," in *Proceeding 2015 IEEE Power, Communication and Information Technology Conference (PCITC)*, 2015, pp. 563-567.
- [10] C. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [11] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [12] S. Jam and H. Malekpoor, "Analysis on wideband patch arrays using unequal arms with equivalent circuit model in X-band," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 1861-1864, 2016.
- [13] Q. Wu, J. Yin, C. Yu, H. Wang, and W. Hong, "Broadband planar SIW cavity-backed slot antennas aided by unbalanced shorting vias," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 2, pp. 363-367, Feb. 2019.
- [14] F. Meng and S. K. Sharma, "A wideband resonant cavity antenna with compact partially reflective surface," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 68, no. 2, pp. 1155-1160, Feb. 2020.
- [15] S. Chatterjee, A. Majumder, R. Ghatak and D. R. Poddar, "Wide impedance and pattern bandwidth realization using fractal slotted array antenna," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 8, pp. 4049-4056, Aug. 2014.