

ANALISA PENENTUAN UKURAN SLOT PADA KARATERISTIK ANTENA MIKROSTRIP *PATCH* SEGIEMPAT DENGAN PENCATU *APERTURE COUPLED*

Hisar Fransco Sidauruk, Ali Hanafiah Rambe

Konsentrasi Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: hisarsidauruk@yahoo.co.id

Abstrak

Antena mikrostrip dengan pencatuan *aperture coupled* memiliki dua lapisan substrat yang terpisahkan dari *ground plane*. Substrat berfungsi sebagai bahan dielektrik dari antena mikrostrip yang membatasi peradiasi dan pentanahan. *Slot* merupakan suatu celah yang berada didalam *groundplane* dan tegak lurus terhadap saluran mikrostrip, medan radiasi dihasilkan oleh saluran pencatu terhadap celah yang berada pada bidang *groundplane*. Tulisan ini membahas tentang analisis penentuan ukuran *slot (aperture)* terhadap karakteristik antena mikrostrip *patch* segiempat dengan pencatu *aperture coupled*. Adapun pembahasan yang akan dianalisis adalah panjang dan lebar ukuran *slot, gain, bandwidth*, dan VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*). Semakin besar ukuran *slot* maka frekuensi resonansi akan semakin kecil. Pada ukuran slot $0,1\lambda$ (12.2x1.22mm) diperoleh nilai VSWR sebesar 6.762 dengan frekuensi resonansi 2.203 GHz, *Return Loss* sebesar 0.74179 dengan frekuensi resonansi 2.2 GHz, pola radiasi *unidireksional* dan *gain* sebesar 5.021 dB.

Kata kunci : *slot, aperture coupled, antena mikrostrip.*

1. Pendahuluan

Antena mikrostrip adalah suatu konduktor metal yang menempel diatas *ground plane* yang diantaranya terdapat bahan dielektrik. Antena mikrostrip merupakan antena yang memiliki massa ringan, mudah untuk dipabrikasi, dengan sifatnya yang konformal sehingga dapat ditempatkan pada hampir semua jenis permukaan dan ukurannya kecil dibandingkan dengan antena jenis lain.

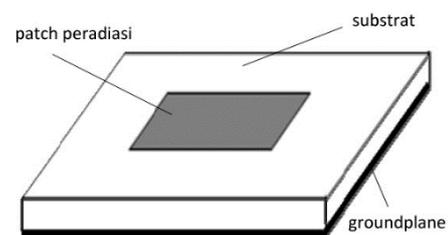
Slot pada antena mikrostrip mempunyai kelebihan yaitu menghasilkan pola radiasi yang memancar pada satu arah (*unidirectional*) dan dua arah (*bidirectional*) dengan lebar pita yang lebar. Selain itu bahwa *slot* antena dalam hal pabrikan lebih mudah pembuatannya. *Slot* merupakan suatu celah yang berada didalam *groundplane* dan tegak lurus terhadap saluran mikrostrip, medan radiasi dihasilkan oleh saluran pencatu terhadap celah yang berada pada bidang *groundplane*.

Pada tulisan ini dianalisis pengaruh ukuran *slot (aperture)* terhadap karakteristik antena mikrostrip *patch* segiempat dengan pencatu *aperture coupled*. Adapun pembahasan yang akan dianalisis adalah panjang dan lebar ukuran *slot, gain, bandwidth*, dan VSWR (*Voltage Standing Wave Ratio*).

2. Antena Mikrostrip

Antena mikrostrip mempunyai struktur yang terdiri dari 3 lapisan [1] seperti yang diperlihatkan pada Gambar 1, yaitu :

- Patch* bagian yang terletak paling atas dari antena dan terbuat dari bahan konduktor ini berfungsi untuk meradiasikan gelombang elektromagnetik ke udara. *Patch* dapat berbentuk lingkaran, persegi panjang, dan segitiga.
- Substrat* berfungsi sebagai media penyalur gelombang elektromagnetik dari sistem pencatuan. Karakteristik *substrat* sangat berpengaruh pada besar parameter parameter antena. Ketebalan substrat berpengaruh pada *bandwidth* dari antena.
- Groundplane* yaitu lapisan paling bawah yang berfungsi sebagai reflektor yang memantulkan sinyal yang tidak diinginkan.



Gambar 1 Antena Mikrostrip

Gambar 1 memperlihatkan struktur dasar dari antenna mikrostrip yang tersusun atas *patch*, *substrat* dan *groundplane* [2].

2.1. Parameter Umum Antena

Mikrostrip

Unjuk kerja (*performance*) dari suatu antenna mikrostrip dapat diamati dari parameternya. Beberapa parameter utama dari sebuah antenna mikrostrip akan dijelaskan sebagai berikut :

2.1.1. Dimensi Antena

Untuk mencari dimensi antenna mikrostrip (W dan L), harus diketahui dahulu parameter bahan yang digunakan yaitu tebal dielektrik (h), konstanta dielektrik (ϵ_r), tebal konduktor (t), dan rugi-rugi bahan. Panjang antenna mikrostrip harus disesuaikan, karena apabila terlalu pendek maka *bandwith* akan sempit sedangkan apabila terlalu panjang *bandwith* akan menjadi lebih lebar tetapi efisiensi radiasi akan menjadi kecil. Dengan mengatur lebar dari antenna mikrostrip impedansi input akan juga berbeda. Pendekatan yang digunakan untuk mencari panjang dan lebar antenna mikrostrip dapat menggunakan persamaan [3][4] :

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

Dimana : W = lebar konduktor
 ϵ_r = konstanta dielektrik
 c = kecepatan cahaya di ruang bebas (3×10^8 m/s)
 fr = frekuensi kerja antenna

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 :

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{\text{reff}}+0.3)\left(\frac{W_p}{hp}+0.264\right)}{(\epsilon_{\text{reff}}-0.258)\left(\frac{W_p}{hp}+0.8\right)} \quad (2)$$

Dimana h merupakan tinggi substrat atau tebal substrat, dan ϵ_{reff} adalah konstanta dielektrik *relative* yang dirumuskan sebagai berikut :

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{\epsilon_r+1}{2} + \frac{\epsilon_r-1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1+12\frac{h}{w}}} \right) \quad (3)$$

Dan panjang *patch* (L) dirumuskan oleh :

$$L = L_{\text{eff}} - 2 \Delta L \quad (4)$$

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

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}} \quad (5)$$

2.1.2. Bandwidth

Bandwidth suatu antenna didefinisikan sebagai rentang frekuensi kerja dari suatu antenna. Nilai *bandwidth* dapat diketahui apabila nilai frekuensi bawah dan frekuensi atas dari suatu antenna telah diketahui. Frekuensi bawah adalah nilai frekuensi awal dari frekuensi kerja antenna, sedangkan frekuensi atas merupakan nilai nilai frekuensi akhir dari frekuensi kerja antenna. *Bandwidth* dapat dicari dengan menggunakan rumus berikut ini [5]:

$$BW = \frac{f_2-f_1}{f_c} \times 100\% \quad (6)$$

dimana : f_2 = frekuensi atas (Hz)
 f_1 = frekuensi bawah (Hz)
 f_c = frekuensi tengah (Hz)

2.2. VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

VSWR adalah perbandingan antara amplitudo gelombang berdiri (*standing wave*) maksimum ($|V|_{\text{max}}$) dengan minimum ($|V|_{\text{min}}$). Pada saluran transmisi ada dua komponen gelombang tegangan, yaitu tegangan yang dikirimkan (V_0^+) dan tegangan yang direfleksikan (V_0^-). Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ) [6]:

$$\Gamma = \frac{V_0^-}{V_0^+} = \frac{ZL-Z_0}{ZL+Z_0} \quad (7)$$

Dimana ZL adalah impedansi beban (load) dan Z_0 adalah impedansi saluran *lossless*. Sedangkan rumus untuk mencari nilai VSWR adalah :

$$S = \frac{|V|_{\text{max}}}{|V|_{\text{min}}} = \frac{1+|\Gamma|}{1-|\Gamma|} \quad (8)$$

Kondisi yang paling baik adalah ketika VSWR bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Pada umumnya nilai VSWR yang dianggap masih baik adalah $VSWR \leq 2$.

2.3. Pola Radiasi

Pola radiasi dapat diartikan sebagai fungsi matematis atau representasi grafis karakteristik radiasi antenna dalam bentuk fungsi koordinat ruang. Sifat radiasi tersebut meliputi kerapatan flux, intensitas radiasi, kuat medan, atau polarisasi.

2.4. Gain antenna

Gain dari sebuah antenna dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara intensitas radiasi suatu antenna pada suatu arah utama dengan intensitas radiasi dari antenna isotropik yang menggunakan sumber daya masukan yang sama, dan dapat dirumuskan sebagai berikut [7]:

$$G = D \cdot \eta \quad (9)$$

dimana: D = directivity antenna
 η = efisiensi antenna

Ada dua jenis parameter penguatan (*Gain*) yaitu *absolute gain* dan *relative gain*. *Absolute gain* pada sebuah 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 rumus:

$$\text{Gain} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}} \quad (10)$$

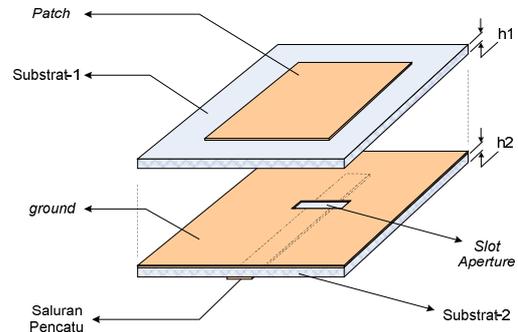
Selain *absolute gain* juga ada *relative gain*. *Relative gain* didifeinisikan sebagai perbandingan antara perolehan daya pada sebuah arah dengan perolehan daya pada antenna referensi pada arah yang direferensikan juga. Daya masukan harus sama di antara kedua antenna itu. Akan tetapi, antenna referensi merupakan sumber *isotropik* yang *lossless* ($P_{in}(\text{lossless})$). Secara rumus dapat dihubungkan sebagai berikut:

$$\text{Gain} = 4\pi \frac{U(\theta, \phi)}{P_{in}(\text{lossless})} \quad (11)$$

2.5. Teknik Pencatuan *Aperture Coupled*

Teknik pencatuan pada antenna mikrostrip merupakan teknik untuk mentransmisikan energi elektromagnetik ke antenna mikrostrip. Untuk kebutuhan mendapatkan *bandwith* yang lebar, salah satu teknik yang dapat dilakukan adalah dengan teknik pencatuan *aperture coupled*. Ada beberapa keuntungan yang diperoleh bila menggunakan penggandengan celah (*aperture coupled*), antara lain adalah *bandwidth* lebih lebar dan mempunyai tingkat osilasi antara antenna dan saluran transmisi yang lebih baik. Dengan teknik pencatuan ini, memungkinkan antenna mikrostrip dan saluran transmisi dioptimasi secara terpisah dengan

menggunakan bahan substrat yang berbeda. Arsitektur teknik pencatuan ini ditunjukkan pada Gambar 2 [8]:



Gambar 2. Teknik Pencatuan *Aperture Coupled*

Untuk menentukan dimensi *slot aperture* dari teknik pencatuan ini dapat digunakan Persamaan (12) dan (13) [9].

Panjang *slot aperture* (L_a) dapat diperoleh sekitar :

$$L_a \sim (0.2 - 0.3) \lambda_0 \quad (12)$$

Lebar *slot aperture* (W_a) :

$$W_a = 0.1 L_a \quad (13)$$

2.6. Perhitungan Lebar Saluran Mikrostrip (*Microstrip Line*)

Lebar saluran mikrostrip (W) tergantung dari besarnya impedansi karakteristik (Z_0) yang diinginkan. Adapun rumus untuk menghitung lebar saluran mikrostrip diberikan oleh persamaan 14 [9]:

$$W = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left[\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r} \right] \right\} \quad (14)$$

Dengan ϵ_r adalah konstanta dielektrik relatif dan B :

$$B = \frac{60\pi^2}{Z_0 \sqrt{\epsilon_r}} \quad (15)$$

Dimana B adalah besarnya impedansi pada saluran.

3. Perancangan Antena

Antena mikrostrip *patch* segi empat elemen tunggal yang dirancang menggunakan pencatuan *aperture coupled*. Antena ini akan bekerja pada *range* frekuensi 2.4-2.5 GHz. Pada perancangan ini akan dilihat pengaruh dari perbedaan panjang *slot* yang digunakan. Adapun *range* panjang *slot* yang digunakan adalah sebesar $0.11\lambda_0 - 0.22\lambda_0$. Dari nilai

panjang *slot* yang digunakan akan dipilih panjang *slot* yang terbaik untuk mendapatkan nilai VSWR dan *gain* yang terbaik. Antena ini akan dirancang dan disimulasikan dengan perangkat lunak AWR *Microwave Office 2004*.

Pada perancangan suatu antena hal yang terpenting yang harus kita lakukan adalah menentukan parameter-parameter antena yang digunakan. Parameter yang diasumsikan digunakan pada perancangan antena ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Perancangan

Frekuensi Kerja	2,45 GHz
Jenis Substrat	FR4 (evoksi)
Konstanta Dielektrik Relatif (ϵ_r)	4,4
Dielectric Loss Tangen ($\tan \delta$)	0,02
Ketebalan Substrat (h)	1,6 mm

Dari parameter-parameter yang terdapat pada Tabel 1 dapat digunakan untuk mencari dimensi antena mikrostrip *patch* segi empat elemen tunggal dan panjang saluran pencatu yang akan digunakan.

3.1. Perhitungan Ukuran *Patch* Antena

Dalam merancang sebuah antena mikrostrip ada beberapa parameter yang harus dihitung terlebih dahulu:

3.1.1. Menentukan panjang gelombang dari antena yang dapat dibuat

$$\lambda_0 = \frac{c}{f}$$

$$\lambda_0 = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2,45 \times 10^9 \text{ Hz}}$$

$$= 122,45 \text{ mm}$$

Di mana:

$$\lambda_0 = \text{panjang gelombang (mm)}$$

$$c = \text{kecepatan cahaya (m/s)}$$

$$f = \text{frekuensi (Hz)}$$

3.1.2. Menentukan lebar *patch*

Dalam menentukan ukuran dari *patch* antena yang akan dirancang, terlebih dahulu ditentukan spesifikasi parameter yang akan digunakan. Adapun parameter yang digunakan seperti yang tampak pada Tabel 1. Untuk menghitung lebar *patch* digunakan persamaan

$$W = \frac{c}{2fr\sqrt{\frac{\epsilon_r+1}{2}}}$$

$$= \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{2 \times 2,45 \cdot 10^9 \text{ Hz} \sqrt{\frac{4,4+1}{2}}}$$

$$= 0,0373$$

$$= 37,3 \text{ mm}$$

3.1.3 Menentukan panjang *patch*

Dengan menggunakan Persamaan (2) hingga (5), panjang *patch* dapat ditentukan sebagai berikut:

$$L = L_{\text{eff}} - 2 \Delta L$$

Di mana:

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}}$$

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

$$\epsilon_{\text{reff}} = \frac{4,4+1}{2} + \frac{4,4-1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1+12(1,6)/37,3}} \right)$$

$$= 4.08$$

$$L_{\text{eff}} = \frac{c}{2fr\sqrt{\epsilon_{\text{reff}}}}$$

$$L_{\text{eff}} = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 2,45 \cdot 10^9 \sqrt{4.08}}$$

$$= 0,0303 \text{ m}$$

$$= 30,3 \text{ mm}$$

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{\text{reff}}+0,3) + \left(\frac{W}{h} + 0,264\right)}{(\epsilon_{\text{reff}}-0,258) + \left(\frac{W}{h} + 0,8\right)}$$

$$\Delta L = 0,412 \times 1,6 \frac{(4.08+0,3) + \left(\frac{37,3}{1,6} + 0,264\right)}{(4.08-0,258) + \left(\frac{37,3}{1,6} + 0,8\right)}$$

$$= 0,6592 \text{ mm}$$

$$L = L_{\text{eff}} - 2\Delta L$$

$$= 30,3 - (2 \times 0,6592)$$

$$= 29 \text{ mm}$$

3.2. Perhitungan Ukuran *Slot*

Pencatuan dengan menggunakan *aperture coupled* memiliki beberapa parameter yang dapat menentukan pengkopelan dari saluran pencatu ke *patch* diantaranya bentuk *slot*, ukuran *slot*, dan lokasi penempatannya. Pada tulisan ini akan dirancang beberapa antena mikrostrip elemen tunggal yang memiliki panjang dengan *range* $0.1\lambda_0 - 0.4\lambda_0$.

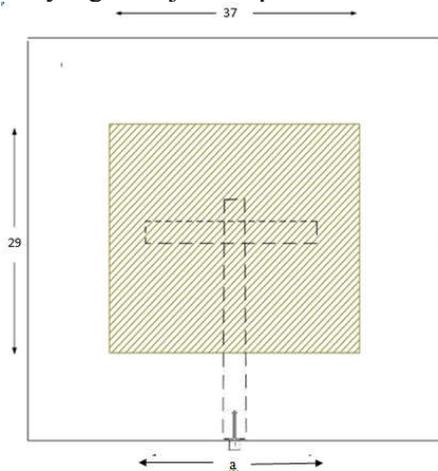
3.3. Perhitungan Ukuran *Slot* Saluran pencatu

Saluran pencatu yang digunakan dalam perancangan sebaiknya mempunyai atau mendekati impedansi masukan sebesar 50Ω . Untuk mendapatkan nilai impedansi yang diharapkan dilakukan pengaturan lebar dari

saluran pencatu dengan menggunakan Persamaan (14) dan (15).

3.4. Hasil Perancangan

Dari data yang diperoleh pada sub bab sebelumnya dapat dirancang antenna mikrostrip elemen tunggal. Adapun bentuk antenna mikrostrip elemen tunggal yang akan dirancang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Antena Mikrostrip Elemen Tunggal Yang Akan Dirancang

4. Hasil dan Analisa

Parameter yang digunakan untuk menganalisis penentuan ukuran slot terhadap karakteristik antenna mikrostrip patch segiempat dengan pencatuan *aperture coupled*. Adapun parameter yang akan dianalisis adalah *Return Loss*, *VSWR*, *gain*, dan pola radiasi.

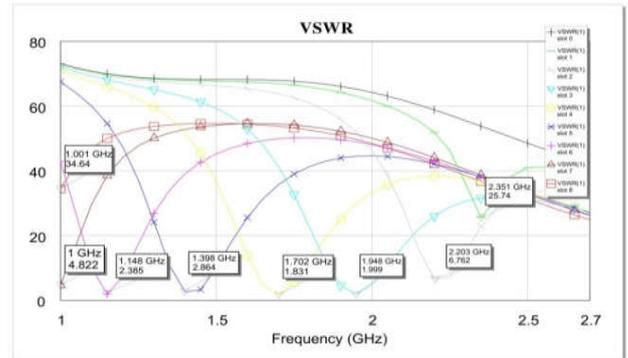
Berdasarkan Persamaan (12), bahwa panjang slot berkisar $0.2\lambda - 0.3\lambda$ dan berdasarkan persamaan 2.13, lebar slot adalah $0.1 L_a$, dimana L_a adalah panjang slot. Pada analisis ini, panjang slot yang akan diamati adalah $0.1\lambda - 0.4\lambda$, dimana λ adalah 122.45 mm. Adapun ukuran slot yang akan dianalisis dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Ukuran Slot

Panjang Slot (mm)	Lebar Slot (mm)
0	0
$0.05\lambda = 6.12$	$0.10 \times 6.12 = 0.612$
$0.1\lambda = 12.2$	$0.10 \times 12.23 = 1.22$
$0.15\lambda = 18.4$	$0.10 \times 18.37 = 1.84$
$0.2\lambda = 24.5$	$0.10 \times 24.5 = 2.45$
$0.25\lambda = 30.6$	$0.10 \times 30.61 = 3.06$
$0.3\lambda = 36.7$	$0.10 \times 36.74 = 3.67$
$0.35\lambda = 42.9$	$0.10 \times 42.86 = 4.29$
$0.4\lambda = 49$	$0.10 \times 49 = 4.9$

4.1. Analisa Pengaruh Ukuran Slot Terhadap VSWR

Berdasarkan variasi ukuran slot yang akan ditentukan pada Tabel 2 diperoleh grafik VSWR seperti diperlihatkan pada Gambar 4.

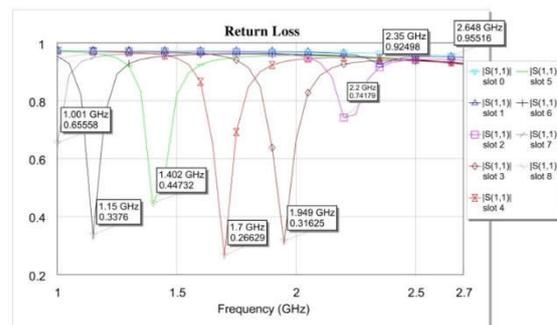


Gambar 4. VSWR

Dari Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran slot maka frekuensi resonansi semakin rendah. Pada ukuran slot $0,1\lambda$ ($12.2 \times 1.22 \text{ mm}$) diperoleh frekuensi resonansi sebesar 2.203 GHz. Semakin besar ukuran slot maka nilai VSWR semakin baik. Pada ukuran slot $0,1\lambda$ ($12.2 \times 1.22 \text{ mm}$) nilai VSWR yang dicapai adalah 6.762.

4.2. Analisis Penentuan Ukuran Terhadap Return Loss

Berdasarkan variasi ukuran slot yang akan ditentukan pada Tabel 2 akan diperoleh grafik *Return Loss* seperti diperlihatkan pada Gambar 5.

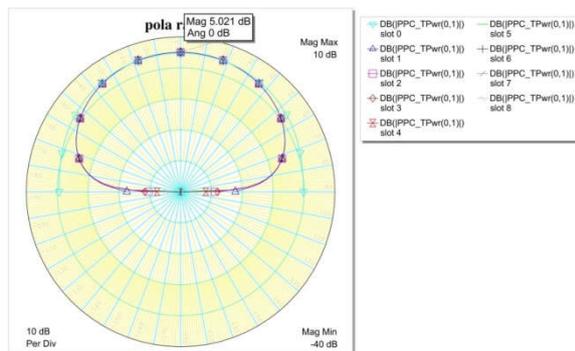


Gambar 5. Return Loss

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa semakin besar ukuran slot maka frekuensi resonansi semakin rendah. Pada ukuran slot $0,1\lambda$ ($12.2 \times 1.22 \text{ mm}$) diperoleh frekuensi resonansi sebesar 2.2 GHz. Semakin besar ukuran slot maka nilai *return loss* semakin baik. Pada ukuran slot $0,1\lambda$ ($12.2 \times 1.22 \text{ mm}$) nilai *Return Loss* yang dicapai adalah 0.74179.

4.3. Analisis Penentuan Ukuran Slot Terhadap Gain dan Pola Radiasi

Berdasarkan variasi ukuran *slot* yang akan ditentukan pada Tabel 2 diperoleh grafik *Gain* dan Pola Radiasi seperti diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Gain* dan Pola Radisasi

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa perubahan ukuran *slot* tidak mempengaruhi pola radiasi dan gain. Pada ukuran *slot* $0,1\lambda$ ($12.2 \times 1.22 \text{ mm}$) dapat dilihat bahwa gain mencapai 5.021 dB dengan pola radiasi *unidireksional*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Semakin besar ukuran *slot* maka frekuensi resonansi semakin rendah.
2. Nilai VSWR yang terbaik dihasilkan oleh *slot* 0.1 sebesar 6.762 dengan frekuensi resonansi 2.203 GHz.
3. Nilai *Return Loss* yang terbaik dihasilkan oleh *slot* $0,1\lambda$ ($12.2 \times 1.22 \text{ mm}$) sebesar 0.74179 dengan frekuensi resonansi 2.2 GHz.
4. Perubahan ukuran *slot* tidak mempengaruhi pola radiasi dan *gain*.
5. *Slot* $0,1\lambda$ ($12.2 \times 1.22 \text{ mm}$) memiliki pola radiasi *unidireksional* dan nilai *gain* sebesar 5.021 dB.

Daftar Pustaka

- [1] Dwee, 20 Mei 2011, *Aplikasi Substrat Alumina Pada Antena Mikrostrip Patch Persegi Untuk Komunikasi Bergerak Pada Frekuensi (3,3 -3,4) GHz*.
- [2] Yong, Daniel, 2008, *UHF Microstrip Antena Design and Simulation*, first edition, Sim University Press, hal 3-10.
- [3] Constantine A. Balanis. 1997. *Antenna Theory : Analysis and Design*, USA, Jhon Willy and Sons, hal 28-64.
- [4] Ramesh Garg, Et Al.2001.*Microstrip Design Handbook* Norwood, Artech House, hal 263- 268.
- [5] Surjati, Indra. 2010. *Antena Mikrostrip: Konsep dan Aplikasinya*. Jakarta, Universitas Trisakti. hal 1.
- [6] Zarreen Aijaz dan S.C.Shivastava. *Double Slot Coupled Microstrip Antenna*, International Journal of Engineering Research and Aplication (IJERA), ISSN : 2248-9622, vol. 1, hal : 219-225
- [7] James JR dan Hall Ps. 1989. *Handbook of Microstrip Antenna*. First edition, Peter Peregrius Ltd, hal 1-17.
- [8] Fahrazal, Muhammad. *Rancang Bangun Antena Mikrostrip Triple-Band Linier Array 4 Elemen Untuk Aplikasi WIMAX*, hal 36-40.
- [9] Adel Bedair Abdel-Mooty Abdel-Rahman, *Design and Development of High Gain Wideband Microstrip Antenna and DGS Filters Using Numerical Experimentation Approach*, Disertasi, University Magdeburg, 2005.