

Analisis dan Desain Antena Mikrostrip untuk Komunikasi Satelit pada Frekuensi Ka-Band

Fariany Rizqa*, Dharu Arseno, Trasma Yunita

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

*email: farianyrizqa24@gmail.com

Abstract

Satellite technology is a telecommunications technology where the satellite is a communication device placed in space and requires the allocation of the frequency spectrum for telecommunications services. The most widely used frequencies for satellite communication are the C-Band frequency (4 GHz to 8 GHz) and the Ku-Band frequency (12 GHz to 18 GHz). Also, Ka-Band frequency (26,5 GHz to 40 GHz) is the center of attention in the telecommunications industry nowadays because it has a large enough bandwidth to accommodate more service capacity. In this article, a microstrip antenna with a rectangular patch of four elements (array 2x2) has been designed using line feed rationing techniques that work at a frequency of 29,25 GHz (Ka-Band) for satellite communication. An appropriate antenna dimension is required so that the antenna can work and has a good performance at the expected frequency. Simulation results show a return loss value of -43,052 dB, VSWR is worth 1,014 with a bandwidth of 2,728 GHz. In addition, the resulting gain value is 7,823 dB with directional radiation patterns and ellipse polarization.

Keywords — Microstrip Antenna, Array, Satellite Communication, Ka-Band

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi menyebabkan kebutuhan informasi terus meningkat, sehingga perlu adanya akses informasi yang dapat menjangkau wilayah luas. Maka dari itu, perlu adanya teknologi yang dapat menghantarkan sinyal komunikasi tanpa terhalang *obstacle* salah satunya adalah teknologi satelit[1]. Satelit merupakan suatu perangkat komunikasi yang ditempatkan diluar angkasa. Satelit memiliki fungsi yaitu sebagai penerus sinyal *microwave* atau *repeater* sehingga memungkinkan untuk sejumlah pengguna layanan telekomunikasi dapat saling bertukar informasi selama perangkat pelanggan terhubung dengan stasiun bumi[2]. Di antara beberapa frekuensi yang tersedia, frekuensi C-Band dengan rentang 4 GHz hingga 8 GHz dan Ku-Band dengan rentang 12 GHz hingga 18 GHz adalah frekuensi yang paling banyak digunakan untuk komunikasi satelit. Untuk kalangan industri telekomunikasi, frekuensi Ka-Band menjadi pusat perhatian saat ini. Dimana Frekuensi Ka-Band memiliki rentang 26,5 GHz hingga 40 GHz.

Kelebihan dari frekuensi Ka-Band adalah memiliki *bandwidth* yang cukup besar sehingga dapat menampung kapasitas layanan lebih banyak[3]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa frekuensi Ka-Band merupakan solusi yang dihadapi pada komunikasi satelit. Peningkatan suatu frekuensi akan menghasilkan kapasitas *bandwidth* menjadi lebih besar dan lebar[4]. Pada artikel ini merancang dan mendesain antena mikrostrip pada *antenna design software* dengan *patch rectangular* yang berjumlah empat (*array 2x2*) elemen dengan frekuensi sebesar 29,25 GHz yang dapat bekerja pada frekuensi Ka-Band untuk mendukung penggunaan komunikasi satelit.

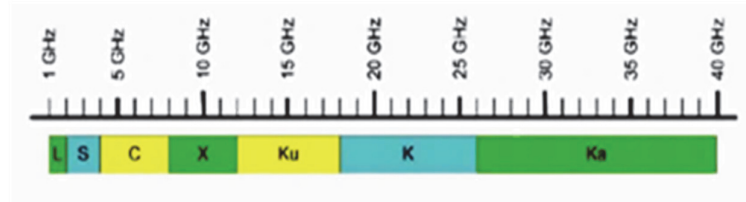
2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Komunikasi Satelit

Teknologi satelit merupakan salah satu teknologi telekomunikasi nirkabel selain sistem komunikasi seluler. Teknologi satelit diharapkan mampu menjangkau wilayah yang luas walaupun terdapat perbukitan, pegunungan ataupun hutan dimana wilayah tersebut sulit dijangkau dengan telekomunikasi kabel atau *wired* maupun teknologi seluler. Satelit mengorbit pada bumi dikategorikan menjadi beberapa macam klasifikasi yaitu GEO (*Geostationery Earth Orbit*), MEO (*Medium Earth Orbit*), dan LEO (*Low Earth Orbit*)[5]. Teknologi satelit dapat memberikan beberapa layanan seperti televise, siaran radio, koneksi untuk jaringan telepon, penerbangan, dan lainnya.

2.2 Frekuensi Ka-Band

Teknologi satelit membutuhkan alokasi spektrum frekuensi untuk mengadakan layanan komunikasi. Topik yang menjadi perhatian di kalangan industri telekomunikasi saat ini adalah frekuensi Ka-Band yang memiliki rentang dari 26,5 GHz hingga 40 GHz dengan frekuensi *uplink* sebesar 27,5 GHz hingga 31 GHz. Ka-Band memiliki *bandwidth* lebih besar yang dapat menampung kapasitas layanan lebih banyak[3]. Ka-Band merupakan salah satu rentang frekuensi yang digunakan untuk komunikasi satelit yang berada pada rentang frekuensi diatas 10 GHz. Pita frekuensi untuk komunikasi satelit ditunjukkan pada Gambar 1.



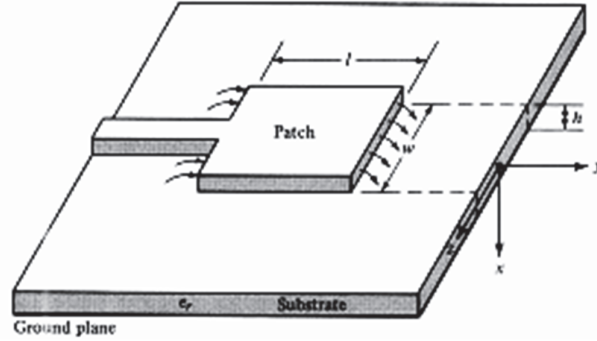
Gambar 1. Pita Frekuensi untuk Komunikasi Satelit[1].

2.3 Antena

Berdasarkan IEEE *Standard Definitions of Term for Antenna*, antena adalah perangkat yang dapat mengirim dan menerima gelombang radio[6]. Dapat diartikan juga sebagai konduktor elektrik yang baik digunakan untuk meradiasikan energi elektromagnetik. Antena dapat mengubah sinyal-sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik dan memancarkan ke udara bebas ataupun sebaliknya. Biasanya antena terbuat dari logam berbentuk batang ataupun kawat dan memiliki fungsi untuk memancarkan ataupun menerima gelombang[7].

2.4 Antena Mikrostrip Rectangular

Antena mikrostrip merupakan antena yang populer saat ini karena biayanya yang murah, ukurannya kecil, dan mudah difabrikasi. Selain itu, antena mikrostrip mudah dalam penyesuaian frekuensi resonansi, impedansi *input*, polarisasi, dan pola radiasi. Antena mikrostrip memiliki komponen *ground plane* yang terbuat dari *copper* berada di lapisan paling bawah yang berfungsi sebagai pemantul sempurna. *Substrate* di atasnya memiliki konstanta dielektrik (ϵ_r), dan tebal *substrate* (h). Desain Antena Mikrostrip *Rectangular* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.

Gambar 2. Desain Antena Mikrostrip *Rectangular*[9].

Ada pula *patch* terletak paling atas yang berfungsi sebagai radiator yang memiliki bentuk yaitu *rectangular*, *square*, *circular*, dan lainnya[8]. Bentuk *Patch rectangular* mudah untuk dilakukan analisis dan paling akurat untuk *substrate* yang tipis[6]. Ukuran dimensi antena mikrostrip dapat dicari melalui perhitungan dari rumus yang telah disederhanakan.

Untuk menentukan ukuran dimensi antena, dapat menggunakan persamaan berikut:

- a. Lebar *patch* (Wp)

$$Wp = \frac{c}{2f} \sqrt{\frac{2}{\epsilon r + 1}} \quad (1)$$

- b. Panjang *patch* (Lp)

$$L_{eff} = \frac{c}{2f \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (2)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon r + 1}{2} + \frac{\epsilon r - 1}{2} \left[\frac{1}{\sqrt{1 + \frac{12h}{Wp}}} \right] \quad (3)$$

$$\Delta L = 0,412h \frac{(\epsilon_{eff} + 0,3) \left(\frac{Wp}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0,258) \left(\frac{Wp}{h} + 0,8 \right)} \quad (4)$$

$$Lp = L_{eff} - 2\Delta L \quad (5)$$

2.5 Teknik Pencatuan

Salah satu teknik pencatuan antena mikrostrip adalah line feed. Bahan yang digunakan line feed sama seperti bahan yang digunakan pada patch[8]. Spesifikasi yang harus ditentukan dari line feed adalah impedansi karakteristik (Z_0) yang dapat memperlebar microstrip line feed. Berikut persamaan-persamaan untuk menentukan ukuran dimensi line feed dengan Z_0 sebesar 50Ω , 70.7Ω , dan 100Ω .

- a. Lebar *line feed* (Wf)

$$B = \frac{377\pi}{2xZ_0x\sqrt{\epsilon r}} \quad (6)$$

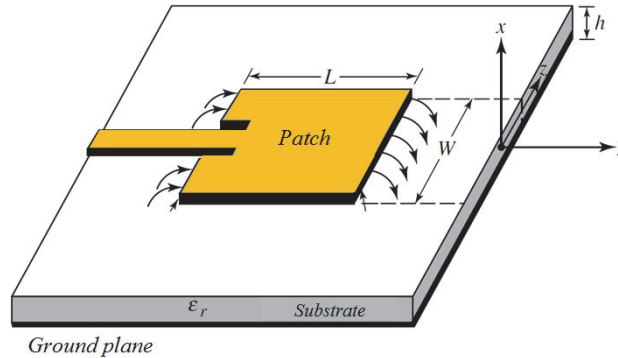
$$Wf = \frac{2h}{\pi} \left\{ B - 1 - \ln(2B - 1) + \frac{\epsilon r - 1}{2\epsilon r} \left[\ln(B - 1) + 0,39 - \frac{0,61}{\epsilon r} \right] \right\} \quad (7)$$

b. Panjang *line feed* (L_f)

$$\lambda_o = \frac{c}{f} \quad (8)$$

$$G_1 = \frac{1}{90} \left[\frac{Wp}{\lambda_o} \right]^2 \quad (9)$$

$$R_{in}(y = y_o) = \frac{1}{2G_1} \cos^2 \left(\frac{\pi}{Lp} xLf \right) \quad (10)$$



Gambar 3. Antena Mikrostrip dengan *Inset Feed*[10].

Penggunaan inset feed sebagaimana Gambar 3 bertujuan untuk mempermudah dalam pengontrolan impedansi input pada antena mikrostrip dengan memperhatikan lebar inset feed (x_o) dan panjang inset feed (y_o) sebesar 1 mm. Rumus yang digunakan untuk menentukan ukuran (x_o) yaitu sebagai berikut:

$$x_o = \frac{Lp}{\pi} v o s^{-1} \sqrt{\frac{z_o}{R_{in}}} \quad (11)$$

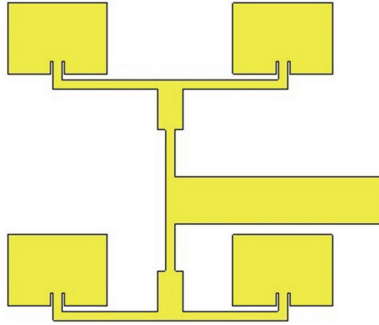
$$Wg = 6h + Wp \quad (12)$$

$$Lg = 6h + Lp \quad (13)$$

Sedangkan untuk menentukan lebar ground plane (Wg) dan panjang ground plane (Lg) dapat menggunakan persamaan (12) dan persamaan (13).

2.6 Antena Susun (*Array*)

Antena array adalah antena susunan dari beberapa antena yang identik pada bagian patch. Salah satu tujuan pembuatan array yaitu untuk meningkatkan nilai gain antena. Umumnya pada antena satu elemen memiliki pola radiasi yang lebar tetapi menghasilkan nilai gain rendah[11]. Salah satu aplikasi yang membutuhkan nilai gain tinggi yaitu komunikasi satelit.



Gambar 4. Antena Mikrostrip *Rectangular Patch Array 2x2*[12].

Terdapat *junction horizontal* sebagai penghubung antara feed line 100Ω . Untuk menentukan lebar *junction horizontal* (W_j) dapat menggunakan persamaan berikut:

$$W_j = d = \frac{\lambda_0}{2} \quad (14)$$

Sedangkan untuk *junction vertical* sebagai penghubung antara feed line 70.7Ω . Untuk panjang *junction vertical* (L_{fj}) dapat menggunakan persamaan berikut:

$$L_{fj} = 2 \times L_{f(z_0 = 100\Omega)} \quad (15)$$

2.7 Parameter Antena

Kinerja sebuah antena dapat dilihat dari nilai-nilai parameter yang dihasilkan, karena parameter tersebut berkaitan satu sama lain. Beberapa parameter yang digunakan untuk menganalisis suatu antena antara lain:

1. *Return loss*, merupakan perbandingan antara amplitudo gelombang pantul terhadap gelombang yang dikirim[7].
2. *VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)*, adalah perbandingan antara tegangan maksimum dengan tegangan minimum pada gelombang berdiri.
3. *Bandwidth*, adalah rentang frekuensi dimana antena dapat memancarkan dan menerima daya. Untuk menentukan nilai *bandwidth*, dapat dilihat dari rentang frekuensi dengan batas maksimum VSWR[13].
4. *Gain*, merupakan perbandingan antara daya yang difokuskan oleh antena pada arah tertentu dengan daya yang dipancarkan antena referensi[13].

2.8 Pola Radiasi Antena

Pola radiasi merupakan penggambaran grafis sifat-sifat pancaran energi antena sebagai fungsi koordinat-koordinat ruang[7]. Salah satu pola radiasi adalah *directional antenna* atau antena terarah yang dapat memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik pada arah tertentu dan dapat menjangkau jarak jauh.

2.9 Polarisasi Antena

Polarisasi merupakan arah getaran gelombang dari antena. Berdasarkan nilai *axial ratio*, polarisasi dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu:

1. Polarisasi *circular*, memiliki medan listrik yang sama tetapi berjalan berputar membentuk lingkaran dan dapat terjadi secara *horizontal* maupun *vertical* yang memiliki rentang $0 \text{ dB} \leq |AR| < 3 \text{ dB}$.
2. Polarisasi *ellipse*, terjadi ketika gelombang berubah terhadap waktu memiliki medan elektrik dengan rentang $3 \text{ dB} \leq |AR| < 40 \text{ dB}$.

3. Polarisasi *linier*, dimana antena akan menerima sinyal sama besar dan hanya dapat secara *horizontal* atau *vertical* saja dengan rentang $|AR| \geq 40$ dB.

3. Perancangan Sistem

3.1 Spesifikasi Antena

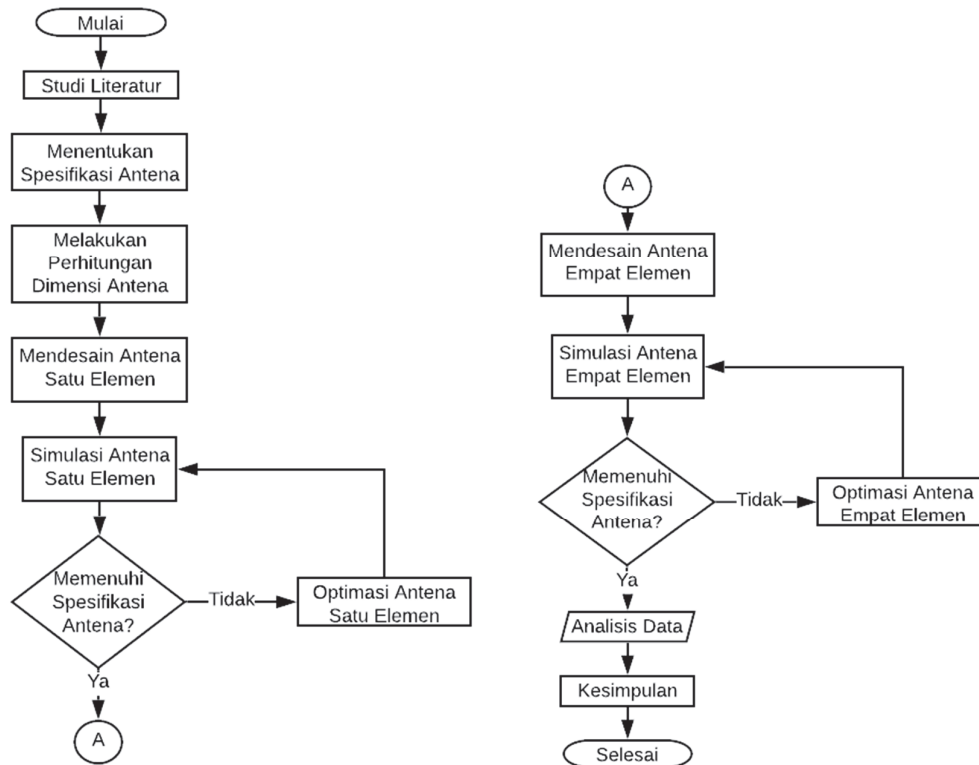
Artikel ini difokuskan untuk melakukan analisis nilai-nilai parameter hasil simulasi dari perancangan antena mikrostrip *rectangular patch (array 2x2)* sebagaimana Gambar 4 dengan teknik pencatutan *line feed*. Bahan *substrate* yang digunakan adalah Rogers *Duroid 5880* dengan konstanta dielektrik $\epsilon_r = 2,2$ dengan ketebalan $h = 0,787$ mm, ketebalan *copper* ($t = 0,035$ mm). Spesifikasi antena yang dirancang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Antena.

Spesifikasi	Deskripsi
Frekuensi	29,25 GHz
Impedansi <i>input</i>	50 Ω
<i>Return loss</i>	≤ -10 dB
<i>Bandwidth</i>	≥ 1 GHz
<i>Gain</i>	≤ 10 dB
Pola radiasi	<i>Directional</i>
Polarisasi	<i>Ellipse</i>

3.2 Skema Perancangan

Langkah-langkah perancangan antena, mensimulasikan hingga menganalisis dilakukan secara bertahap dan dijelaskan secara singkat seperti Gambar 5.



Gambar 5. Diagram Alir Perancangan Antena.

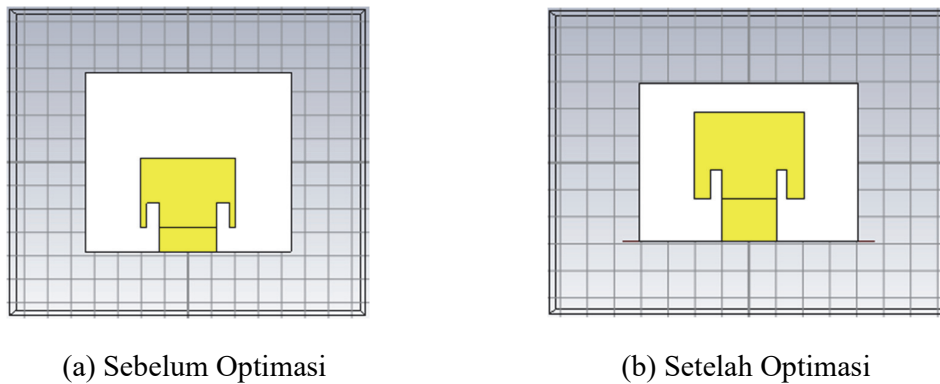
3.3 Dimensi dan Desain Antena Satu Elemen

Berdasarkan perhitungan dengan persamaan-persamaan yang telah dipaparkan dan proses optimasi, maka didapatkan nilai-nilai ukuran dimensi antena satu elemen yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Dimensi Antena Satu Elemen.

No.	Parameter	Ukuran (mm) Sebelum Optimasi	Ukuran (mm) Setelah Optimasi	Keterangan
1.	Wp	4,054	4,084	Lebar <i>patch</i>
2.	Lp	2,906	3,206	Panjang <i>patch</i>
3.	Wf	2,421	2,042	Lebar <i>feed</i> 50Ω
4.	Lf	1,057	1,557	Panjang <i>feed</i> 50Ω
5.	Wg	8,776	8,106	Lebar <i>ground plane</i>
6.	Lg	7,628	5,812	Panjang <i>ground plane</i>
7.	x_o	1,055	0,9	Lebar <i>inset feed</i>
8.	y_o	1,0	1,099	Panjang <i>inset feed</i>

Pada Gambar 6 menunjukkan hasil rancangan desain antena satu elemen menggunakan *antenna design software* dengan ukuran dimensi berdasarkan perhitungan pada Tabel 2.



Gambar 6. Desain Satu Elemen

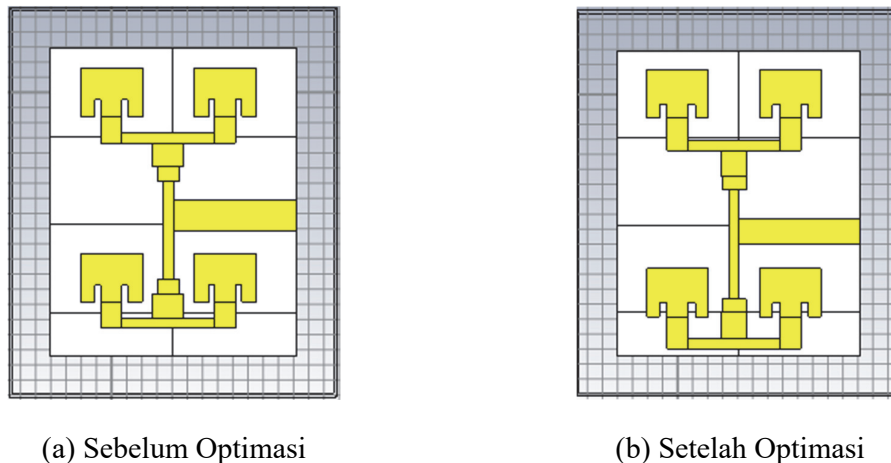
3.4 Dimensi dan Desain Antena Empat Elemen

Sebelum merancang antena empat elemen, harus terlebih dahulu melakukan optimasi antena satu elemen. Setelah berhasil optimasi, ukuran dimensi tersebut dapat digunakan untuk merancang antena empat elemen. Ukuran dimensi antena empat elemen tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Dimensi Antena Empat Elemen.

No.	Parameter	Ukuran (mm) Sebelum Optimasi	Ukuran (mm) Setelah Optimasi	Keterangan
1.	W_p	4,084	4,084	Lebar <i>patch</i>
2.	L_p	3,206	3,206	Panjang <i>patch</i>
3.	W_{f_1}	2,042	1,742	Lebar <i>feed</i> 50 Ω
4.	L_{f_1}	1,557	1,757	Panjang <i>feed</i> 50 Ω
5.	W_g	8,108	8,108	Lebar <i>ground plane</i>
6.	L_g	5,812	5,812	Panjang <i>ground plane</i>
7.	x_o	0,9	1,0	Lebar <i>inset feed</i>
8.	y_o	1,099	0,899	Panjang <i>inset feed</i>
9.	W_j	5,128	5,128	Lebar <i>junction horizontal</i>
10.	W_{f_2}	0,688	0,688	Lebar <i>feed</i> 100 Ω
11.	L_{f_2}	0,87	1,07	Panjang <i>feed</i> 100 Ω
12.	W_{f_3}	1,383	1,603	Lebar <i>feed</i> 70.7 Ω
13.	L_{f_3}	0,974	0,974	Panjang <i>feed</i> 70.7 Ω
14.	L_{f_j}	1,74	2,14	Panjang <i>junction vertical</i>

Gambar 7 merupakan hasil rancangan desain antena empat elemen sesuai ukuran dimensi yang telah ditunjukkan pada Tabel 3 dengan menggunakan *antenna design software*.



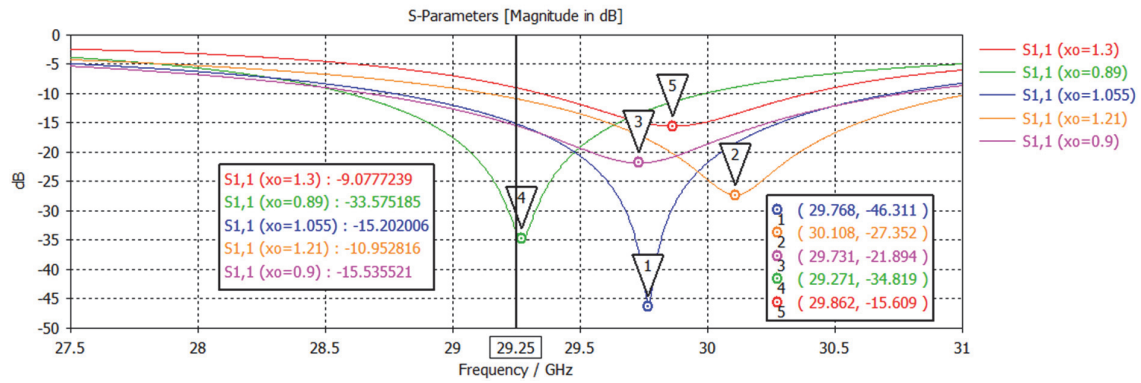
Gambar 7. Desain Empat Elemen

4. Hasil dan Analisis

4.1 Pengaruh Dimensi Antena Satu Elemen

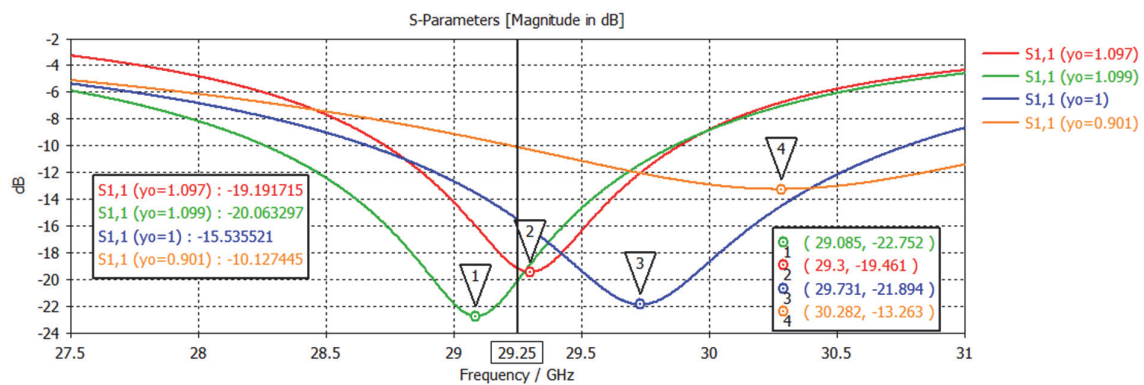
Pada hasil simulasi perancangan antena satu elemen berdasarkan perhitungan, didapatkan nilai *return loss* awal sebesar -3,116 dB pada frekuensi 29,25 GHz dengan VSWR bernilai 5,633. Hasil tersebut belum sesuai dengan spesifikasi yang diharapkan.

Oleh karena itu, perlu adanya optimasi. Optimasi dilakukan dengan mengubah dimensi lebar *inset feed* (x_o). Dapat dilihat pada Gambar 8 dengan mengubah ukuran x_o semakin kecil, nilai *return loss* yang dihasilkan akan semakin kecil dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi.



Gambar 8. Optimasi Lebar *Inset Feed* (x_0) Satu Elemen.

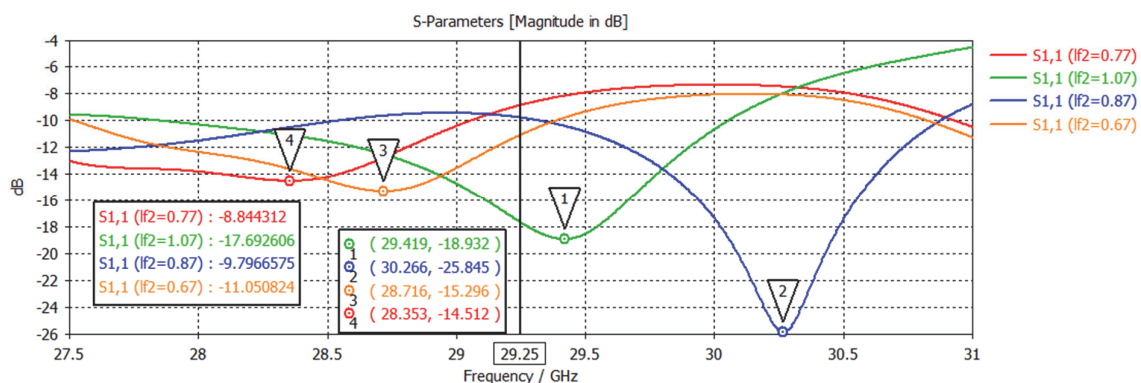
Selain mengubah ukuran dimensi x_0 , diperlukan juga untuk mengubah ukuran dimensi yang lain. Salah satunya adalah mengoptimasi dimensi panjang *inset feed* (y_0). Dengan mengubah ukuran dimensi y_0 semakin besar, maka nilai *return loss* yang dihasilkan akan semakin bagus sebagaimana gambar 9.



Gambar 9. Optimasi Panjang *Inset Feed* (y_0) Satu Elemen.

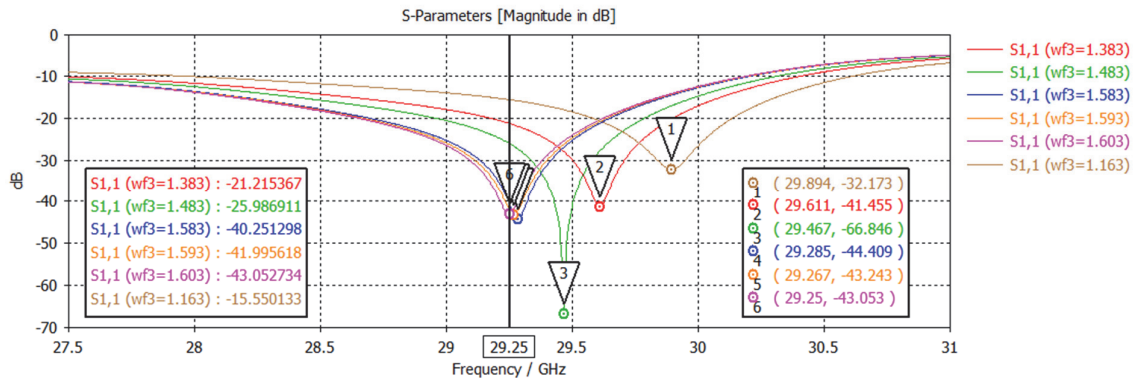
4.2 Pengaruh Dimensi Antena Empat Elemen

Hasil simulasi perancangan antenna empat elemen berdasarkan perhitungan dan ukuran dimensi hasil optimasi antenna satu elemen, diperoleh nilai *return loss* awal sebesar -7,565 dB pada frekuensi 29,25 GHz dengan VSWR bernilai 2,439. Hasil simulasi tersebut belum sesuai spesifikasi.



Gambar 10. Optimasi Panjang *Line Feed* 100Ω (Lf_2) Empat Elemen.

Maka dari itu perlu dilakukan optimasi dengan mengubah ukuran dimensi antenna, salah satunya adalah panjang *line feed* 100Ω (Lf_2) seperti Gambar 10. Dengan memperbesar ukuran dimensi Lf_2 , maka akan semakin kecil nilai *return loss* yang dihasilkan sebagaimana Gambar 11.

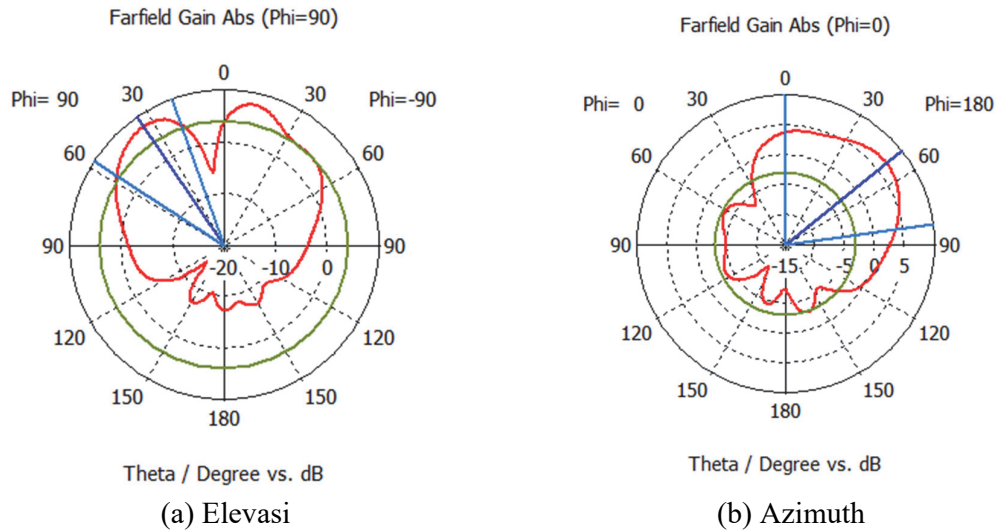


Gambar 11. Optimasi Lebar *Line Feed* 70.7Ω (Wf_3) Empat Elemen.

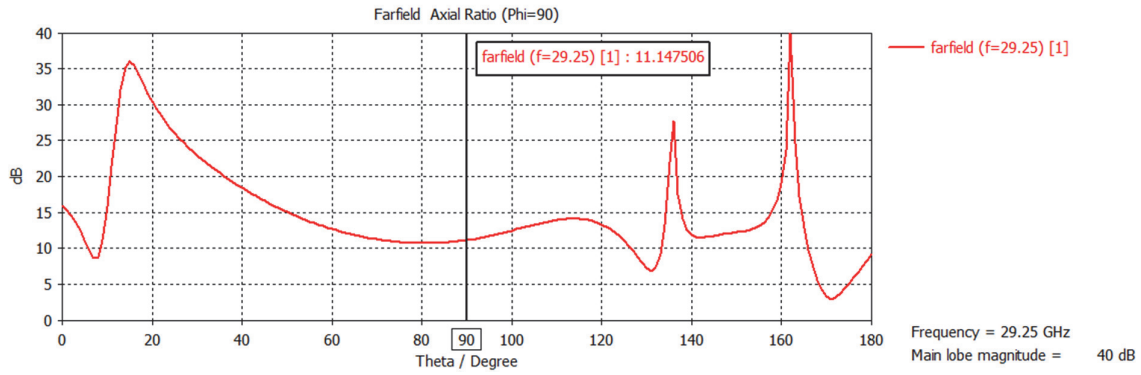
Selain itu, optimasi juga dapat dilakukan dengan mengubah ukuran lebar *line feed* 70.7Ω (Wf_3). Dengan memperbesar ukuran Wf_3 , maka nilai *return loss* akan semakin kecil dan bagus.

4.3 Hasil Simulasi Setelah Optimasi

Setelah dilakukan optimasi, didapat pola radiasi empat elemen sebagaimana Gambar 12.



Gambar 12. Pola radiasi empat elemen setelah optimasi



Gambar 13. Polarisasi Empat Elemen Setelah Optimasi.

Setelah dilakukannya proses optimasi pada antenna mikrostrip baik untuk satu elemen maupun empat elemen dengan mengubah beberapa ukuran dimensi, maka diperoleh nilai-nilai parameter hasil simulasi yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Simulasi Setelah Optimasi.

No.	Parameter	Satu Elemen	Empat Elemen
1.	<i>Return loss</i>	-43,333 dB	-43,052 dB
2.	VSWR	1,013	1,014
3.	<i>Bandwidth</i>	1,474 GHz	2,728 GHz
4.	<i>Gain</i>	5,593 dB	7,823 dB
5.	Pola radiasi	<i>Directional</i>	<i>Directional</i>
6.	Polarisasi	<i>Linier</i>	<i>Ellipse</i>

5. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil pada pengerjaan artikel ini dengan merancang dan mendesain antenna mikrostrip yang disusun (*array*) berjumlah empat (2x2) elemen, hingga proses simulasi dan optimasi menggunakan *antenna design software*, antara lain:

1. Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh antenna dapat bekerja pada frekuensi 29,25 GHz dengan *bandwidth* sebesar 2,728 GHz.
2. Spesifikasi antenna seperti nilai *return loss* ≤ -10 dB, pola radiasi *directional*, dan polarisasi *ellipse* pada frekuensi 29,25 GHz dapat memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan untuk komunikasi satelit pada Ka-Band.
3. Dengan penambahan jumlah elemen antenna dapat meningkatkan nilai *gain* antenna. Pada antenna satu elemen nilai *gain* sebesar 5,593 dB. Sedangkan untuk antenna empat elemen nilai *gain* naik menjadi 7,823 dB.

Daftar Pustaka

[1] P. O. S. D. A. N. Informatika, K. Komunikasi, and D. A. N. Informatika, (2016). *Kajian Frekuensi Ka-band Untuk Komunikasi Satelit*.

[2] Elbert, B. R. (2004). *The satellite communication applications handbook*. Artech house.

[3] Hasanuddin, Z. B. (2014). Design of Ka-band Satellite Links in Indonesia. *Journal of Electrical Computer Energetic Electronic and Communication Engineering*, 8(8).

[4] Maruddani, B., Kurniawan, A., & Munir, A. (2011, July). Performance evaluation of Ka-band satellite communication system in rain fading channel at tropical area. In

- Proceedings of the 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics* (pp. 1-5). IEEE.
- [5] Sheriff, R. E., & Hu, Y. F. (2001). *Mobile Satellite Communication Networks Mobile Satellite Communication Networks*, vol. 845562. University of Bradford United Kingdom.
- [6] Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: analysis and design*. John wiley & sons
- [7] Nugraha, A. S., Christiyono, Y., & Sukiswo, S. (2011). *Perancangan dan Analisa Antena Mikrostrip dengan Frekuensi 850 MHz untuk Aplikasi Praktikum Antena* (Doctoral dissertation, Diponegoro University).
- [8] A. Harnan Malik, (2014). *Antena Mikrostrip; Struktur Dasar Antena Mikrostrip*.
- [9] Ningsih, R. N. A. R. (2014). Antena Mikrostrip. Teknik Elektronika STT Nusa Putra, [Online]. Available: <https://teknikelektronikansp.wordpress.com/2014/01/07/antena-mikrostrip-2>.
- [10] [Online]. Available: <https://docplayer.info/docs-images/75/72040212/images/3-1.jpg>. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [11] Alam, S., & Nugroho, R. F. (2018). Perancangan Antena Mikrostrip Array 2x1 untuk Meningkatkan Gain Untuk Aplikasi LTE Pada Frekuensi 2300 MHz. *Elektrokrisna*, 6(3).
- [12] [Online]. Available: https://www.researchgate.net/profile/Glaucio_Lopes_Ramos/publication/305816148/figure/fig3/AS:391338609659943@1470313803993/2x2-microstrip-antenna-array.png. [Accessed: 03-Dec-2019].
- [13] A. L. Antena, (2019). "Modul Praktikum Antena dan Propagasi 2018 - 2019," pp. 1–35.