

# Optimasi Antena Mikrostrip 4 Elemen Untuk Aplikasi VSAT dengan Pencatuan *Proximity Coupled* pada Frekuensi *Ku-Band*

Hanny Madiawati<sup>#</sup>, Asep Barnas Simanjuntak, Fikri Purwana Senja

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung,  
Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga, Kabupaten Bandung Barat, Indonesia  
<sup>#</sup>hannymadiawati@polban.ac.id

---

## Abstrak

Kebutuhan akan sistem komunikasi satelit dengan menggunakan frekuensi *Ku-band* mulai berkembang di Indonesia. Sistem komunikasi satelit pada kendaraan bergerak membutuhkan antena dengan ukuran yang kecil sebagai pengganti parabola untuk mengurangi massa keseluruhan sistem serta memiliki kinerja yang baik untuk memancarkan dan menerima gelombang elektromagnetik. Antena mikrostrip merupakan suatu perangkat yang dapat mendukung aplikasi *mobile VSAT* karena memiliki karakteristik antena *low-profile*, mudah dibuat, murah, dan fleksibel. Namun, antena ini memiliki kelemahan yaitu nilai *gain* dan *bandwidth* yang rendah. Untuk mengatasi masalah ini maka digunakan metode *proximity coupled* dan desain antena *array* untuk meningkatkan *gain* dan *bandwidth* antena mikrostrip yang lebar. Aplikasi *mobile VSAT* dibutuhkan antena penerima yang dirancang dengan polarisasi *circular* agar saat digunakan pada kendaraan bergerak dengan tetap menjaga kelangsungan hubungan telekomunikasi selama bergerak. Penelitian ini berhasil melakukan optimasi antena mikrostrip 1x4 yang beroperasi pada frekuensi *downlink Ku-band* dan teknik pencatuan *proximity coupled* dengan meningkatkan parameter *bandwidth* sebesar 26% dari penelitian sebelumnya. Hal ini bertujuan untuk memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem komunikasi satelit di Indonesia dengan memperbaiki kinerja antena mikrostrip untuk aplikasi *mobile VSAT*. Antena mikrostrip ini bekerja pada rentang frekuensi 11739 – 12550 MHz dengan *bandwidth* sebesar 811 MHz, memiliki *gain* 10,7 dB, pola radiasi *directional*, dan polarisasi *circular*.

**Kata kunci:** antena mikrostrip, antena mikrostrip *array*, komunikasi satelit, *proximity coupled*, *mobile VSAT*

## Abstract

The need for a satellite communication system using the Ku Band frequency began to grow in Indonesia. Satellite communication systems in mobile vehicles require antennas with small sizes instead of satellite dishes to reduce the overall mass of the system and have good performance to emit and receive electromagnetic waves. Microstrip antenna is a device that can support VSAT mobile applications because it has the characteristics of a low-profile antenna, easy to make, inexpensive and flexible. However, this antenna has the disadvantage of low gain value and bandwidth. To overcome this problem, proximity coupled methods and array antenna designs are used to increase the gain and bandwidth of wide microstrip antennas. VSAT mobile applications require a receiving antenna designed with circular polarization so that when used in moving vehicles while maintaining the continuity of telecommunications connections while moving. This study successfully optimized the 1x4 microstrip antenna operating at Ku-band downlink frequency and proximity coupled enumeration technique by increasing bandwidth parameters by 26% from the previous study. This microstrip antenna work in the frequency range of 11739 – 12550 MHz with a bandwidth of 811 MHz, has a gain of 10.7 dB, directional radiation pattern, and circular polarization.

**Keywords:** microstrip antenna, array microstrip antenna, satellite communication, proximity coupled, mobile VSAT

---

## I. PENDAHULUAN

Antena merupakan perangkat memegang peranan penting dalam industri telekomunikasi,

antena berperan sebagai alat pemancar dan penerima gelombang elektromagnetik [1], [2]. Antena mikrostrip berdimensi kecil dan ringan, semakin kecil antena yang digunakan akan semakin

baik, karena mendukung kebutuhan perangkat telekomunikasi yang portable dan juga ekonomis [3], [4]. Hal ini sangat penting untuk mendukung teknologi mobile VSAT dalam satelit komunikasi. Satelit komunikasi merupakan suatu satelit yang bertindak sebagai repeater pada ruang angkasa dan berkomunikasi dengan beberapa stasiun di bumi [5]. Jangkauan sistem komunikasi satelit yang sangat luas sangat cocok dengan letak geografis negara Indonesia [5]. Saat ini ini frekuensi *C-band* masih menjadi pilihan bagi para pengguna layanan satelit komunikasi di Indonesia. Namun, *C-band* memiliki batasan bandwidth dan interferensi. Sehingga pemilihan frekuensi *Ku-band* sebagai alternatif pendukung komunikasi satelit menjadi suatu kebutuhan [6]–[8]. Frekuensi *Ku-band* berada pada rentang frekuensi 12 GHz sampai 18 GHz yang memiliki *bandwidth* lebih besar, relatif lebih aman dari interferensi teretrial dan dimensi antena yang lebih kecil [8].

Penggunaan antena mikrostrip memiliki kekurangan pada *gain* yang rendah dan *bandwidth* yang sempit. Metode yang memiliki guna untuk meningkatkan *bandwidth* dan *gain* menggunakan teknik pencatuan *proximity couple* yang dapat meningkatkan bandwidth sebesar 13% dengan menghilangkan radiasi karena peningkatan ketebalan total antena mikrostrip [9]. Teknik *proximity couple* menggunakan substrat dua lapisan dengan jalur mikrostrip pada lapisan bawah dan patch antena pada lapisan atas [11]. Sebuah metode untuk meningkatkan kualitas *gain* dan *directivity* dengan teknik *array*. Pada umumnya antena satu patch memiliki nilai *gain* yang rendah [4], [10]. Salah satu aplikasi yang membutuhkan nilai *gain* yang tinggi adalah komunikasi satelit. [12]. Dalam hal polarisasi digunakan metode pertubasi. Fungsi dari perubasi adalah dapat berguna dalam aplikasi di mana polarisasi tertentu diperlukan untuk kompatibilitas sistem atau untuk meminimalkan interferensi dengan sinyal lain[14]. Pertubasi pun Pertubasi dapat membantu meningkatkan kinerja antena mikrostrip dalam hal *gain*, *bandwidth*, dan efisiensi [15]. Namun, kebanyakan dari penelitian tersebut masih menghadapi batasan dalam hal peningkatan *bandwidth* dan *gain* yang signifikan, terutama untuk aplikasi *mobile VSAT* yang membutuhkan antena dengan ukuran kecil namun kinerja yang optimal.

Pada penelitian ini akan dirancang dan direalisasikan sebuah antena mikrostrip array menggunakan konfigurasi 1x4 *patch* yang disusun secara linear dengan pencatuan *proximity couple*

untuk kebutuhan *mobile VSAT* dengan frekuensi *downlink Ku-band* 11,7 – 12,7 GHz. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan simulasi antena mikrostrip *array* dengan konfigurasi 1x4 yang digunakan untuk aplikasi *mobile VSAT*. Kedua, melakukan realisasi antena dengan menggunakan substrat duroid Rogers RT5880 yang memiliki permitivitas relatif dielektrik ( $\epsilon_r$ ) 2,2 dan ketebalan material 1,57 mm. Ketiga, menguji parameter sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan dan membandingkan hasil pengukuran dan simulasi. Dengan mengadopsi metode *proximity coupled*, penelitian ini pun dapat mengatasi beberapa kelemahan yang ada dalam penelitian sebelumnya dengan mencapai peningkatan *bandwidth* dari penelitian sebelumnya. Selain itu, penelitian ini juga berhasil mempertahankan kinerja antena dalam hal *gain* yang memadai dan pola radiasi *directional* yang diperlukan untuk aplikasi *mobile VSAT*.

## II. METODE PENELITIAN

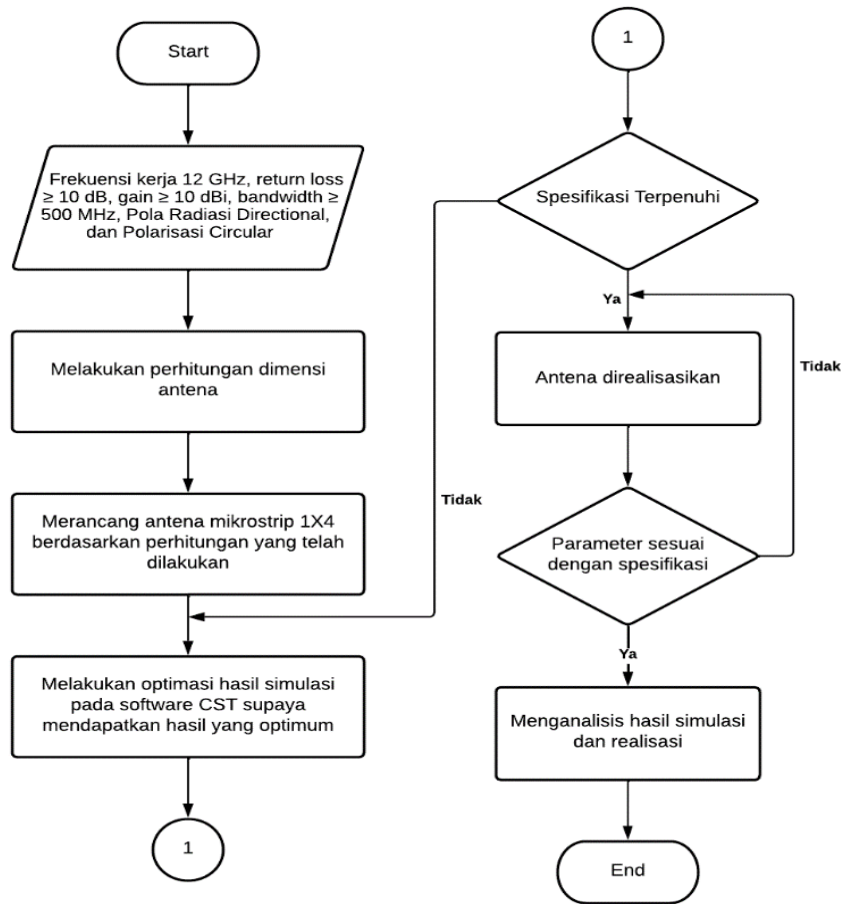
Perancangan antena dilakukan dalam beberapa tahapan yang dimaksudkan agar perancangan dapat dilakukan secara sistematis. Adapun tahapan perancangan yang dilakukan dapat ditunjukkan pada Gambar 1.

### A. Perancangan Perangkat Keras

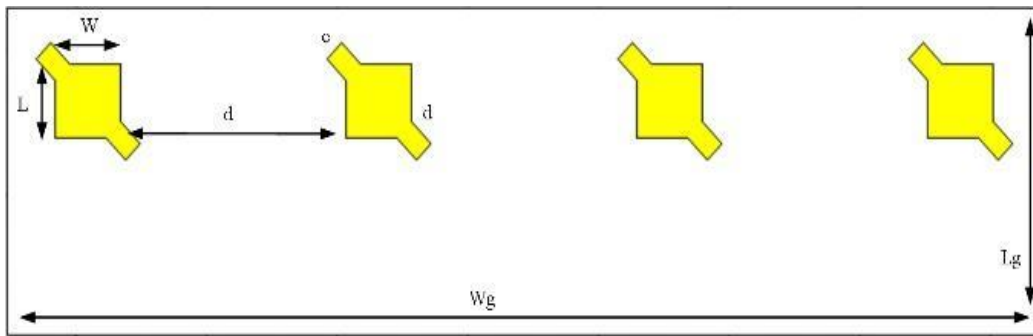
Pada tahap ini, penelitian diawali dari menentukan spesifikasi pada parameter antena seperti frekuensi kerja, *gain*, dan *bandwidth* yang diinginkan seperti pada Tabel 1. Lalu, dilakukan perhitungan ukuran antena mikrostrip. Hasil perhitungan dimasukkan dalam simulasi pada software CST Studio Suite 2019. Untuk hasil terbaik, hasil simulasi harus dioptimalkan. Jika simulasi sudah optimal, selanjutnya antena akan direalisasikan. Lalu, antena yang direalisasi akan dianalisis parameternya, untuk menentukan apakah memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

Tabel 1. Spesifikasi antena mikrostrip *array*

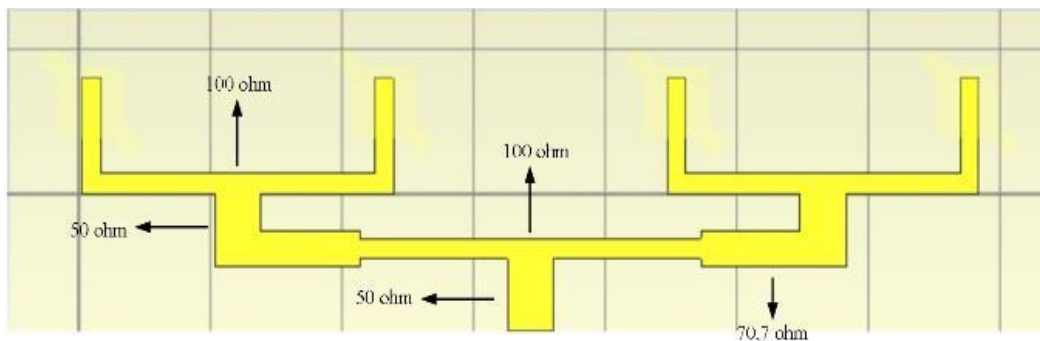
Parameter	Karakteristik
Frekuensi	11700 – 12700 MHz
<i>Bandwidth</i>	$\geq 600$ MHz
<i>Gain</i>	$\geq 10$ dBi
Pola Radiasi	<i>Directional</i>
Polarisasi	<i>Circular</i>



Gambar 1. Diagram alir perancangan dan realisasi antena



(a)



(b)

Gambar 2. Perancangan antena mikrostrip 1x4 elemen: (a) bagian *patch*, (b) bagian *feed line*

Substrat yang digunakan pada penelitian ini adalah duroid RT5880 Rogers. Karakteristik substrat duroid yang digunakan adalah permitivitas relatif dielektrik ( $\epsilon_r$ ) 2,2 dan ketebalan material ( $h$ ) 1,57 mm dan ketebalan konduktor ( $t$ ) 0,035 mm.

**B. Perhitungan Dimensi Antena**

Sebelum melakukan proses simulasi, dilakukan terlebih dahulu proses perhitungan mulai dari dimensi *patch*, *microstrip line*, *groundplane*, dan jarak antar elemen dengan menggunakan persamaan berikut [13].

1. Perhitungan besar  $\lambda$  antena

$$\lambda_0 = \frac{c}{f} \tag{1}$$

2. Perhitungan besar lebar *patch* antena

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

3. Perhitungan besar konstanta dielektrik efektif antena

$$\epsilon_{r_{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ \left( 1 + \frac{12h}{W} \right)^{-1/2} \right] \tag{3}$$

4. Perhitungan besar  $\Delta L$  antena

$$\Delta L = 0,412 \cdot h \cdot \frac{(\epsilon_{r_{eff}} + 0,3) \left( \frac{W}{h} + 0,264 \right)}{(\epsilon_{r_{eff}} - 0,258) \left( \frac{W}{h} + 0,813 \right)} \tag{4}$$

5. Perhitungan besar panjang *patch* antena

$$L = \frac{c}{2f} \sqrt{\epsilon_{r_{eff}}} - 2\Delta L \tag{5}$$

6. Perhitungan besar lebar *ground* antena

$$W_g = 6h + W \tag{6}$$

7. Perhitungan besar nilai panjang *ground* antena

$$L_g = 6h + L \tag{7}$$

8. Perhitungan lebar *feed* ( $W_f$ )

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

$$A = \frac{Z_0}{60} \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \left( 0,23 + \frac{0,11}{\epsilon_r} \right) \tag{9}$$

9. Perhitungan panjang *mikrostrip line* ( $L_f$ )

$$L_f = \frac{1}{4} \lambda_g \tag{10}$$

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \tag{11}$$

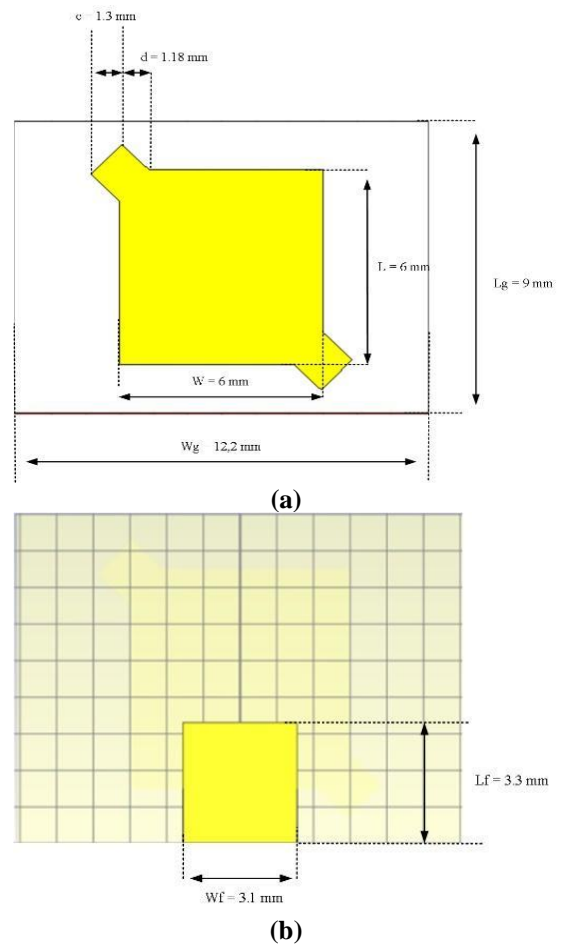
10. Perhitungan jarak antar *patch* ( $d$ )

$$\lambda = \lambda_g = \frac{c}{f \sqrt{\epsilon_r}} \tag{12}$$

$$\text{Jarak antar elemen} = \frac{\lambda}{4} \tag{13}$$

**Tabel 2. Dimensi antena hasil perhitungan**

Parameter	Nilai
Lebar <i>Patch</i> , $W$ (mm)	9,8
Panjang <i>Patch</i> , $L$ (mm)	7,32
Lebar <i>Ground</i> , $W_g$ (mm)	19,28
Panjang <i>Ground</i> , $L_g$ (mm)	16,8
Lebar Feed 50 ohm, $W_f$ (mm)	3,96
Lebar Feed 70,7 ohm, $W_f$ (mm)	2,564
Lebar Feed 100 ohm, $W_f$ (mm)	1,382
Panjang Mikrostrip line, $L_f$ (mm)	4,21
Tebal Substrat, $h$ (mm)	1,58
Tebal Konduktor, $t$ (mm)	0,035



**Gambar 3. Dimensi antena mikrostrip: (a) bagian *patch*, (b) bagian *feed***

Tabel 2 menunjukkan dimensi antena hasil perhitungan dan Gambar 3 menunjukkan dimensi antena mikrostrip. Parameter yang diamati yaitu terdapat *bandwidth*, *return loss*, *gain*, pola radiasi, dan polarisasi. Parameter tersebut adalah tolak ukur

dalam mengetahui kinerja antenna sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan.

menggunakan pertubasi diperoleh gain sebesar 3,594 dBi.

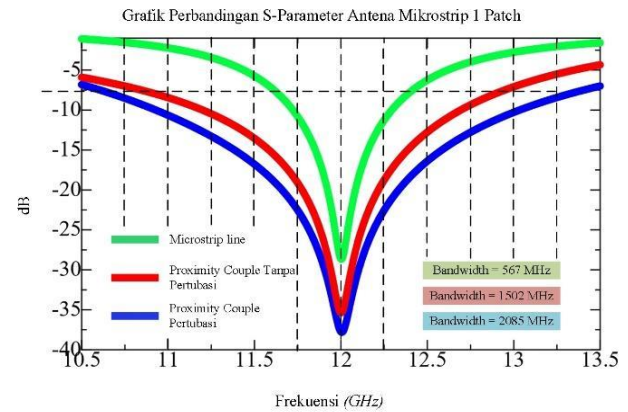
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Simulasi

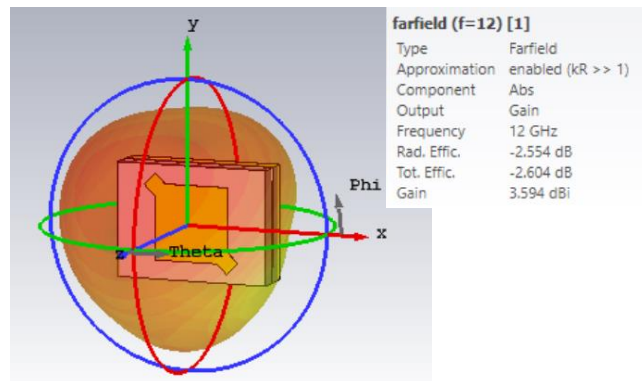
Berdasarkan perhitungan parameter yang telah dilakukan pada Tabel 2, maka dirancanglah antenna mikrostrip pada perangkat lunak CST Studio Suite 2019. Hasil dari rancangan antenna tersebut akan dioptimasi sampai memenuhi spesifikasi teknis yang sudah dilampirkan sebelumnya.

Hasil parameter S11 untuk antenna 1 patch dengan metode *microstrip line*, *proximity couple*, dan *proximity couple* dengan pertubasi pada frekuensi 10500 MHz – 13500 MHz dapat dilihat pada gambar 4 dengan *gain* yang ditampilkan pada Gambar 5.

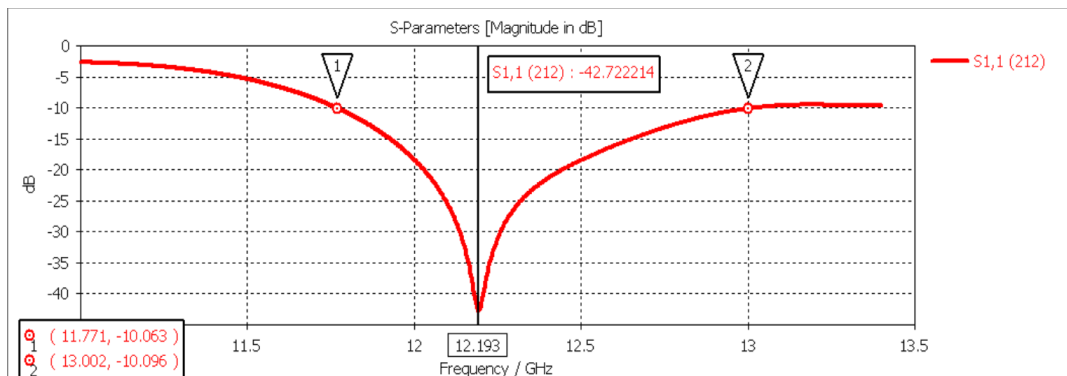
Dapat dilihat pada Gambar 4, hasil simulasi antenna 1 patch dengan metode pencatuan *proximity couple* dengan pertubasi memperoleh *bandwidth* sebesar 2085 MHz, sedangkan metode pencatuan *proximity couple* tanpa pertubasi memperoleh *bandwidth* 1502 MHz, dan metode pencatuan *microstrip line* memperoleh *bandwidth* sebesar 567 MHz. Hal ini membuktikan bahwa *bandwidth* antenna *mikrostrip 1 patch* ini dapat memperlebar *bandwidth* sebesar 62,25% menggunakan metode pencatuan *proximity couple*. Sedangkan *bandwidth* antenna dengan pertubasi lebih lebar daripada tanpa pertubasi yaitu sebesar 27,96%. Berdasarkan Gambar 5, hasil simulasi menunjukkan antenna 1 patch dengan pecatuan *proximity couple*



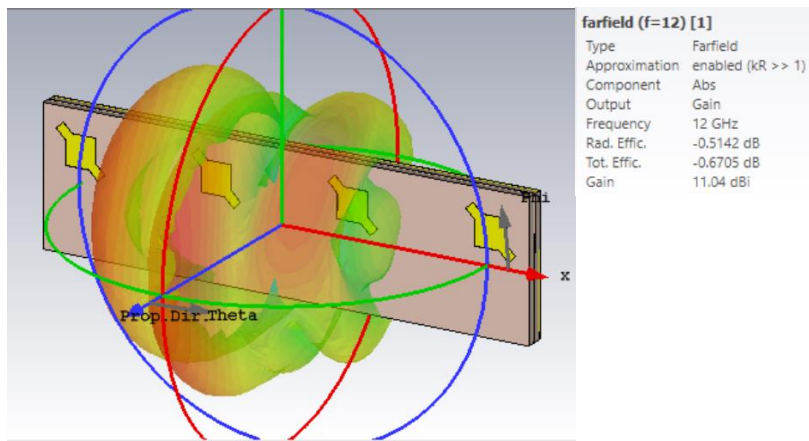
Gambar 4. Perbandingan parameter S11 satu patch hasil simulasi



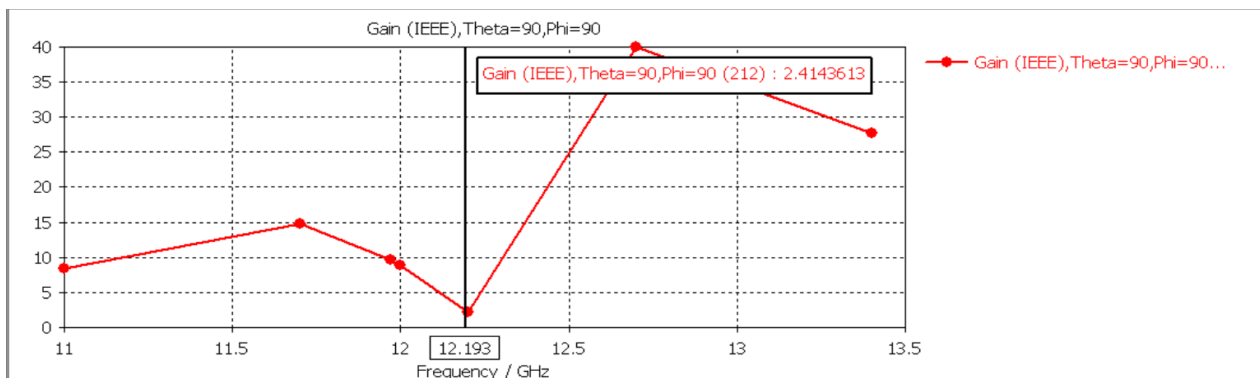
Gambar 5. Gain satu patch hasil simulasi



Gambar 6. Return loss dan bandwidth antenna mikrostrip 1x4 hasil simulasi



Gambar 7. Gain hasil simulasi antena mikrostrip 1x4



Gambar 8. Axial ratio hasil simulasi antena mikrostrip 1x4

Pada hasil simulasi antena mikrostrip 1X4 ini didapat *bandwidth* 1231 MHz dengan teknik pencatuan *proximity couple* menggunakan pertubasi. Berdasarkan Gambar 6, hasil simulasi menunjukkan antena ini bekerja pada band 11771 – 13002 MHz. Nilai *return loss* yang dihasilkan dalam simulasi antena mikrostrip 4 elemen ini adalah 42,72 dB pada frekuensi 12193 MHz seperti pada Gambar 6. Berdasarkan hasil simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 7, *gain* antena mikrostrip 4 elemen diperoleh sebesar 11,04 dBi, sedangkan pada Gambar 8 menunjukkan bahwa antena ini memiliki polarisasi *circular* dengan nilai *axial ratio* 2,41 atau  $< 3$  dan sudah memenuhi spesifikasi yang diinginkan.

**B. Realisasi dan Pengujian**

Setelah data simulasi antena mikrostrip 1X4 sudah diperoleh, langkah selanjutnya adalah melakukan realisasi antena dengan melakukan pencetakan antena menggunakan bahan duroid RT5880 rogers yang memiliki permitivitas relatif dielektrik ( $\epsilon_r$ ) 2,2, ketebalan material (h) 1,57 mm, dan ketebalan konduktor (t) 0,035 mm. Parameter yang diujikan antara lain *return loss*, *bandwidth*, *gain*, pola radiasi dan polarisasi. Adapun hasil realisasi antena dapat dilihat pada Gambar 9 untuk

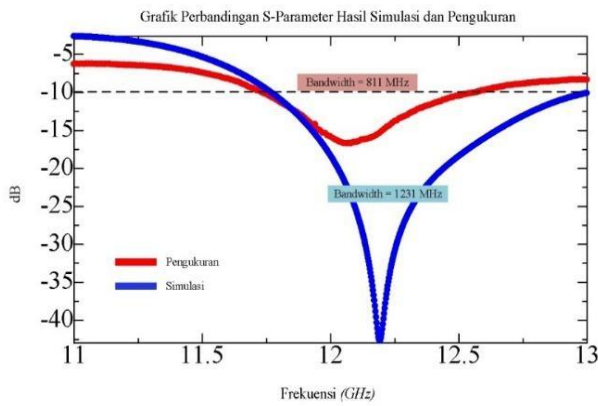
tampak depan dan Gambar 10 untuk tampak belakang.



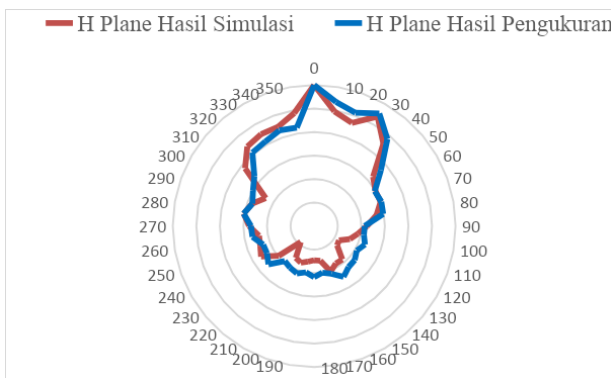
Gambar 9. Antena mikrostrip 1x4 tampak depan



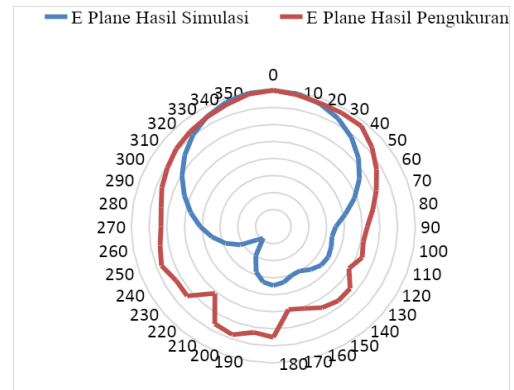
Gambar 10. Antena mikrostrip 1x4 tampak belakang



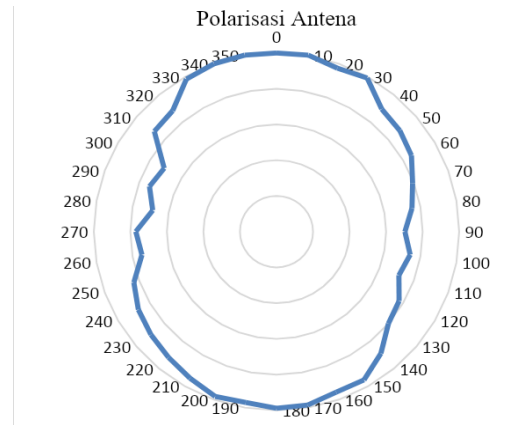
Gambar 11. Return loss dan bandwidth hasil simulasi dan pengujian



Gambar 12. Grafik H plane pengukuran dan simulasi



Gambar 13. Grafik E plane pengukuran dan simulasi



Gambar 14. Grafik polarisasi antena mikrostrip 4 elemen

Tabel 3. Perbandingan spesifikasi, hasil simulasi dan hasil pengujian

Spesifikasi	Karakteristik	Hasil Simulasi	Hasil Pengukuran
Frekuensi (MHz)	11700 – 12700	11771 – 13002	11739 – 12550
Bandwidth (MHz)	$\geq 500$	1231	811
Gain (dBi)	$\geq 10$	11.04	10.72
Pola Radiasi	Directional	Directional	Directional
Polarisasi	Circular	Circular	Circular

Gambar 11 menunjukkan perbandingan *return loss* hasil simulasi dan hasil pengukuran dimana *band* frekuensi pengukuran yang diperoleh adalah 11739 – 12550 MHz dengan *bandwidth* 811 MHz. Sedangkan secara simulasi didapat *band* frekuensi 11771 – 13002 MHz dengan *bandwidth* 1231 MHz. Dari hasil perbandingan pengukuran dan simulasi tersebut diperoleh penurunan *bandwidth* sebesar 51,78% dan terjadi pergeseran *band* frekuensi. Hasil pengujian pola radiasi ditunjukkan pada Gambar 12 dan Gambar 13.

Gambar 12 adalah bentuk pola radiasi bidang-H (azimuth) dan Gambar 13 adalah bentuk pola radiasi bidang-E (elevasi). Pola radiasi yang dihasilkan adalah *directional* yang dapat dilihat pada pola radiasi terkuatnya hanya ada pada satu arah *main lobe*. Diperoleh HPBW secara simulasi 15° pada bidang-H dan 59,4° pada bidang-E. Terdapat penurunan nilai *gain* yaitu sebesar 2,89%. Tabel 3 menunjukkan hasil perbandingan antara

spesifikasi yang perlu dicapai, hasil simulasi, dan hasil pengukuran. Berdasarkan hasil perbandingan yang disajikan pada Tabel 3 didapat bahwa baik simulasi maupun pengukuran diperoleh parameter antena yang sesuai dengan spesifikasi. penelitian sebelumnya telah mencoba berbagai teknik optimasi untuk meningkatkan kinerja antena mikrostrip, termasuk penggunaan metode desain array dan teknik pencatutan lainnya.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil melakukan optimasi desain dan realisasi antena mikrostrip 1x4 pada frekuensi ku-band dengan menggunakan metode pencatutan *proximity couple* untuk aplikasi *mobile VSAT*. Pada hasil simulasi diperoleh *bandwidth* 1231 MHz dan hasil pengukuran diperoleh *bandwidth* sebesar 811 MHz, terdapat perbedaan

sebesar 34,11% dari simulasi. Selanjutnya diperoleh nilai *gain* pada hasil simulasi antena mikrostrip 1x4 sebesar 11,04 dBi sedangkan pada pengukuran diperoleh 10,72 dBi terjadi penurunan sebesar 2,89%. Untuk pola radiasi dan polarisasi baik secara simulasi dan pengukuran sudah mendapati hasil yang sesuai dengan spesifikasi yaitu *directional* dan berpolarisasi *circular*. Antena mikrostrip 1x4 rectangular dengan teknik pencatutan *proximity couple* telah berhasil meningkatkan parameter *bandwidth* jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang memiliki lebar *bandwidth* 600 MHz, yakni meningkat sebesar 26%. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah menggunakan bentuk pertubasi lainnya untuk dibandingkan dengan penelitian ini dan menambahkan elemen pada antena untuk mencapai kebutuhan spesifikasi *mobile VSAT* yang lebih tinggi.

## REFERENSI

- [1] F. Al-Janabi, M. J. Singh, and A. P. S. Pharwaha, "Development of microstrip antenna for satellite application at Ku/Ka band," *Journal of Communications*, vol. 16, no. 4, pp. 118–125, Apr. 2021, doi: 10.12720/jcm.16.4.118-125.
- [2] N. Nurfitriani, D. Arsen, and Y. Wahyu, "PENGARUH DIMENSI FEEDER TERHADAP ANTENA MIKROSTRIP PATCHPERSEGI UNTUK DBS KU-BAND," *ITN*, pp. 309–314, Feb. 2018, Accessed: Oct. 06, 2022.
- [3] H. Hidayana *et al.*, "RANCANG BANGUN RECTANGULAR PATCH ANTENA MIKROSTRIP DENGAN METODE ARRAY 8 ELEMEN YANG BEKERJA PADA FREKUENSI 11 GHZ," *ELEKTRO*, vol. 12, no. 2, pp. 75–86, Oct. 2019,
- [4] G. Anjaneyulu and J. S. Varma, "Design and simulation of 8 Element patch antenna array for X band satellite applications," *IEEE Xplore*, pp. 1176–1179, 2019.
- [5] A. Budi and R. Nugroho, "Perancangan Komunikasi Data VSAT Mobile Dengan Frekuensi KU-Band Pada Satelit Palapa," *Jurnal Ilmiah GIGA*, vol. 20, no. 2, pp. 64–76, Nov. 2017, Accessed: Oct. 07, 2022.
- [6] F. Rizqa, D. Arseno, and T. Yunita, "Analisis Dan Desain Antena Mikrostrip Untuk Komunikasi Satelit Pada Frekuensi Ka-Band," *AVITEC*, vol. 1, no. 2, Jan. 2020, doi: 10.28989/avitec.v2i1.590.
- [7] H. Madiawati and J. Suryana, "Desain dan Implementasi Antena Mikrostrip VSAT Bergerak pada Frekuensi Downlink Ku Band," *ELKOMIKA*, vol. 4, no. 2, pp. 160–169, Jul. 2016.
- [8] S. Marini, S. Dewi Asrika, M. I. Sikki, F. Teknik, U. Islam, and " Bekasi, "ANTENA MIKROSTRIP SINGLE LAYER DUAL BAND UNTUK KOMUNIKASI SATELIT PADA SPEKTRUM S-BAND DAN KU-BAND," *JREC Journal of Electrical and Electronics*, vol. 6, no. 2, pp. 119–126, 2018.
- [9] E. Sandi, Rusmono, A. Diamah, and K. Vinda, "Ultra-wideband microstrip array antenna for 5G millimeter-wave applications," *Journal of Communications*, vol. 15, no. 2, pp. 198–204, Feb. 2020, doi: 10.12720/jcm.15.2.198-204.
- [10] A. R. Y. Yadav, U. Shah, and T. T. S. Borel, "DESIGN OF RECTAGULAR PATCH ARRAY ANTENNA FOR SATELLITE COMMUNICATION," *IEEE Xplore*, pp. 759–764, 2019, Accessed: Oct. 06, 2022.
- [11] A. Andreas., & A. A.Lestari. "Design of Microstrip Antenna with Proximity Coupling Method for Ku-Band Frequency". 7th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI) (pp. 1-4). 2020.
- [12] S.A.Elgameh., A. A. Shaalan., & A. A. Kishk., "Satellite Communication Link Design for High Altitude Platform System". In International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium (ACES) (pp. 1-2). 2017.
- [13] C. A. Balanis., *Antenna Theory: Analysis and Design*. John Wiley & Sons.2016.
- [14] M. H. Alam, M. T. Islam, M. N. Shakib, R. Azim, and N. Misran, "Circularly Polarized Substrate Integrated Waveguide-Fed Antenna for X-band Applications," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 95, pp. 225-236, 2019.
- [15] A. Gupta and K. S. Sharma, "Design of Microstrip Patch Antenna with Perturbation for Wireless Applications," in 2020 2nd International Conference on Advances in Electronics, Computers and Communications (ICAEECC), 2020, pp. 1-5.