

Analisis Pola Radiasi dan *Gain* pada Antena Cassegrain dengan Frekuensi C-Band

Analysis of Radiation Patterns and *Gain* on Cassegrain Antenna with C-Band Frequency

Siti Munziah¹, Imam Muhammadi P.B.², M. Panji Kusuma Praja^{3*}

^{1,2,3}*Program Studi SI Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro
Institut Teknologi Telkom Purwokerto
Jalan D.I Panjaitan No 128, Purwokerto, Jawa Tengah, Indonesia*

*-³Corresponding author: panji@ittelkom-pwt.ac.id

Received on 04-08-2023, accepted on 21-07-2024, published on 29-07-2024

Abstrak

Teknologi komunikasi satelit merupakan teknologi telekomunikasi yang memiliki perangkat komunikasi dengan menempatkannya di ruang angkasa. Hal ini pasti membutuhkan alokasi spektrum frekuensi untuk layanan telekomunikasi. Frekuensi yang paling banyak digunakan untuk antena komunikasi satelit adalah frekuensi C-Band. Antena diperlukan untuk mengirim dan menerima gelombang elektromagnetik sebagai penghubung komunikasi antara stasiun bumi dan satelit. Antena yang banyak digunakan dalam komunikasi satelit adalah antena reflektor parabola karena memiliki nilai *gain* yang tinggi dan kemampuan pemfokusan yang baik. Pada penelitian ini dirancang antena jenis parabola Cassegrain pada frekuensi kerja 6,15 GHz menggunakan *software* CST Suite Studio 2019. *Feed horn* yang digunakan pada perancangan berbeda yaitu piramid dan *conical horn*, untuk membandingkan kinerja parameter antena. Maka, untuk mendapatkan hasil parameter antenna, dilakukan iterasi pada dimensi dan geometri antena. Hasil pengukuran pola radiasi dan *gain* antena cassegrain yang dihasilkan oleh *feed horn* berbeda menunjukkan *conical horn* menunjukkan hasil yang baik. Pola radiasi yang dihasilkan secara terarah pada arah main lobe 90deg. Nilai *sidelobe* yang rendah -28,2 dB, *beamwidth* 0,2°. Hasil pengukuran *gain* yang dihasilkan oleh *feed horn* berbeda menunjukkan *conical horn* menghasilkan *gain* yang besar pada frekuensi kerja 6,15 GHz sebesar 41 dBi. Nilai return loss yang dihasilkan sebesar -28,16 dB, VSWR sebesar 1,03 dengan polarisasi circular.

Kata kunci: Antena cassegrain, frekuensi c-band, *gain*, komunikasi satelit, *radiation pattern*.

Abstract

Satellite communication technology is a telecommunications technology where satellites are communication devices placed in space and require spectrum frequency allocation for telecommunications services. The most commonly used frequency for satellite communication antennas is the C-Band frequency. Antennas are necessary to transmit and receive electromagnetic waves as communication links between ground stations and satellites. A widely used type of antenna in satellite communication is the parabolic reflector antenna because of its high gain value and good focusing ability. In this research, a Cassegrain parabolic antenna is designed at a working frequency of 6.15 GHz using CST Suite Studio 2019 software. Two different feed horns, namely the pyramid and conical horns, are used in the design to compare the antenna's performance parameters. Iteration is performed on the antenna's dimensions and geometry to obtain the antenna's parameter results. The measurement results of the radiation pattern and gain of the Cassegrain antenna produced by the different feed horns show that the conical horn performs well. The radiation pattern is directed towards the main lobe at 90 degrees. The sidelobe value is low at -28.2 dB, and the beamwidth is 0.2 degrees. The gain measurement results produced by the different feed horns show that the conical horn provides significant gain at the working frequency of 6.15 GHz, reaching 41 dBi. The return loss value is -28.16 dB, with a VSWR of 1.03 and circular polarization.

Keywords: Cassegrain antenna, C-Band frequency, gain, satellite communication, radiation pattern.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi menyebabkan kebutuhan akan informasi terus meningkat, sehingga diperlukan akses informasi dengan jangkauan yang luas. Antena memegang peranan penting dalam perkembangan teknologi khususnya di bidang telekomunikasi. Antena diperlukan untuk mengirim dan menerima gelombang elektromagnetik, yang berfungsi sebagai penghubung komunikasi antara stasiun bumi dan satelit [1]. Antena berfungsi sebagai pemancar (*transmitter*) dan *transducer* (pengubah) yang mengubah gelombang terbimbing dalam saluran transmisi kabel menjadi gelombang yang merambat di ruang bebas. Di sisi lain, sebagai antena penerima (*receiver*) akan mengubah gelombang ruang bebas menjadi gelombang terbimbing. Perangkat komunikasi nirkabel membutuhkan antena yang dapat mengirim dan menerima sinyal [2]. Antena yang banyak digunakan dalam komunikasi satelit adalah antena reflektor parabola karena memiliki nilai *gain* yang tinggi. Antena reflektor memainkan peran penting dalam komunikasi gelombang mikro. Antena ini memantulkan gelombang elektromagnetik yang melewati permukaan reflektor yang memantulkan energi ke umpan, sehingga membentuk gelombang bidang. Keuntungan menggunakan antena reflektor ganda dibandingkan dengan antena reflektor tunggal adalah memiliki efisiensi yang lebih tinggi, *gain* yang tinggi, *noise* temperatur yang lebih rendah, tingkat *sidelobe* yang rendah, dan *crosspolarization* yang baik [3]. Oleh karena itu, antena tipe cassegrain dipilih untuk mencapai *gain* yang tinggi dan *bandwidth* yang lebar dengan polarisasi sirkular sehingga antena dapat menerima gelombang elektromagnetik dengan baik [4]. Pola radiasi antena Cassegrain dipengaruhi oleh geometri reflektor, yaitu diameter dan kedalaman parabola primer, serta jarak dan ukuran subreflektor sekunder. Dengan optimasi parameter ini, pola radiasi dapat diarahkan untuk menghasilkan lobe samping yang rendah dan lebar berkas yang sempit [5].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian [6] membahas antena *microstrip circular array* empat elemen untuk meningkatkan *gain* dan menghasilkan pola radiasi yang baik. Perancangan dan pembuatan antena mikrostrip akan menggunakan substrat FR4 dengan elemen peradiasi berbentuk lingkaran (*circular*) dengan jumlah elemen peradiasi sebanyak 4 elemen. Hasil perancangan antena *microstrip circular array* memiliki dimensi panjang 123,17 mm, lebar 103,6 mm, dan ketebalan 1,8 mm, antena mikrostrip yang dirancang pada frekuensi kerja 2,4 GHz. Hasil perancangan menunjukkan bentuk pola radiasi *microstrip circular array* empat elemen adalah *bidirectional* pada frekuensi 2,4 GHz. Nilai VSWR yang dihasilkan sebesar 1,29, *return loss* sebesar -17,949 dB, *gain* yang dihasilkan sebesar 6,21 dBi, dan nilai *directivity* sebesar 8,76 dB. Hasil pengukuran polarisasi menunjukkan bahwa antena *microstrip circular array* memiliki polarisasi *ellips*.

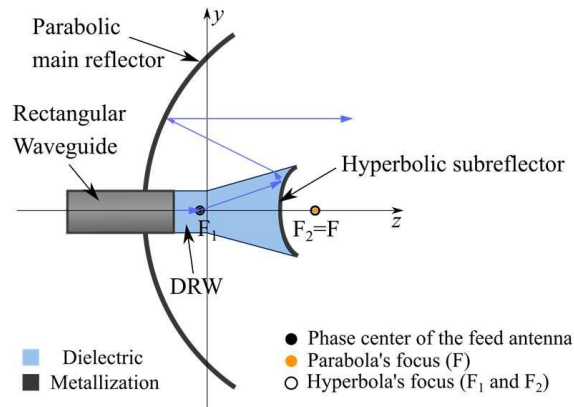
Antena Cassegrain yang mempunyai *gain* tinggi telah dibahas [7]. Antena yang telah dikembangkan dengan konfigurasi reflektor ganda dan teknologi kompensasi fase oleh *mobile station*. Antena yang telah dikembangkan ini akan menawarkan keuntungan berupa *gain* yang besar dan profil yang ramping. Antena ini tidak hanya menawarkan *gain* yang besar pada frekuensi kerja 5,8 GHz, tetapi juga menunjukkan kinerja yang memuaskan. Penelitian [8] membahas tentang desain antenna Cassegrain pada frekuensi 35 GHz dan 94 GHz dengan bentuk *feedhorn* kerucut. Hasil menunjukkan bahwa *bandwidth* pada frekuensi 35 GHz lebih sempit dibandingkan dengan frekuensi 94 GHz. Hasil simulasi menunjukkan bahwa antena ini dapat digunakan dalam *dual band*, yaitu 35/94 GHz dalam radar *milimeter wave*.

Penelitian serupa yang membahas tentang desain antenna Cassegrain telah dibahas pada penelitian [9], yang menitikberatkan pada penggunaan radio *telescope*. Peran antena yang sangat vital pada komunikasi radio *telescope* menjadi poin penting yang mengedepankan desain dari reflektor utama dan diameter dari sub reflektor. Penelitian tentang antenna Cassegrain yang berfokus pada pola radiasi telah dikembangkan untuk operasi frekuensi *broadband* [10]. Desain antenna ini menggabungkan bentuk antena *planar helical*, *metasurface* pada reflektor utama, dan bahan *metamaterial* pada sub-reflektor. Pada reflektor utama didesain untuk fokus pada polarisasi sirkular di frekuensi 13 GHz. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa didapat *gain* sebesar 26,6 dBi pada frekuensi 12,6 GHz dengan polarisasi sirkular-*right handed*.

2.1 Antenna Cassegrain

Antena Cassegrain adalah antena reflektor ganda yang terdiri dari permukaan parabola sebagai reflektor utama dan sebuah hiperboloid sebagai subreflektor [11]. Antena Cassegrain digunakan untuk menerima sinyal yang dikirim oleh satelit. Antena Cassegrain juga digunakan untuk mengirimkan sinyal

komunikasi dari *ground station* ke satelit, sinyal yang dihasilkan oleh transmitter diarahkan ke subreflektor yang kemudian dipantulkan ke reflektor utama [12]. Antena Cassegrain memiliki keunggulan dalam hal kualitas sinyal karena *gain* yang tinggi. *Gain* yang tinggi memungkinkan antena menghasilkan sinyal yang kuat dan sensitivitas tinggi. Antena Cassegrain juga memiliki fokus yang baik. Namun penggunaan antena Cassegrain memiliki beberapa kelemahan yaitu terjadi *signal loss* yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis antena parabola lain. Antena Cassegrain memiliki struktur kompleks yang dapat menyebabkan pelemahan sinyal (*delay*) pada komunikasi satelit [3].

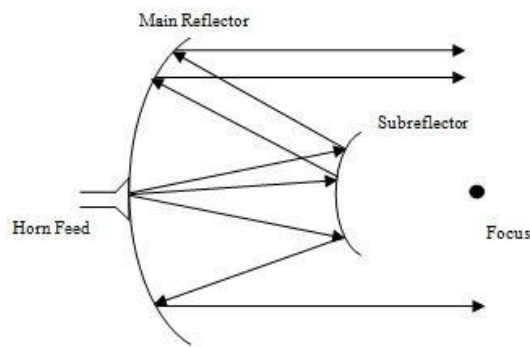


Gambar 1. antena cassegrain [2]

Antena Cassegrain memiliki struktur geometri:

1) Reflektor

Antena cassegrain memiliki dua reflektor, yaitu reflektor utama yang berbentuk parabola dan sub-reflektor berbentuk hiperbola yang terbuat dari bahan yang memantulkan gelombang elektromagnetik, seperti logam atau bahan dielektrik [13]. Fungsi reflektor antena Cassegrain adalah untuk mengarahkan gelombang elektromagnetik ke arah yang diinginkan untuk menerima dan mengirimkan sinyal [14].



Gambar 2. Reflektor antena Cassegrain [7]

Untuk menentukan luas efektif antena Cassegrain (A_{eff}) diperlukan parameter (A_p) yang merupakan luas reflektor utama dan (A_e) merupakan luas subreflektor. Luas efektif antena Cassegrain (A_{eff}) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1 dan 2. Untuk menghitung jarak titik fokus main reflektor (L_{f1}) dan sub reflektor (L_{f2}) menggunakan panjang gelombang (λ) menggunakan persamaan sebagai berikut [15] :

$$A_p = \pi \left(\frac{D_p}{2}\right)^2 \tag{1}$$

$$A_e = \pi \left(\frac{D_e}{2}\right)^2 \tag{2}$$

$$A_{eff} = A_p \times A_e \quad (3)$$

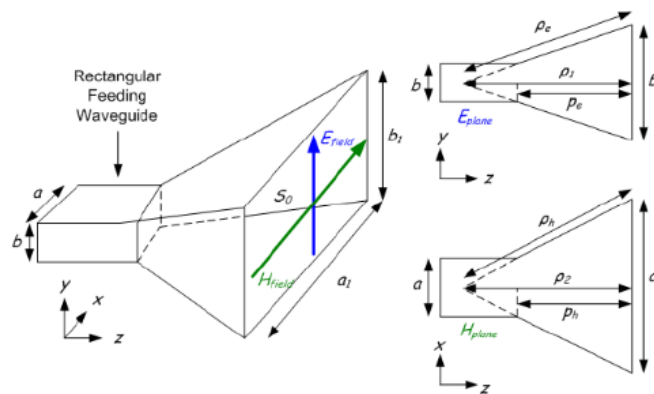
$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4)$$

$$L_{f1} = \frac{n\lambda}{4} \quad (5)$$

$$L_{f2} = \frac{n\lambda}{4} \quad (6)$$

2) *Feed horn*

Horn piramid atau dikenal juga sebagai *feed horn* piramid adalah antena yang digunakan untuk mengirim dan menerima gelombang elektromagnetik. *Horn* piramid pada antena Cassegrain berfungsi untuk mengarahkan dan mengumpulkan energi gelombang elektromagnetik ke reflektor utama. Bentuk antena *horn* piramid memungkinkan untuk mengarahkan pola radiasi yang terfokus dan terarah [16] Struktur geometris piramid *horn* adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Sketsa Geometri *feed horn* piramid [11]

Untuk membentuk geometri *horn* piramid medan listrik (P_e) dan medan magnet (P_h) diperlukan parameter pembentuk *waveguide* yang memiliki dimensi a dan b dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (7) hingga (10) [15].

$$a = 0,5 \lambda \quad (7)$$

$$a_1 = 5.5 \lambda \quad (8)$$

$$b = 0.25 \lambda \quad (9)$$

$$b_1 = 2.75 \lambda \quad (10)$$

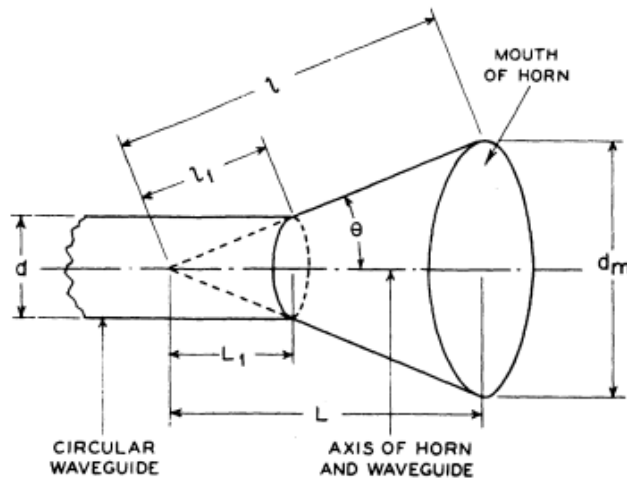
Untuk mendapatkan dimensi medan listrik (P_e) dan medan magnet (P_h) digunakan persamaan (11) dan (12) [14].

$$P_e = (b_1 - b) \sqrt{\left(\frac{p_h}{b_1}\right)^2 - \frac{1}{4}} \quad (11)$$

$$P_h = (a_1 - a) \sqrt{\left(\frac{p_e}{a_1}\right)^2 - \frac{1}{4}} \quad (12)$$

Conical horn adalah *feed horn* berbentuk kerucut dengan pemandu gelombang berbentuk melingkar yang digunakan dalam antena Cassegrain. *Conical horn* ditempatkan di dekat fokus subreflektor untuk mengarahkan dan memfokuskan energi gelombang elektromagnetik ke main reflektor [17]. Penggunaan

conical horn dapat menghasilkan pola radiasi terarah yang membantu dalam mengirim dan menerima sinyal dengan presisi tinggi.



Gambar 4. Geometri *horn conical* [6]

Untuk menentukan perhitungan dimensi pada *horn conical* dengan menghitung diameter bagian kerucut (dm), Panjang kerucut (Lm) dan diameter *horn* pada bagian waveguide (d_{flare}) menggunakan persamaan 2.13 sampai 2.15 [15].

$$dm = \frac{\lambda}{(2 \times \sin\theta)} \quad (13)$$

$$Lm = \frac{\lambda}{(4 \times \sin\theta)} \quad (14)$$

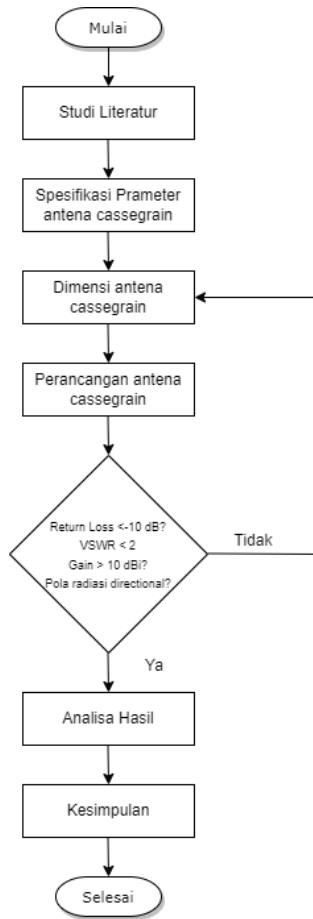
$$d_{flare} = D_{cone} \times \tan\theta \quad (15)$$

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan merancang antenna Cassegrain dengan *feed horn* piramid dan conical pada frekuensi C-Band rentang 4GHz – 8GHz. Pada penelitian ini frekuensi kerja yang digunakan sebesar 6,15 GHz. Dalam perancangan antenna Cassegrain akan menentukan spesifikasi antenna Cassegrain, perhitungan dimensi, dan perancangan antenna menggunakan *software CST suite studio*. Parameter yang diperoleh dalam perancangan antenna adalah *return loss*, *VSWR*, *bandwidth*, *gain*, pola radiasi, dan polarisasi. Tujuan dari simulasi antenna adalah bagaimana kinerja antenna yang diperoleh apakah sudah sesuai dengan perancangan spesifikasi awal, dan mendapatkan hasil *gain* serta pola radiasi yang diharapkan.

3.1 Diagram penelitian

Penelitian ini memerlukan beberapa tahap seperti ditunjukkan oleh Gambar 5. Untuk tahap awal, yaitu menentukan spesifikasi yang ingin dicapai. Berikutnya menghitung dimensi antenna yang terdiri dari *main* reflektor, subreflektor, dan *feed horn*. Selanjutnya, optimasi dimensi antenna yang digunakan untuk mencapai standar parameter yang dibutuhkan.



Gambar 5. flowchart alur penelitian

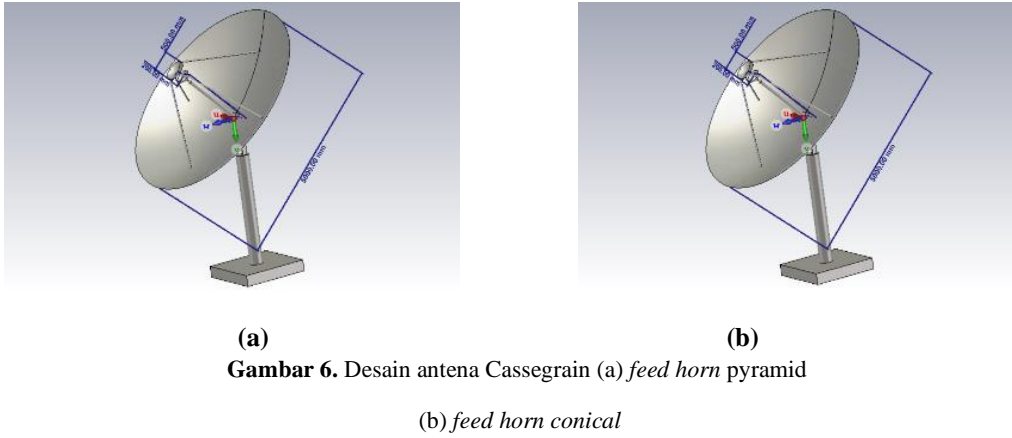
3.2 Rancangan sistem

Penelitian ini memiliki acuan parameter standar untuk melakukan analisis data hasil yang akan diperoleh. Berikut merupakan spesifikasi yang digunakan:

Tabel 1. Spesifikasi parameter antenna cassegrain

Parameter	Keterangan
Frekuensi tengah	6,15GHz
VSWR	< 2
Gain	≥ 10 dBi
Bandwidth	81 MHz
Return loss	< -10 dB
Pola radiasi	<i>Directional</i>
Crosspolarization	≥ 30 dB
Polarisasi	Circular

3.3 Desain antenna Cassegrain sesuai perhitungan

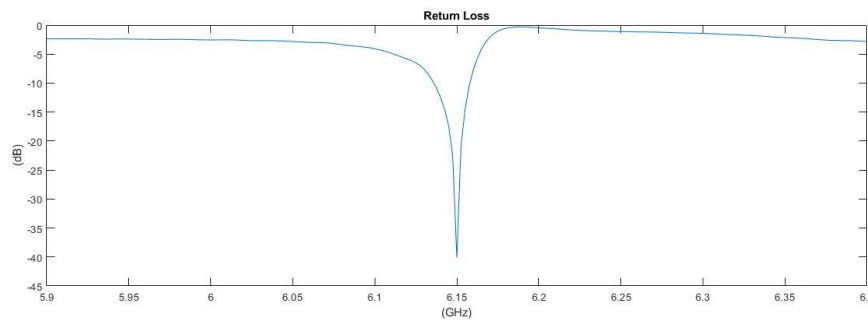


Tabel 2. Parameter desain antenna Cassegrain

Parameter		Geometri Perangkat	Nilai
Feed horn Piramid	Aperture	a	0,024 m
		a ₁	0,264 m
		b	0,012 m
		b ₁	0,132 m
	Flared Horn	P _e	0,36m
		P _h	0,23 m
Feed horn conical	Aperture	D _{cone}	0,048 m
		L _{cone}	0,024 m
	Cone Horn	D _{flare}	0,027 m
		lam	7.564 m
Reflektor Antena Cassegrain		D _p	8 m
		D _e	0,5 m
		A _p	19,62 m ²
		A _e	0,1962 m ²
		A _{eff}	3,84 m ²
		L _{f1}	0,036 m
L _{f2}	0,012 m		

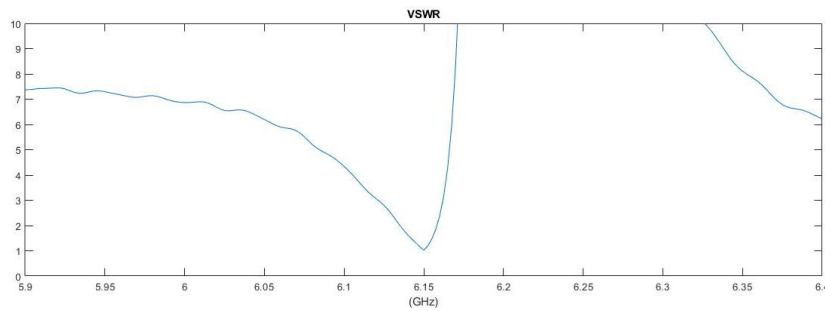
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian antenna Cassegrain ini menggunakan dua tipe *feed horn* yaitu piramid *horn* dan *conical horn*. Hasil dari penelitian akan melihat hasil *gain* dan pola radiasi serta penggunaan *feed horn* [15] untuk mendapatkan hasil yang optimal dan bekerja pada frekuensi kerja yang ditentukan yaitu sebesar 6,15Ghz.



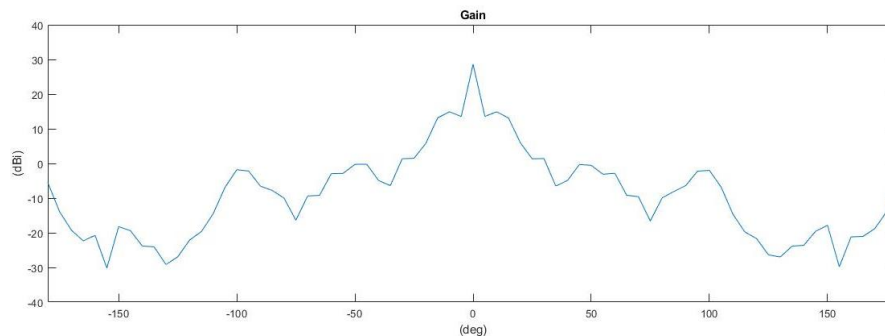
Gambar 7. Nilai *return loss* antenna Cassegrain

Hasil parameter *return loss* pada diameter 8m menggunakan *feed horn* piramid menghasilkan *return loss* - 40,1 dB dengan *bandwidth* 23,2 MHz. Dari hasil pengujian, nilai *return loss* yang didapat sudah memenuhi spesifikasi yaitu < -20 dB.



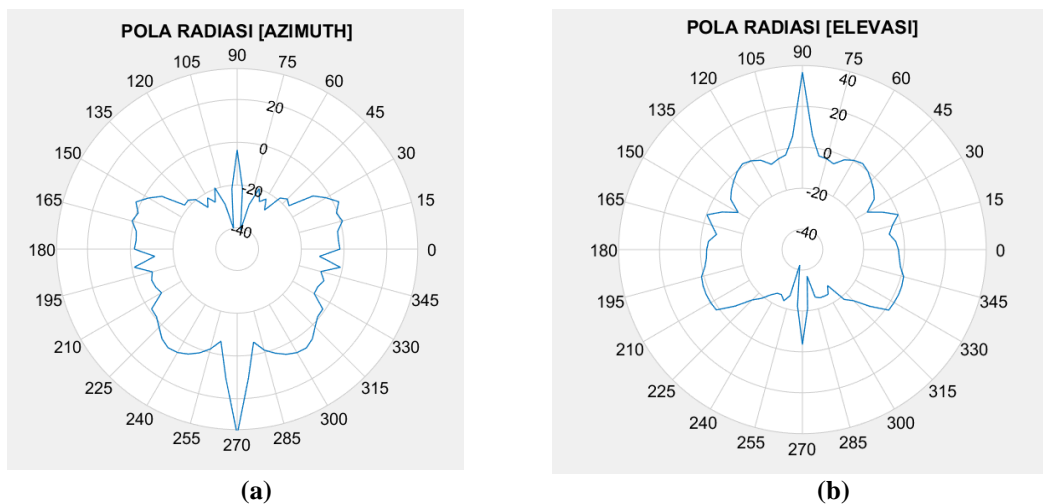
Gambar 8. Nilai VSWR antenna Cassegrain

Dari hasil pengujian nilai VSWR antenna Cassegrain dengan *feed horn* yang didapat sudah memenuhi spesifikasi < 2 . Hasil VSWR dari pengujian hampir mencapai nilai ideal yaitu 1,01. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar sinyal ditransmisikan ke antenna dan tidak ada energi yang hilang, atau dengan kata lain bahwa saluran transmisi sudah *matched* [18].



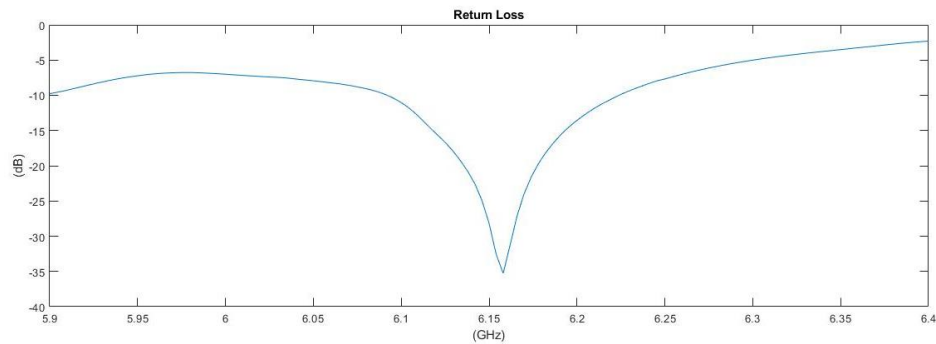
Gambar 9. Nilai gain antenna cassegrain

Hasil parameter *gain* yang dihasilkan oleh antenna Cassegrain dengan *feed horn* piramid setelah dilakukan optimasi pada diameter *main* reflektor 8m sebesar 28 dBi. *Gain* yang dihasilkan sudah memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu sebesar >20 dBi untuk antenna reflector [19].



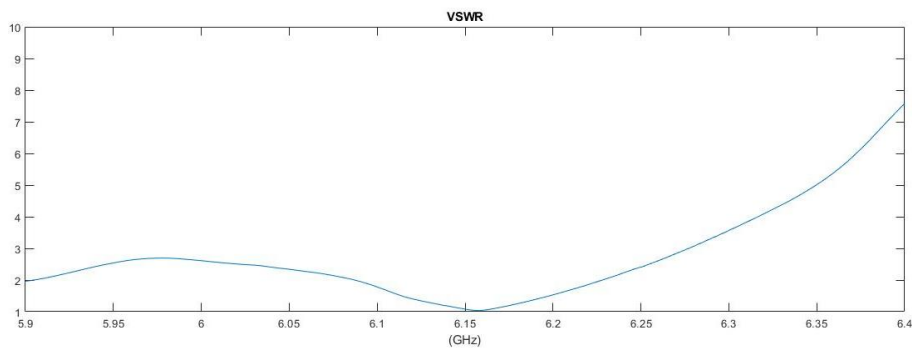
Gambar 10 (a). Pola radiasi sudut azimuth
(b). Pola radiasi elevasi

Hasil parameter pola radiasi yang dihasilkan oleh antenna Cassegrain dilihat dari sudut azimuth yang ditunjukkan oleh Gambar 10 (a) pada diameter *main* reflektor 5m menunjukkan menunjukkan kekuatan sinyal pada *main lobe* 15,8 dBi pada arah 11,0 deg. Nilai *sidelobe* yang dihasilkan sebesar -1,1 dB dengan lebar sudut 4,6 deg. Hasil parameter pola radiasi yang dihasilkan oleh antenna Cassegrain dilihat dari sudut elevasi seperti ditunjukkan oleh Gambar 10 (b) pada diameter *main* reflektor 8m menunjukkan kekuatan sinyal pada *main lobe* 15,8 dBi pada arah 11,0 deg. Nilai *sidelobe* yang dihasilkan sebesar -6 dB dengan lebar sudut 4,6 deg. Pola radiasi diperlukan untuk mengetahui berapa besar perubahan kekuatan medan gelombang elektromagnetik pada semua posisi dalam jarak sama dari suatu antenna [20]



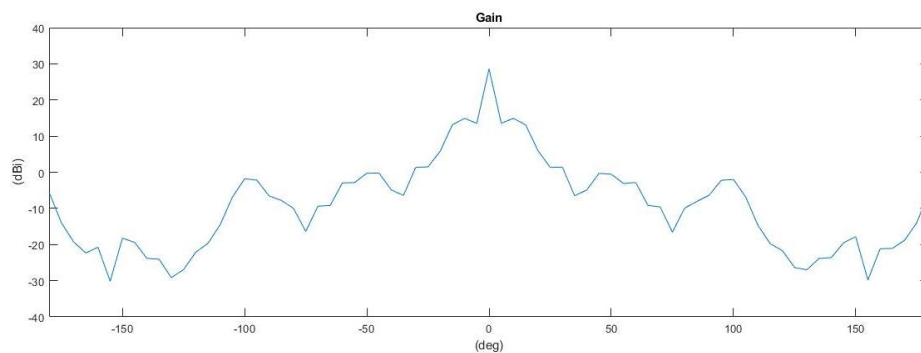
Gambar 11. Nilai *return loss* antenna cassegrain

Hasil parameter *return loss* pada diameter 8m dengan *feed horn* piramid menghasilkan *return loss* - 27,96 dB dengan *bandwidth* sebesar 129,6 MHz. Dari hasil pengujian, nilai *return loss* memenuhi persyaratan yaitu <-20 dB.



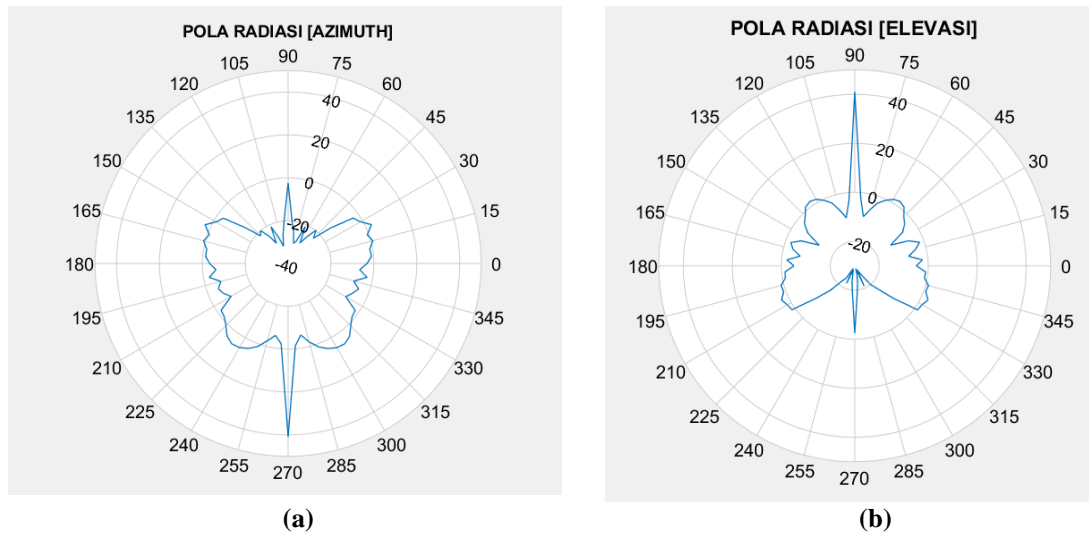
Gambar 12. Nilai VSWR antenna Cassegrain

Dari hasil pengujian nilai VSWR antenna Cassegrain dengan *feed horn conical* yang didapat sudah memenuhi spesifikasi <2. Hasil VSWR dari pengujian hampir mencapai nilai ideal yaitu 1,08. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar sinyal ditransmisikan ke antenna dan tidak ada energi yang hilang.



Gambar 13. Nilai gain antenna cassegrain

Hasil parameter *gain* yang dihasilkan oleh antenna Cassegrain dengan *feed horn conical* setelah dilakukan optimasi pada diameter *main* reflektor 8m sebesar 41 dBi. *Gain* yang dihasilkan sudah memenuhi spesifikasi yang diharapkan yaitu sebesar >20 dBi untuk antenna reflektor.



Gambar 14 (a) Pola radiasi sudut azimuth
(b) Pola radiasi sudut elevasi

Hasil parameter pola radiasi yang dihasilkan oleh antenna Cassegrain dilihat dari sudut azimuth seperti ditunjukkan oleh Gambar 14 (a) pada diameter *main* reflektor 8m menunjukkan kekuatan sinyal pada *main lobe* 41 dBi pada arah 90,0 deg. Nilai *sidelobe* yang dihasilkan memenuhi standar yaitu sebesar -35,0 dB dengan lebar sudut 0,7 deg. Hasil parameter pola radiasi yang dihasilkan oleh antenna Cassegrain dilihat dari sudut elevasi seperti ditunjukkan oleh Gambar 14 (b) pada diameter *main* reflektor 5m menunjukkan kekuatan sinyal pada *main lobe* 41 dBi pada arah 90,0 deg. Nilai *sidelobe* yang dihasilkan memenuhi standar yaitu sebesar -32,8 dB dengan lebar sudut 0,7 deg.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh dapat diambil kesimpulan bahwa antenna Cassegrain dengan *feed horn* piramid menghasilkan nilai *return loss* sebesar -40,1 dB, VSWR sebesar 1,01. Antena Cassegrain dengan *feed horn conical* menghasilkan nilai *return loss* sebesar -27,96 dB, VSWR sebesar 1,24. Nilai *return loss* yang dihasilkan sudah memenuhi spesifikasi. Hasil pengukuran *gain* dan pola radiasi antenna Cassegrain dengan *feed horn* piramid menghasilkan nilai *gain* sebesar 28 dBi. Pola radiasi yang dihasilkan dengan kekuatan sinyal pada *main lobe* 15,8 dBi pada arah 11,0 deg. Nilai *sidelobe* yang dihasilkan sebesar -6 dB dengan lebar sudut 4,6 deg. Hasil pengukuran *gain* dan pola radiasi antenna Cassegrain dengan *feed horn conical* menghasilkan nilai *gain* sebesar 41 dBi. Pola radiasi yang dihasilkan dengan kekuatan sinyal pada *main lobe* 41 dBi pada arah 90,0 deg. Nilai *sidelobe* yang dihasilkan memenuhi standar yaitu sebesar -35,0 dB dengan lebar sudut 0,7 deg.

REFERENCES

- [1] E. Sandi, A. Diamah, and A. I. Santoso, "Desain Antena Reflektor Parabola untuk Aplikasi Radar Maritim dengan Reayasa *Feed horn*," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol.11, no.2, p.451, Apr. 2023, doi:10.26760/elkomika.v11i2.451.
- [2] C. Kurniaty, H. Wijanto, and J. S. Suryana, "Komparasi Performansi Antena Mikrostrip C-Band Susunan 4-Element Antara Bahan Tembaga Dan Emas Performance Comparison Between Gold And Copper C-Band 4-Elements Microstrip Array Antenna."
- [3] W. P. Imam MPB, *Sistem Komunikasi Satelit*, Yogyakarta: Andi Offset, 2014.
- [4] Lee, Tae-Hak, Jinwoo Jung, and Seongmin Pyo. 2024. "Circularly Polarized 4 × 4 Array Antenna with a Wide Axial Ratio Bandwidth" *Electronics* 13, no. 11: 2076. <https://doi.org/10.3390/electronics13112076>
- [5] I. Andri Sri, U. Maria, Hadiyanto, "Pengaruh Beamwidth, Gain dan Pola Radiasi terhadap Performansi Antena Penerima" *Jurnal Teknologi Terpadu*, vol.6, No.1, April 2018, ISSN 2338-6649
- [5] D. F. K. R. T. Erfan Achmad Dahlan, "Pola Radiasi antenna mikrostrip," *Rancang Bangun Antena Microstrip Circular Array Four Element 2,4 Ghz Dengan Pola Radiasi Bidirectional*, vol. 2, no. 1, p. 44, 2008

- [6] G. P. Gao, C. Yang, B. Hu, S. F. Wang, and R. F. Zhang, "Design of a high-gain and low-profile quasi-cassegrain antenna based on metasurfaces," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 17, no. 8, pp. 1435–1439, Aug. 2018, doi: 10.1109/LAWP.2018.2848920.
- [7] J. Wang, J. Xiang Ge, Y. Zhou, H. Xia, and X. Zhi Yang, "Design of a High-Isolation 35/94-GHz Dual-Frequency Orthogonal-Polarization Cassegrain Antenna," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 16, pp. 1297–1300, 2017, doi: 10.1109/LAWP.2016.2633284.
- [8] S. Farhan Fatwa, N. Satia, H. Fauzia, S. Peberlin, "Study of Cassegrain-type antenna for radio telescope", *The International Symposium on Space Science 2021 (ISSS)*, *Journal of Physics* Volume 2214.
- [9] S. Wang, H. -X. Xu, M. Wang, C. Wang, Y. Wang and X. Ling, "A Low-RCS and High-Gain Planar Circularly Polarized Cassegrain Meta-Antenna," in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 7, pp. 5278-5287, July 2022, doi: 10.1109/TAP.2022.3161394.
- [10] K. Quzwain, Y. Yamada, K. Kamardin, N. H. A. Rahman and T. A. Rahman, "Design of Shaped Offset Dual-Reflector Antenna for 5G Mobile Base Station," *2018 IEEE International RF and Microwave Conference (RFM)*, Penang, Malaysia, 2018, pp. 5-8, doi: 10.1109/RFM.2018.8846553.
- [11] S. I. Ao and International Association of Engineers., *International MultiConference of Engineers and Computer Scientists : IMECS 2009 : 18-20 March, 2009, Regal Kowloon Hotel, Kowloon, Hong Kong*. Newswood Ltd., 2009
- [12] K. Karki *et al.*, "A New Computation Method For Pointing Accuracy Of Cassegrain Antenna In Satellite Communication ," *Article in Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 15, no. 13, 2017, [Online]. Available: www.jatit.
- [13] M. Putra., "Rancang Bangun Antena Biquad Dengan Reflektor Grid Parabolik Untuk Mengoptimalkan Gain Antena Pada Frekuensi 450 Mhz," *Jurnal Tektro*, vol. 4, no. 2, 2020
- [14] M. Alaydrus, *Antena Prinsip & Aplikasi*, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.
- [16] R. K. Chand, "Radiation Analysis and Design of Piramidal *Horn* Antenna." [Online]. Available: www.ijert.org
- [17] M. K. T. Al-Nuaimi, W. Hong, and Y. Zhang, "Design of high-directivity compact-size *conical horn* lens antenna," *IEEE Antennas Wirel Propag Lett*, vol. 13, pp. 467–470, 2014, doi: 10.1109/LAWP.2013.2297519.
- [18] R. Evi Rahmawati, S. Eko, H. Gamantyo, "Optimasi Antena Mikrostrip Rectangular Patch Polarisasi Sirkuler pada Frekuensi 2.4 Ghz dengan Algoritma Genetika Untuk Satelit Nano" *JURNAL TEKNIK POMITS* Vol. 2, No. 2, (2013) ISSN: 2337-3539
- [19] H. Liu, A. Denisov, H. Zong and S. Lin, "Design and analysis of a cassegrain antenna with an annular sub-reflector," *2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI)*, Fajardo, PR, USA, 2016, pp. 1383-1384, doi: 10.1109/APS.2016.7696398.
- [20] Hasbi.W, "Analisis Pola Radiasi dan Pola Error Antena Cassegrain Pada Beberapa Frekuensi S-Band", *Majalah LAPAN*, vol. 6 No.1 Juni 2004, ISSN 0126-0480