

# **PENGEMBANGAN ANTENA HELIKS QUADRIFILAR 2,22 GHZ UNTUK SATELIT MIKRO (DEVELOPMENT OF 2.22 GHZ QUADRIFILAR HELIX ANTENNA FOR MICRO SATELLITE)**

**Iwan Faizal<sup>1</sup>, Irwan Priyanto<sup>2</sup>, Rifki Ardinal<sup>3</sup>, Suhata<sup>4</sup>**

**<sup>1,2,3,4</sup>PUSAT TEKNOLOGI SATELIT-LAPAN**

**e-mail: iwan.faizal@lapan.go.id**

**Diterima: 28 Februari 2019; Direvisi: 10 April 2019; Disetujui: 30 April 2019**

## **ABSTRACT**

The basic form quadrifilar helical antenna developed by C. C. Kilgus of Applied Physics Laboratory, Johns Hopkins University, USA. This antenna has a wide beam width up to  $240^\circ$  with cardioid shaped radiation pattern, circularly polarized and does not require a ground plane. Quadrifilar helical antenna has a diameter to height ratio of 0.66. This means that the antenna is placed in the on-board satellites as the transmitter (Tx). The size of this antenna is  $\frac{1}{2} \lambda$   $\frac{1}{2}$  turns and are included in the fractional-turn variants. The purpose of this research is to create a prototype quadrifilar helical antenna for micro satellite, with a frequency of 2.22 GHz and then tested on a laboratory scale. From the results of laboratory testing, the magnitude of the RL (Return Loss) is -18.55 dB, the magnitude of VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) is 1.26, the magnitude of the bandwidth is 6.04 %, the magnitude of the HPBW (Half Power Beamwidth) is  $170^\circ$  and the magnitude of gain is 5.19 dB.

Keywords: *Helix Quadrifilar, R/LHCP, AO-40, Ratio, 0.66*

## **ABSTRAK**

Bentuk dasar antena heliks *quadrifilar* dikembangkan oleh C. C. Kilgus dari Laboratorium Fisika Terapan, Universitas Johns Hopkins, USA. Antena ini memiliki *beamwidth* yang lebar sampai  $240^\circ$  dengan pola radiasi berbentuk jantung, berpolarisasi sirkular dan tidak memerlukan reflektor. Antena heliks *quadrifilar* memiliki rasio diameter terhadap tingginya 0,66. Artinya antena ini ditempatkan di *on-board* satelit sebagai pemancar (Tx). Ukuran dari antena ini adalah  $\frac{1}{2} \lambda$   $\frac{1}{2}$  putaran dan termasuk dalam varian putaran kecil. Tujuan dari riset ini adalah membuat prototip antena heliks *quadrifilar* untuk satelit mikro, dengan frekuensi 2,22 GHz dan selanjutnya diuji dalam skala laboratorium. Dari hasil pengujian laboratorium, besarnya *RL* adalah -18.55 dB, besarnya *VSWR* adalah 1,26, besarnya lebar pita adalah 6,04 %, besarnya lebar berkas adalah  $170^\circ$  dan besarnya penguatan adalah 5,19 dB.

Kata kunci: *Heliks Quadrifilar, R/LHCP, AO-40, Rasio, 0,66*

## 1 PENDAHULUAN

Antena merupakan bagian dari komponen subsistem satelit mikro yang memiliki peranan sangat penting dalam komunikasi satelit. Dalam komunikasi satelit ini, untuk menjangkau *coverage area* yang ditentukan, seringkali dibutuhkan *beamwidth* antena yang lebar ( $>90^\circ$ ). Untuk mencapai *beamwidth* yang lebar ini, telah banyak dibuat antena namun kebanyakan tidak praktis secara mekanik. Hal ini bisa berakibat sulit dalam pemasangan dan terlalu menghabiskan ruang yang telah ditentukan, sehingga antena tersebut menjadi tidak efektif lagi [Kilgus, C. C]. Dengan dimensi satelit mikro yang terbatas, pemilihan antena heliks *quadrifilar* sebagai antena satelit mikro merupakan solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan ini.

Struktur antena heliks *quadrifilar* terdiri dari dua putaran *bifilar* atau setengah putaran *quadrifilar*. *Loop bifilar* diorientasikan dalam sumbu yang saling *orthogonal* [Sowmya, R. R, Dr. G. Murugesan].

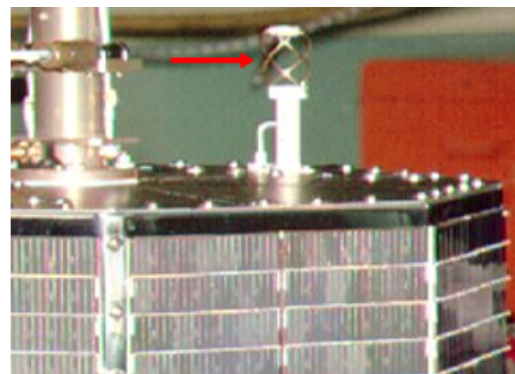
Antena ini termasuk dalam varian antena heliks *quadrifilar fractional-turn self-phasing* empat elemen yang menghasilkan resonansi. *Beamwidth* berbentuk *cardioid* dari  $90^\circ - 240^\circ$ , *front-to-back ratio* yang tinggi dan polarisasi sirkular yang baik secara simultan diperoleh dengan pemilihan parameter heliks yang tepat [Kilgus, C. C], [Chapari, A., et al], [Faiz, T], [Sharma, S., et al]. Antena ini juga memiliki *axial ratio* yang bagus [Faiz, T], [Sharma, S., et al] dan tahan terhadap efek rotasi *Faraday* di ionosfer [Sharma, S., et al].

Antena heliks *quadrifilar* banyak digunakan untuk satelit komunikasi *space* [Takacs, A., et al], [Costantine, J., et al ], [Chapari, A., et al] karena propertinya yang tepat seperti *conical beam*, ukurannya kecil, konstruksi yang

ringan dan tidak memerlukan reflektor [Chapari, A., et al].

Selain digunakan sebagai pembaca RFID (*Radio Frequency Identification*) [Huang, C. F and Y T Huang], antena ini juga dapat digunakan untuk aplikasi satelit dan sistem komunikasi bergerak [Bhuma, N and C Himabindh], [Fraser, H], [Saidulu, V], untuk TT&C [Narimani, R and L Farhoudi], [Takacs, A., et al], GPS receiver [Fais, M], [Mo, J., et al], [Wang, Y. S and S J Chung], [Kumar, P. M., et al] serta ponsel dan terminal [Fan, B., et al] karena pola radiasinya yang berbentuk *hemispherical*.

Umumnya antena heliks *quadrifilar* digunakan di orbit LEO (*Low Earth Orbit*) satelit komunikasi [Patel, S and Prof. N Tevar], seperti di satelit AO-7, AO-40 dan TIROS-N dengan performa sangat baik.



Gambar 1-1: Model antena heliks *quadrifilar* pada satelit AO-7

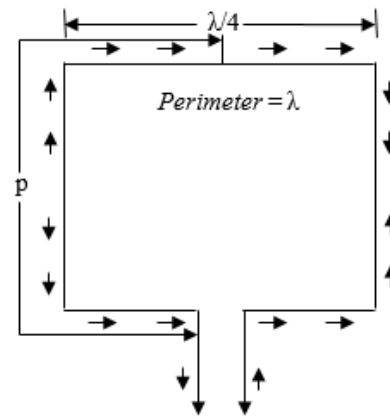
Antena heliks *quadrifilar* juga dapat digunakan sebagai *feed* untuk *dish* parabola yang dapat meningkatkan *gain*-nya [Marini, Domenico, I8CVS]. Dapat mengirim dan menerima sinyal berpolarisasi sirkuler diatas wilayah *angular* yang luas. Karakteristik radiasinya sebagian besar ditentukan oleh bentuk heliksnya yaitu banyaknya putaran, *pitch angle*, tinggi antena dan diameter antena [Sharma, S., et al].

Tujuan dari riset ini adalah membuat prototip antena heliks *quadrifilar* untuk satelit mikro dengan frekuensi 2,22 GHz, selanjutnya antena ini di uji dalam skala Laboratorium. Sebagai batasan masalah di dalam penelitian ini yaitu :

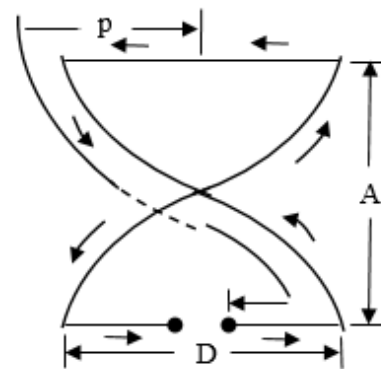
- Model antenanya adalah *volute*  $\frac{1}{2} \lambda$  putaran;
- Menggunakan *self-phasing (infinite balun)* untuk *matching impedance*;
- Jenis polarisasi antena ini adalah *RHCP (Right Hand Circular Polarization) endfire*;
- Parameter antena yang di uji adalah : *RL (Return Loss), VSWR, bandwidth, HPBW* dan *gain*.

**2 TEORI ANTENA**

Antena heliks *quadrifilar* ini dapat dijelaskan dengan membahas *bifilar loop*  $\frac{1}{2} \lambda$  putaran. Pertama adalah dengan cara membuat *loop* bujur sangkar dengan panjang elemen (*perimeter*) =  $1\lambda$  diperlihatkan pada Gambar 2-1. Setiap sisi bujur sangkar memiliki panjang  $\lambda/4$  sebagai *feed* ke terminalnya. Panjang elemen (*p*) merupakan bagian dari radiatornya dengan panjang dimulai dari *feed* terminal menuju ke atas dan berhenti dibagian tengahnya. Panjang elemen (*p*) adalah  $\frac{1}{2} \lambda$ , sehingga konfigurasi ini disebut *bifilar loop* bujursangkar  $\frac{1}{2} \lambda$  dan nol putaran. Selanjutnya *bifilar loop* bujur sangkar diputar dibagian atasnya  $\frac{1}{2}$  putaran ( $180^\circ$ ) dengan asumsi ada tabung dibagian tengahnya yang memiliki diameter  $\frac{1}{4} \lambda$  dan dililit dengan dua kawat, sehingga setiap dua sisi vertikal menjadi  $\frac{1}{2}$  putaran heliks. Dengan dilakukannya pemutaran ini, maka diameter dan panjang elemennya akan menyusut seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2-2 [Maxwell, M.W].



Gambar 2-1: Loop bujur sangkar  $1 \lambda$



Gambar 2-2: Bifilar heliks dengan  $\frac{1}{2} \lambda$

Perhitungan rancang bangun antena heliks *quadrifilar* frekuensi 2,22 GHz dapat dilakukan menggunakan formula berikut [Marini, Domenico, I8CVS]:

Tabel 2-1: FORMULA ANTENA

| No | Uraian                        | Large Bifilar   | Small Bifilar   |
|----|-------------------------------|-----------------|-----------------|
| 1  | Diameter antena               | $0,173 \lambda$ | $0,156 \lambda$ |
| 2  | Tinggi antena                 | $0,260 \lambda$ | $0,238 \lambda$ |
| 3  | Panjang elemen                | $1,120 \lambda$ | $1,016 \lambda$ |
| 4  | Rasio diameter /tinggi antena | $D/A$           | $D/A$           |

Perhitungan jarak minimum (*R*) medan jauh antara antena pengirim dan penerima memakai persamaan berikut [C A Balanis]:

$$R \geq 2 \frac{D^2}{\lambda} \tag{2-1}$$

dengan,

$D$  = dimensi dari antenna (cm)

Jika antenna yang akan diuji identik, maka perhitungan *gain*-nya menggunakan persamaan berikut [C A Balanis]:

$$G = \frac{1}{2} [20 \log \left( \frac{4\pi R}{\lambda} \right) + 10 \log \left( \frac{P_r}{P_t} \right)] \quad (2-2)$$

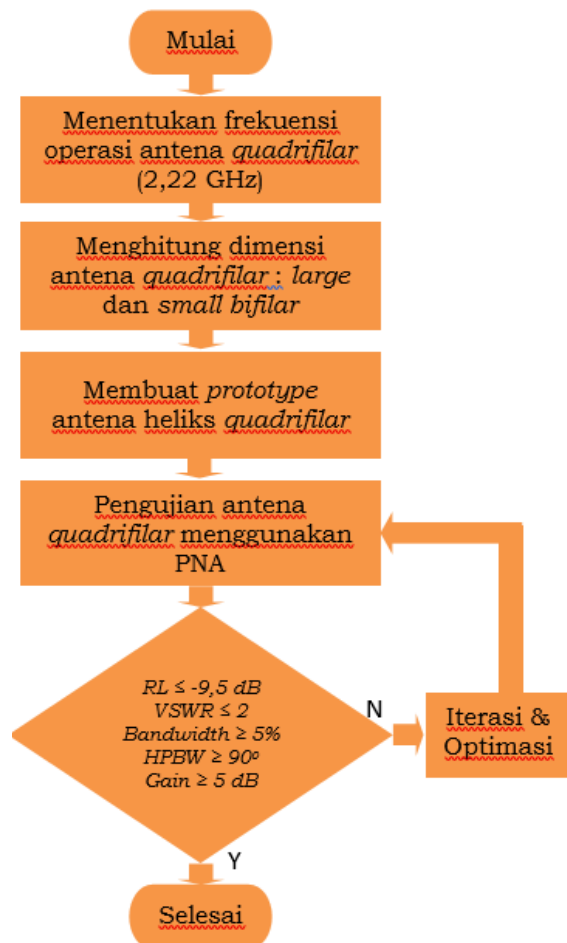
dengan,

$P_t$  = daya pancar antenna (dBm)

$P_r$  = daya terima antenna (dBm)

### 3 METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam merancang bangun antenna heliks *quadrifilar* ini adalah mengacu pada antenna heliks *quadrifilar fractional-turn self-phasing* berpolarisasi *RHCP*.



Gambar 3-1: Diagram alir penelitian

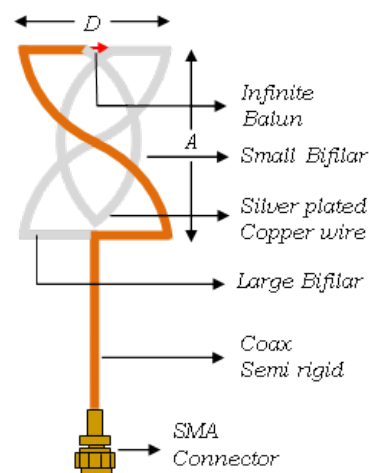
Kemudian dilakukan desain antenna menggunakan formula pada Tabel 2-1 (diameter antenna, tinggi antenna, panjang elemen, rasio diameter antenna terhadap tinggi antenanya) sampai dengan pemilihan jenis materialnya yaitu *coax semi-rigid UT-047 Ø 1,2 mm* digunakan untuk  $\frac{1}{2}$  *large bifilar*, *silver plated copper wire Ø 1,2 mm* digunakan untuk  $\frac{1}{2}$  *large bifilar* dan untuk seluruh *small bifilar* serta konektor *SMA gold male 50 Ω*. Selanjutnya dilakukan rancang bangun antenna heliks *quadrifilar* yang disesuaikan dengan desainnya (*volute*  $\frac{1}{2} \lambda$   $\frac{1}{2}$  putaran). Prototip antenna heliks *quadrifilar* hasil rancang bangun ini kemudian diuji fungsional skala laboratorium. Gambar 3-1 adalah diagram alir penelitian.

### 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Rancang Bangun Antena

Gambar 4-1 adalah model antenna heliks *quadrifilar*. Dalam merancang bangun antenna heliks *quadrifilar* ini digunakan bahan-bahan sebagai berikut:

- *Coax semi-rigid UT-047 Ø 1,2 mm* digunakan untuk  $\frac{1}{2}$  *large bifilar*.
- *Silver platd copper wire Ø 1,2 mm* digunakan untuk  $\frac{1}{2}$  *large bifilar* dan seluruh *sall bifilar*.
- Konektor *SMA gold Male 50 Ω*;



Gambar 4-1: Model antenna *quadrifilar*

Dengan mensubstitusikan besarnya panjang gelombang ( $\lambda$ ) = 13,5 cm ke dalam formula pada Tabel 2-1, maka akan didapat besarnya komponen *large bifilar* dan komponen *small bifilar* antena heliks *quadrifilar* beserta diameter konduktornya seperti pada Tabel 4-1 berikut ini.

Tabel 4-1: DATA HASIL PERHITUNGAN

| No | Parameter                     | Large Bifilar | Small Bifilar |
|----|-------------------------------|---------------|---------------|
| 1  | Diameter antena, $D$          | 2,34 cm       | 2,11 cm       |
| 2  | Tinggi antena, $A$            | 3,51 cm       | 3,22 cm       |
| 3  | Panjang elemen, $p$           | 15,14 cm      | 13,73 cm      |
| 4  | Rasio diameter /tinggi, $D/A$ | 0,67          | 0,66          |

Dengan diketahui besarnya diameter, tinggi, panjang elemen, rasio diameter/ tinggi antena dan diameter konduktor pada Tabel 4-1, maka dapat dirancang bangun prototip antena heliks *quadrifilar*  $\frac{1}{2} \lambda \frac{1}{2}$  putaran seperti Gambar 4-2.

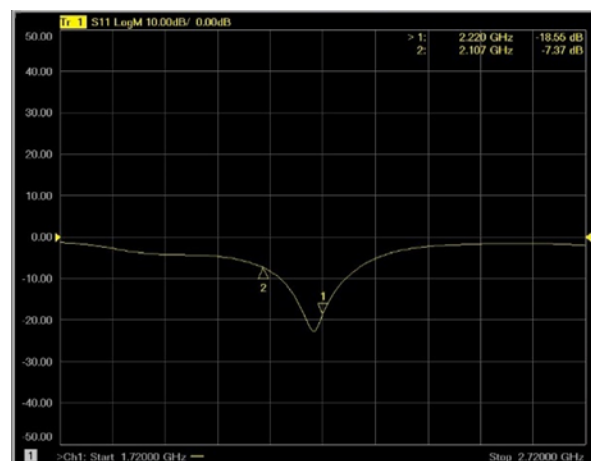


Gambar 4-2: Prototipe antena

## 4.2 Pengujian Antena

Pengujian antena heliks *quadrifilar* hasil rancang bangun dilakukan di Laboratorium BUS PUSTEKSAT LAPAN Rancabungur Bogor tanggal 7 dan 18 Desember 2018. Pengujian tersebut meliputi: pengujian *RL*, *VSWR*, *bandwidth*, *HPBW*, dan *gain*, menggunakan *PNA Network Analyzer*.

### 4.2.1 Pengujian *RL*



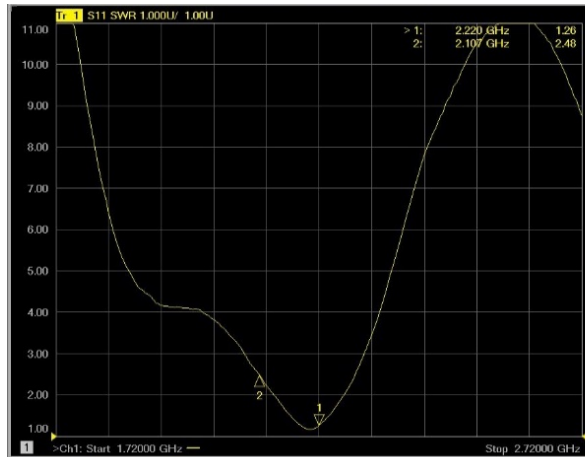
Gambar 4-3: *RL* prototype

Pada Tabel 4-4 besarnya *RL* antena [Marini, Domenico, I8CVS] dan [Zhen, S., et al] adalah -20 dB. Sementara besarnya *RL* antena hasil rancang bangun masih sedikit dibawah besarnya *RL* kedua antena tersebut. Dengan *RL* = -18,55 dB (Gambar 4-3), maka antena heliks *quadrifilar* hasil rancang bangun performanya juga sudah sangat baik, karena daya yang dipantulkan hanya sebagian kecil dan nilainya sudah memenuhi persyaratan  $RL \leq -9,5$  dB.

### 4.2.2 Pengujian *VSWR*

Gambar 4-4 adalah besarnya *VSWR* antena heliks *quadrifilar* hasil pengujian. Pada Tabel 4-4 besarnya *VSWR* antena [Marini, Domenico, I8CVS] dan [Zhen, S., et al] adalah 1,22, sementara besarnya *VSWR* antena heliks *quadrifilar* hasil rancang bangun adalah 1,26. Perbedaan nilai *VSWR* antena

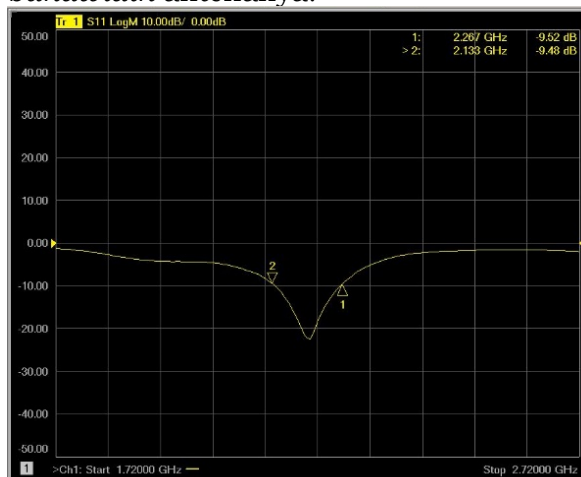
tersebut tidak terlalu jauh dan sudah memenuhi persyaratan untuk antenna yaitu  $VSWR \leq 2$ .



Gambar 4-4: VSWR prototype

#### 4.2.3 Pengujian Bandwidth

Pada Gambar 4-5 dan pada Tabel 4-4 diperlihatkan besarnya *bandwidth* antenna hasil uji, besarnya *bandwidth* adalah 134 MHz atau 6,04 % dari frekuensi yang terukur yaitu 2133-2267 MHz, dengan frekuensi *center* (resonansi) adalah 2220 MHz. Penelitian [Zhen, S., et al] *bandwidth* yang dihasilkan adalah 60 MHz. Sementara [Marini, Domenico, I8CVS] tidak menampilkan berapa besar *bandwidth* antenanya.

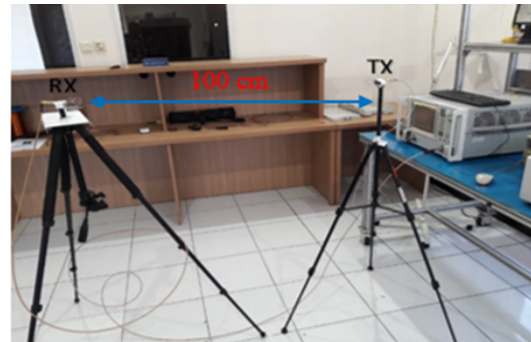


Gambar 4-5: Bandwith prototype

#### 4.2.4 Pengujian Pola Radiasi (HPBW)

Dengan menggunakan persamaan (2-1) didapat jarak ( $R$ ) minum adalah 15 cm, tetapi dalam pengujian jarak ( $R$ ) yang digunakan adalah 100 cm (Gambar 4-6).

Pada pengujian ini frekuensi diatur hanya pada frekuensi resonansi dari antenna uji yaitu 2,22 GHz. Untuk mendapatkan hasil pola radiasi, antenna uji diputar 360° dengan setiap kelipatan 10° dicatat daya sinyal yang dapat diterima.



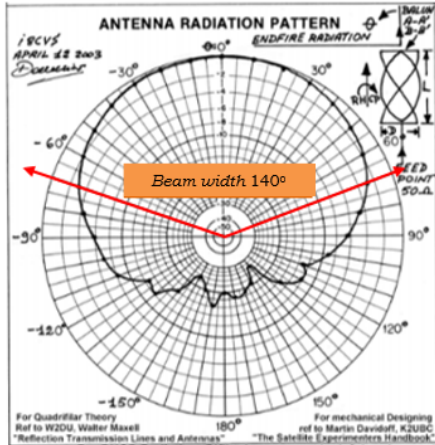
Gambar 4-6: Pengujian prototype

Tabel 4-4 memperlihatkan komparasi besarnya pola radiasi (*beamwidth*) antenna heliks *quadrifilar*. Untuk antenna hasil rancang bangun dari [Marini, Domenico, I8CVS] besar *beamwidth*-nya adalah 140° (Gambar 4-7). Sementara *beamwidth* antenna heliks *quadrifilar* hasil rancang bangun dan telah diuji di Laboratorium besarnya adalah 170° (Gambar 4-8).

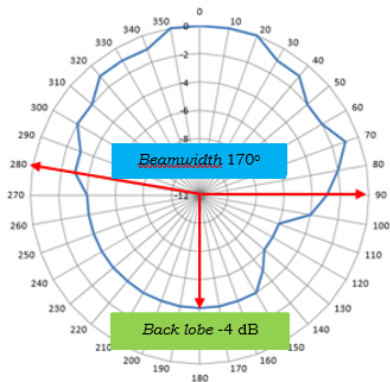
Mengacu pada eksperimen [Kilgus, C. C] (Gambar 4-9) *beamwidth* yang dihasilkan adalah 125°. Selanjutnya mengacu pada penelitian [Zhen, S., et al], *beamwidth* yang dihasilkan adalah 160°. Artinya antenna heliks *quadrifilar* hasil rancang bangun *beamwidth*-nya lebih baik 10°-45° dari ketiga penelitian dan sudah memenuhi target yang disyaratkan yaitu *coverage*-nya  $\geq 90^\circ$ , dan memiliki bentuk *hemispherical* atau *cardioid*.

Karena banyaknya bahan-bahan metal yang terdapat di Laboratorium, gangguan dari sinyal HP dan sebagainya, maka *back lobe* yang dihasilkan cukup besar yaitu -4 dB (Gambar 4-9) yang membuat nilai dari *front-to-back ratio* menurun menjadi 4 dB, yang dapat mempengaruhi kemampuan daya pancar

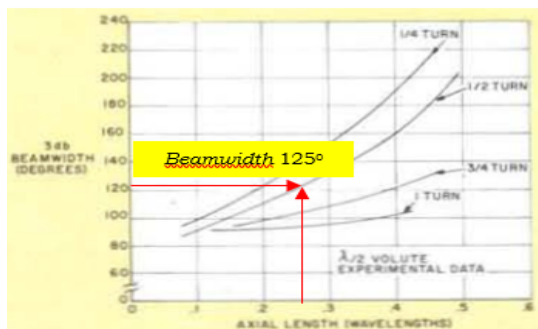
antena. Menurut [Kilgus, C. C] untuk antena heliks *quadrifilar* 1/2 putaran, nilai minimum *front to back ratio* adalah 6 dB (Gambar 4-10). Semakin besar nilai *front-to-back ratio* maka akan semakin baik kinerja dari antena tersebut, yaitu dengan cara meminimalkan pengaruh interferensi yang dapat memperbesar nilai *back lobe* antena.



Gambar 4-7: *Beamwidth* [Marini, Domenico, I8CVS]



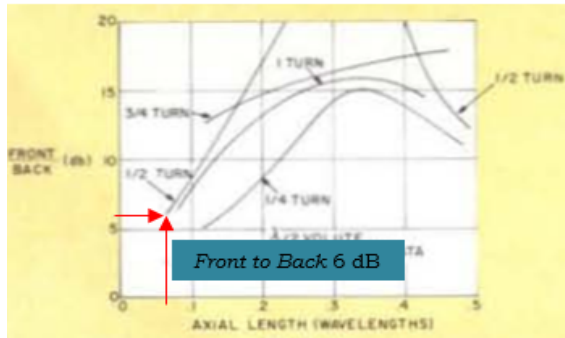
Gambar 4-8: *Beamwidth prototype*



Gambar 4-9: *HPBW* [Kilgus, C. C]

Tabel 4-2: DATA HASIL PENGUJIAN

| Sudut (θ) | Daya Penerimaan (dBm) | Kondisi Data | Normalisasi (dB) |
|-----------|-----------------------|--------------|------------------|
| 0         | -34                   | -34          | 0                |
| 10        | -34                   | -34          | 0                |
| 20        | -34                   | -34          | 0                |
| 30        | -35                   | -34          | -1               |
| 40        | -35                   | -34          | -1               |
| 50        | -36                   | -34          | -2               |
| 60        | -36                   | -34          | -2               |
| 70        | -35                   | -34          | -1               |
| 80        | -36                   | -34          | -2               |
| 90        | -37                   | -34          | -3               |
| 100       | -38                   | -34          | -4               |
| 110       | -40                   | -34          | -6               |
| 120       | -40                   | -34          | -6               |
| 130       | -40                   | -34          | -6               |
| 140       | -39                   | -34          | -5               |
| 150       | -38                   | -34          | -4               |
| 160       | -38                   | -34          | -4               |
| 170       | -38                   | -34          | -4               |
| 180       | -38                   | -34          | -4               |
| 190       | -38                   | -34          | -4               |
| 200       | -38                   | -34          | -4               |
| 210       | -38                   | -34          | -4               |
| 220       | -38                   | -34          | -4               |
| 230       | -38                   | -34          | -4               |
| 240       | -38                   | -34          | -4               |
| 250       | -38                   | -34          | -4               |
| 260       | -38                   | -34          | -4               |
| 270       | -38                   | -34          | -4               |
| 280       | -37                   | -34          | -3               |
| 290       | -37                   | -34          | -3               |
| 300       | -36                   | -34          | -2               |
| 310       | -26                   | -34          | -2               |
| 320       | -35                   | -34          | -1               |
| 330       | -35                   | -34          | -1               |
| 340       | -35                   | -34          | -1               |
| 350       | -34                   | -34          | 0                |
| 360       | -34                   | -34          | 0                |



Gambar 4-10: Front to back [Kilgus, C. C]

**4.2.5 Pengujian Gain**

Pengujian gain antenna dilakukan dengan menggunakan 2 (dua) buah antenna heliks *quadrifilar* yang identik (Gambar 4-6). Antena yang pertama digunakan sebagai media pemancar (*Tx*) sedangkan antena kedua digunakan sebagai media penerima (*Rx*). Pengujiannya sama seperti yang dilakukan pada pengujian untuk pola radiasi. Data-data untuk pengujian gain diperlihatkan pada Tabel 4-3.

Tabel 4-3: DATA PENGUJIAN GAIN

| No | Parameter                   | Nilai   |
|----|-----------------------------|---------|
| 1  | Daya pancar antenna , $P_t$ | -5 dBm  |
| 2  | Daya terima antenna, $P_r$  | -34 dBm |
| 3  | Jarak antara antenna, $R$   | 100 cm  |

Tabel 4-4: PERBANDINGAN ANTENA

| Parameter Antena | [Marini, Domenico] | [Zhen, S., et al] | Prototype       |
|------------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| <i>RL</i>        | -20 dB             | -20 dB            | -18,55 dB       |
| <i>VSWR</i>      | 1,22               | 1,22              | 1,26            |
| <i>Bandwidth</i> | -                  | 60 MHz            | 134 MHz         |
| <i>HPBW</i>      | 140°               | 160°              | 170°            |
|                  | <i>Cardioid</i>    | <i>Cardioid</i>   | <i>Cardioid</i> |
| <i>Gain</i>      | 5 dB               | 4,4 dB            | 5,19 dB         |

Daya pancar antenna ( $P_t$ ) adalah *default PNA Network Analyzer* dan daya terima antenna ( $P_r$ ) adalah daya terbesar yang dapat diterima antenna pada saat pengujian pola radiasi (Tabel 4-2, sudut 0°, 10°, 20°, 350°, 360°).

Dengan mensubstitusikan data-data pada Tabel 4-3 kepersamaan (2-2), maka akan didapat besarnya *gain* antenna yaitu 5,19 dB. Pada Tabel 4-4, *gain* antenna hasil penelitian dari [Marini, Domenico, 18CVS] adalah 5 dB dan *gain* antenna hasil penelitian dari [Zhen, S., et al] adalah 4,4 dB. Ketiga *gain* dari antenna ini perbedaannya tidak begitu besar, dan *gain* antenna hasil rancang bangun sudah memenuhi target yang disyaratkan.

**5 KESIMPULAN**

Telah dibuat *prototype* antenna heliks *quadrifilar S-Band 2,22 GHz RHCP endfire*. Antena heliks *quadrifilar* ini telah diuji dalam skala LAB dengan performa yang baik. Parameter-parameter yang diuji meliputi *RL*, *VSWR*, *bandwidth*, *HPBW* dan *gain*, dengan besarnya parameter masing-masing adalah -18.55 dB, 1,26, 134 MHz, 170° dan 5,19 dB.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada teman-teman yang telah membantu dalam penulisan paper ini terutama kepada Kepala Pusat Teknologi Satelit dan Kepala Bidang Program dan Fasilitas yang telah membantu memfasilitasi sehingga paper ini selesai.

**DAFTAR PUSTAKA**

Bhuma, N and C Himabindh., 2010. *Right hand circular polarization of a Quadrifilar helical antenna for Satellite and Mobile Communication Systems*. 978-1-4244-9183-4/10/ \$ 26.00 ©2010 IEEE.  
[https://www.researchgate.net/publication/241180222\\_Right\\_hand\\_circular\\_p](https://www.researchgate.net/publication/241180222_Right_hand_circular_p)



- [olarization of a quadrifilar helical antenna for satellite and mobile communication systems](#)
- C A Balanis., 2005. *Antenna Theory: Analysis and Design*, Third Edition. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, ISBN: 0-471-66782-X.  
<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAhOK0AF/antenna-theory-analysis-and-design-3rd-edition#>
- Chapari, A., et al., 2009. *A Low Weight S-Band Quadrifilar Helical Antenna for Satellite Communication*, 2009 13th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics and the Canadian Radio Sciences Meeting, 978-1-4244-2980-6/09/\$25.00 ©2009 IEEE.  
[http://research.iaun.ac.ir/pd/chapari/pdfs/PaperC\\_3403.pdf](http://research.iaun.ac.ir/pd/chapari/pdfs/PaperC_3403.pdf)
- Costantine, J., et al., 2016. "UHF Deployable Helical Antennas for CubeSats", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 64, No. 9, pp. 3752-3759.  
<https://www.semanticscholar.org/paper/UHF-Deployable-Helical-Antennas-for-CubeSats-Costantine-Tawk/611496757a310986c3945f1a97848151c03554bb>.
- Fais, M., 2012. *MIMO Application for the Quadrifilar Helix Antenna*, Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy from the University of Surrey.  
[http://eprints.surrey.ac.uk/770238/1/Mansor\\_2012.pdf](http://eprints.surrey.ac.uk/770238/1/Mansor_2012.pdf)
- Faiz, T., 2016. *Design of Quadrifilar Helix Antenna with Parasitic Element and Channel Characterisation for Small Cell Network*. Submitted for the Degree of Doctor of Philosophy from the University of Surrey.  
[https://www.researchgate.net/profile/Naveen\\_Balaji\\_Gowthaman/post/Suggest\\_Some\\_Latest\\_and\\_Easy\\_Research\\_paper\\_to\\_implement\\_designing\\_of\\_Helical\\_Antenna\\_at\\_UHF\\_band\\_for\\_satellite\\_applications\\_and\\_also\\_to\\_improve\\_gain/attachment/59d6466379197b80779a167a/AS%3A457648928759810%401486123415288/download/Tengku\\_Thesis\\_Aproved\\_2016.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Naveen_Balaji_Gowthaman/post/Suggest_Some_Latest_and_Easy_Research_paper_to_implement_designing_of_Helical_Antenna_at_UHF_band_for_satellite_applications_and_also_to_improve_gain/attachment/59d6466379197b80779a167a/AS%3A457648928759810%401486123415288/download/Tengku_Thesis_Aproved_2016.pdf)
- Fan, B., et al., 2016. "Design of a dual (UHF/S) bands antenna handset", 11th International Symposium on Antennas, Propagation and EM Theory, pp. 118-120.  
<https://etasr.com/index.php/ETASR/article/view/1569>
- Fraser, H., 2010. *Parametrisation and Design of Quadrifilar Helices for use in S-band Satellite Communications*, A dissertation submitted to the Faculty of Engineering and the Built Environment, University of the Witwatersrand, Johannesburg.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/39667303.pdf>
- Huang, C. F and Y T Huang., 2009. *A Compact and Wideband Quadrifilar Helical Antenna Designed for RFID Readers*, The 2009 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2009) October 20-23, 2009, Bangkok, THAILAND.  
<https://pdfs.semanticscholar.org/3d8a/d66ac7f63a5176319df35c8edeac0bf9ba0f.pdf>
- Kilgus, C. C., 1970. *Resonant quadrifilar helix design, Technical Feature*, The Microwave Journal, pp. 49-54, Dec. 1970.
- Kumar, P. M., et al., 2016. *Open Ended Quadrifilar Helix Suitable for GPS Reception*, Global Journal of Engineering Science and Research Management, Impact Factor: 2.265, ISSN 2349-4506, Thomson Reuters.  
<https://zenodo.org/record/51761#.XHUcItQzaUk>
- Marini, Domenico, I8CVS., 2004. *Experimental Investigation of Quadrifilar Helix Antennas for 2400 MHz*, The AMSAT Journal, May/June.  
<http://www.radioamatoripeligni.it/i6ibe/i8cvs/qfh2400mhz.pdf>

- Maxwell, M.W., 1991. Chapter 22 “The Quadrifilar Helix Antenna” in ARRL-book “Reflections”, ISBN 0.087259-299-5.  
<http://www.w1npp.org/ares/REFLEC~1/REFLEC~1/R2CH22.PDF>
- Mo, J., et al., 2016. *Design of a Broadband Inverted Conical Quadrifilar Helix Antenna*, International Journal of Antennas and Propagation Volume 2016, Article ID 5109875, 7 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5109875>.  
<https://www.hindawi.com/journals/ija/p/2016/5109875/>
- Narimani, R and L Farhoudi., 2017. *Design of a Self-Phased Quadrifilar Helix Antenna for Satellite Communication*, Engineering, Technology & Applied Science Research Vol. 7, No. 6, 2017, 2273-2276.  
<https://etasr.com/index.php/ETASR/article/view/1569>.
- Patel, S and Prof. N Tevar., 2014. *Design & Analysis of Close-Ended Quadrifilar Helix Antenna at Ku-Band for Satellite Communication*, IJSRD - International Journal for Scientific Research & Development Vol. 1, Issue 12, 2014, ISSN (online): 2321-0613.  
[http://www.academia.edu/6914131/Design\\_and\\_Analysis\\_of\\_Close-Ended\\_Quadrifilar\\_Helix\\_Antenna\\_At\\_Ku\\_Band\\_For\\_Satellite\\_Communication](http://www.academia.edu/6914131/Design_and_Analysis_of_Close-Ended_Quadrifilar_Helix_Antenna_At_Ku_Band_For_Satellite_Communication)
- Saidulu, V., 2017. *Design of Quadrifilar Helical Antenna for Satellite Communication Applications*, International Journal of Innovative Research in Science Engineering and Technology (IJIRSET) DOI:10.15680/IJIRSET.2017.0607282.  
[http://www.ijirset.com/upload/2017/july/282\\_46\\_Design.pdf](http://www.ijirset.com/upload/2017/july/282_46_Design.pdf)
- Sharma, S., et al., 2013. *Design of Quadrifilar Helical Antenna for S-band Application*, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 6, June-2013.  
[https://www.researchgate.net/profile/Smrity\\_Dwivedi2/post/I\\_want\\_to\\_design\\_Quadrafilar\\_Helical\\_Antenna\\_QHA\\_Can\\_anyone\\_support\\_me\\_with\\_references\\_for\\_calculation\\_formulas\\_and\\_simulation\\_guidance/attachment/5b30b9c04cde265cb64a9d3c/AS%3A641344850640898%401529919936747/download/practice3.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Smrity_Dwivedi2/post/I_want_to_design_Quadrafilar_Helical_Antenna_QHA_Can_anyone_support_me_with_references_for_calculation_formulas_and_simulation_guidance/attachment/5b30b9c04cde265cb64a9d3c/AS%3A641344850640898%401529919936747/download/practice3.pdf)
- Sowmya, R. R , Dr.G.Murugesan., 2016. *Quadrifilar Helix Antenna For Small Satellites*, International Conference on Recent Issues in Engineering, Science & Technology-ICRIEST '16.  
[https://www.researchgate.net/profile/Naveen\\_Balaji\\_Gowthaman/post/Suggest\\_Some\\_Latest\\_and\\_Easy\\_Research\\_paper\\_to\\_implement\\_designing\\_of\\_Helical\\_Antenna\\_at\\_UHF\\_band\\_for\\_satellite\\_applications\\_and\\_also\\_to\\_improve\\_gain/attachment/59d6466379197b80779a1675/AS%3A457648924565504%401486123414740/download/251-255.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Naveen_Balaji_Gowthaman/post/Suggest_Some_Latest_and_Easy_Research_paper_to_implement_designing_of_Helical_Antenna_at_UHF_band_for_satellite_applications_and_also_to_improve_gain/attachment/59d6466379197b80779a1675/AS%3A457648924565504%401486123414740/download/251-255.pdf)
- Takacs, A., et al., 2012. “Miniaturization of Quadrifilar Helix Antennas for space applications”, 15th International Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics, pp. 1-3.  
<https://etasr.com/index.php/ETASR/article/view/1569>.
- Takacs, A., et al., 2016. *Miniaturization of Compact Quadrifilar Helix Antennas for Telemetry, Tracking and Command Applications*, Progress In Electromagnetics Research, 2016. <hal-01238266>.  
[www.jpier.org/PIERC/pierc60/14.15072606.pdf](http://www.jpier.org/PIERC/pierc60/14.15072606.pdf)
- Wang, Y. S and S J Chung., 2009. “A Miniature Quadrifilar Helix Antenna for Global Positioning Satellite Reception”, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 57, No.12, pp. 3746-3651.  
<https://scinapse.io/papers/2158193814>
- Zhen, S., et al., 2017. *A Study on the Control of BDS/GPS Self-phase Quadrifilar Helical Antenna for Ship*, Journal of Shipping and Ocean

Engineering 7 (2017) 108-111 doi  
10.17265/2159-5879/2017.03.003.  
[http://www.davidpublisher.org/Public/  
uploads/Contribute/59ae6cd77f942.pd  
f](http://www.davidpublisher.org/Public/uploads/Contribute/59ae6cd77f942.pdf)

