

**PERANCANGAN ANTENA *QUADRIFILAR HELIX* UNTUK
PENGUKURAN PARAMETER ATMOSFER**
***DESAIN QUADRIFILAR HELIX ANTENNA FOR MEASUREMENT ATMOSPHERE
PARAMETER***

Soni Aulia Rahayu, Ginaldi Ari nugroho, Tiin Sinatra, Edy Maryadi dan Sartika
Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer, LAPAN
Email: soni.aulia@yahoo.com ; soni.aulia@lapan.go.id

Abstrak

Dewasa ini komunikasi nirkabel semakin berkembang, sehingga pengembangan antenna menjadi sangat penting. Pada penelitian ini telah dilakukan proses desain antenna *quadrifilar helix*, selanjutnya melakukan fabrikasi dan pengukuran hasil antenna yang telah di fabrikasi. Hasil pengukuran koefisien refleksi diperoleh nilai S_{11} terkecil sebesar -12,5 dB pada frekuensi 425 MHz dan nilai $vswr$ sebesar 1,8. Hasil pengukuran yang telah dilakukan terjadi pergeseran frekuensi dari 433 MHz menjadi 425 MHz. Kemudian dilakukan pengujian performa dari antenna yang telah difabrikasi dengan cara menjadikan antenna *quadrifilar helix* ini sebagai antenna penerima (Rx). Antenna Rx ini digunakan untuk menerima data parameter atmosfer yaitu data suhu dan tekanan yang diterbangkan menggunakan wahana balon. Adapun pengukuran ini dilakukan di Lanud Pamengpeuk Garut. Hasil yang diperoleh adalah antenna dapat menerima data sampai pada ketinggian 7,5 km. Hal ini disebabkan terjadinya pergeseran frekuensi antenna pada saat fabrikasi. Sehingga tidak *match* antara antenna pemancar dan antenna penerima. Kata kunci: antenna *quadrifilar helix*, koefisien refleksi, $vswr$, suhu dan tekanan

Abstract

Today's wireless communication is growing, therefore the development of antenna becomes very important. In this research after the design process of quadrifilar helix antenna, then done fabrication and measurement of antenna result which has been in fabrication. In the reflection coefficient measurement obtained the smallest S_{11} value of -12.5 dB at 425 MHz frequency and VSWR value of 1.8. The result of measurement, there was a frequency shift from 433 MHz to 425 MHz. Antenna that has been in fabrication then the antenna has tested of performance by quadrifilar helix antenna serve as receiver antenna (Rx). The Rx Antenna used to receive atmospheric parameter data as temperature and pressure data from sensors that have flown by weather balloon. This measurement has done at Pamengpeuk Garut. The results obtained that the antenna can receive data up to a height of 7.5 km. This result because the effect of antenna's frequency shift during fabrication. Resulting in a mismatch between the transmitter antenna and the receiver antenna.
Keywords: Quadrifilar helix antenna, reflection coefficient, vswr, temperature and pressure

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi telekomunikasi dewasa ini semakin berkembang dengan pesat, baik berupa audio maupun audio visual. Mulai dari pembangunan jaringan pemancar radio yang merupakan komunikasi audio, hingga dikembangkannya komunikasi dengan gambar bergerak beserta suara yang merupakan komunikasi audio visual. Salah satu alat yang berperan penting dalam memancarkan dan menerima gelombang radio adalah antenna. Semakin presisi parameter-parameter yang terlibat dalam perancangan antenna maka akan semakin bagus pula sinyal yang diterima oleh antenna penerima.

Antenna dapat dikatakan juga sebagai transduser gelombang terbimbing (pada saluran transmisi fisik) ke gelombang tak terbimbing (pada saluran transmisi non-fisik) atau sebaliknya [1]. Perancangan antenna dikatakan baik ketika antenna dapat mentransmisikan energi atau daya maksimum pada arah yang diharapkan oleh penerima. Meskipun pada kenyataannya terdapat rugi-rugi yang terjadi ketika penjalaran gelombang seperti rugi-rugi pada saluran transmisi dan terjadi kondisi tidak *matching* antara

saluran transmisi dan antena. Sehingga *matching impedansi* juga merupakan salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan dalam perancangan antena [2].

Prinsip kerja antena adalah, di mana pemancar (Tx) mengkodekan pesan masukan ke dalam bentuk sinyal yang ditransmisikan ke saluran transmisi fisik yang langsung diteruskan dan dipancarkan oleh antena dalam bentuk gelombang elektromagnetik ke segala arah. Penerima (Rx) akan mengambil daya gelombang elektromagnetik dari pemancar yang ada di ruang bebas (saluran transmisi non-fisik) melalui antena untuk kemudian diproses kembali menjadi pesan yang identik dengan asalnya [3].

Ada beberapa jenis antena yang memiliki *gain* yang cukup besar yang dapat diaplikasikan untuk mengatasi masalah penerimaan data yang kurang maksimal, salah satunya yaitu antena *uni-directional*. Antena *directional* adalah antena yang pola radiasinya hanya memancar pada satu arah tertentu. Contoh dari antena ini adalah antena *grid*, *yagi*, *bazoka*, *horn*, *helix* dan *quadrifilar helix*[3][4]. Pada penelitian ini akan membahas tentang antena *quadrifilar helix* beserta kinerja antena yang telah di rancang untuk pengamatan atmosfer.

Antena Quadrifilar helix merupakan salah satu jenis antena yang berasal dari kelas *wire antenna* yang memiliki geometri tiga dimensi dan memiliki pola radiasi yang *uni-directional*. Antena *Quadrifilar helix* memiliki kombinasi dua *bifilar heliks* yang diatur dalam hubungan saling *orthogonal*. Antena *Quadrifilar helix* dibentuk oleh empat antena *heliks* yang dililitkan di sekitar sumbu membujur yang sama [5]. Keempat kawat tersebut tidak saling tersambung, akan tetapi kawat tersebut mempunyai dua ujung yang saling berdekatan. Ujung dari kawat segi empat yang membentuk *loop* yang dicatu pada saluran transmisi [6].

Antena *quadrifilar helix* ini dapat digunakan untuk berbagai macam kebutuhan diantaranya aplikasi *Telemetry-tracking-command* (TTC) [7], GPS [8], satelit [9], dan sebagainya. Antena ini juga dapat diaplikasikan pada radiosonde untuk pengukuran atmosfer. Radiosonde adalah instrument yang memanfaatkan wahana balon membawa sensor-sensor atmosfer dengan informasi data yang ditransmisikan ke stasiun pengamat melalui transmitter radio [10]. Sangat penting untuk mempertahankan stabilitas frekuensi transmisi radiosonde terhadap pengaruh pergerakan balon yang bervariasi dan dapat berpindah dengan cepat sesuai dinamika atmosfer. Untuk itu diperlukan performansi transmitter radio baik sistem pengirim dan penerima yang cukup baik dari suatu sistem radiosonde. Telah banyak penelitian mengenai peningkatan performansi radiosonde pada aspek transmitter radio terutama pada pola radiasinya [11].

Penggunaan wahana balon untuk melakukan pengukuran atmosfer telah banyak dilakukan untuk mengetahui karakteristik dan kondisi atmosfer suatu daerah. Penelitian ini melakukan perancangan antena *quadrifilar helix* yang akan digunakan untuk melakukan pemantauan kondisi atmosfer. Setelah antena difabrikasi maka akan dilihat kualitas antena dengan melakukan pengujian menggunakan wahana balon. Performa antena akan dilihat pada saat penerimaan data parameter atmosfer. Parameter atmosfer yang dipilih adalah suhu dan tekanan.

2. METODOLOGI

Penelitian ini diawali dengan desain antena *quadrifilar helix* dan disimulasikan dengan menggunakan *Computer Aided Design* (CAD) [12]. Adapun spesifikasi Antena *quadrifilar helix* dapat dilihat pada Tabel 1.

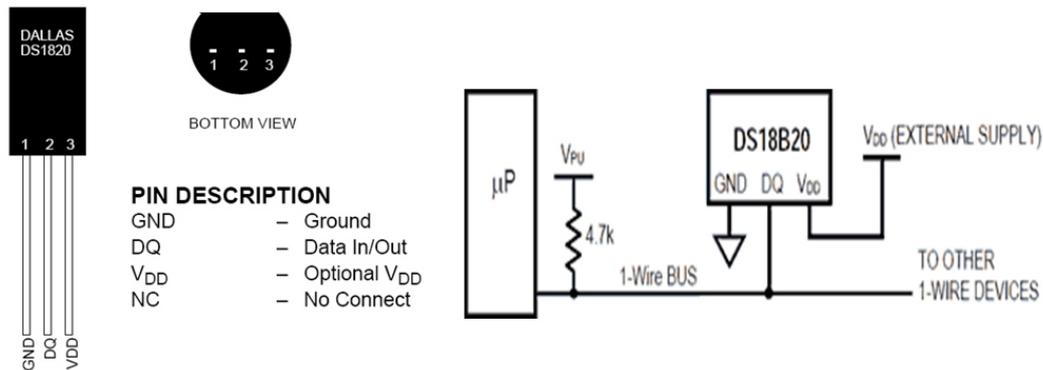
Tabel 1. Spesifikasi desain antena quadrifilar helix

Spesifikasi Antena	Keterangan
Frekuensi Kerja	433 MHz
VSWR	≤ 2
Parameter S_{11} (Koefisien refleksi)	≥ -10 dB
Pola radiasi	<i>Unidirectional</i>

Setelah melakukan simulasi, selanjutnya dilakukan fabrikasi antena. Setelah fabrikasi antena, dilakukan pengujian untuk melihat apakah antena telah sesuai dengan desain yang diinginkan. Setelah dilakukan pengujian, antena dapat digunakan untuk pengukuran parameter atmosfer. Parameter

atmosfer yang diukur adalah suhu dan tekanan. Pengukuran dilakukan untuk memperoleh profil dari masing-masing parameter atmosfer.

Adapun sensor suhu yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor DS 1820 dan sensor MPL3115A2. Sensor DS 1820 merupakan sensor suhu 9-12 bit yang memiliki fungsi seperti termometer serta terdapat sistem alarm. Sensor DS1820 memiliki kemampuan untuk mengukur suhu pada kisaran -55°C sampai 125°C dan bekerja secara akurat dengan kesalahan $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ pada kisaran -10°C sampai 85°C . Selain itu, daya yang digunakan sensor suhu DS1820 bisa langsung didapat dari data *line*, sehingga tidak perlu lagi listrik eksternal [13]. Bentuk dan keterangan pin sensor DS 1820 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Sensor DS 1820 (kiri) dan layout sensor (kanan) [15]

Sensor DS1820 memiliki keunikan yaitu 64-bit, yang memungkinkan DS1820 terhubung ke beberapa fungsi yang sama melalui satu kabel yang sama. Oleh karena itu, satu *microprocessor* saja dapat digunakan untuk mengendalikan banyak sensor yang akan di distribusikan ke daerah yang lebih besar. Aplikasi dari fitur ini meliputi pengontrol lingkungan *heating, ventilation, dan air-conditioning* (HVAC), sistem pemantauan suhu di dalam bangunan, peralatan, atau mesin, dan proses *monitoring* dan sistem *control*.

MPL3115A2 adalah sensor tekanan MEMS yang menyediakan data per ketinggian. *Output* sensor berupa digital dengan resolusi tinggi 24-bit ADC dan dikirimkan melalui I2C. *Output* tekanan dapat diselesaikan dalam sepersekian Pascal, dan *Altitude* dapat diselesaikan dalam sepersekian meter. Perangkat ini juga menyediakan pengukuran suhu 12-bit dalam derajat Celcius [14]. Sensor MPL3115A2 dapat dilihat pada Gambar 2.

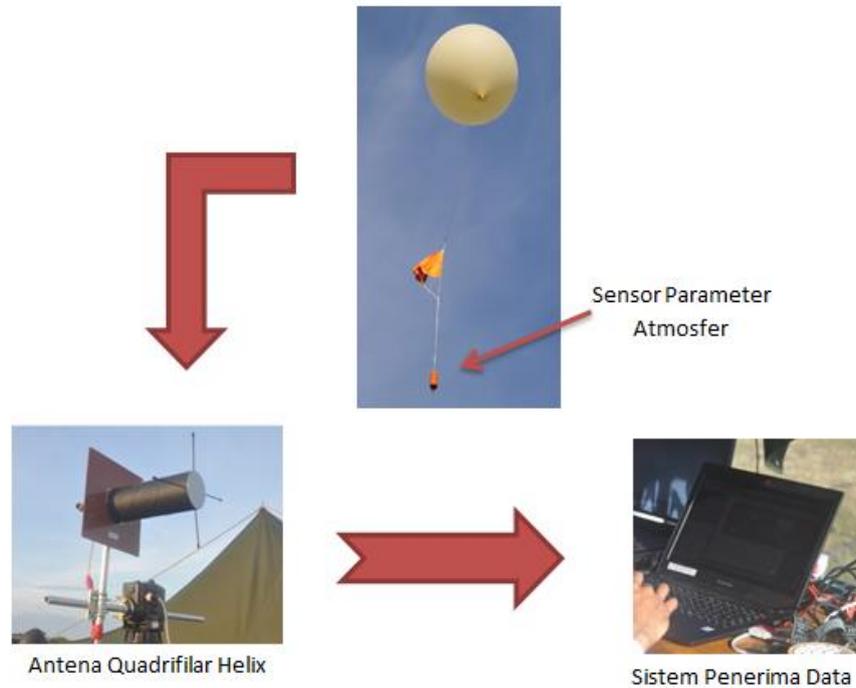


Gambar 2. Sensor tekanan [15]

Setelah melakukan pemilihan sensor yang akan digunakan, selanjutnya semua sensor di rangkai pada arduino. Arduino adalah platform pembuatan prototipe elektronik yang bersifat *open-source hardware* yang berdasarkan pada perangkat keras dan perangkat lunak yang fleksibel dan mudah digunakan.

Bahasa pemrograman arduino adalah bahasa pemrograman yang umum digunakan untuk membuat perangkat lunak yang ditanamkan pada arduino *board*. Bahasa pemrograman arduino mirip dengan bahasa pemrograman C++. *Arduino Development Environment* adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis dan meng-*compile* program untuk arduino. *Arduino Development Environment* juga digunakan untuk meng-*upload* program yang sudah di-*compile* ke memori program arduino *board* [16].

Selanjutnya dilakukan pengukuran dengan menggunakan wahana balon yang diterbangkan pada tanggal 26 Agustus 2016 di lapangan Lanud Pamengpeuk, Garut dengan koordinat $7^{\circ} 38' 36,2''$ LS dan $107^{\circ} 41' 08''$ BT. Peluncuran balon dilakukan pada pukul 6 pagi dengan membawa sensor atmosfer yang telah dipasang pada *payload*. Kemudian data yang telah terekam di terima oleh *Ground Stasion* (GS) dengan menggunakan antena *quadrifilar helix* yang telah dirancang. Ilustrasi proses penerimaan data parameter atmosfer dapat dilihat pada Gambar 3 di bawah ini. Tujuannya melihat kemampuan antena *quadrifilar helix* untuk menerima data parameter atmosfer.



Gambar 3. Alur penerimaan data parameter atmosfer oleh antena *quadrifilar helix*

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Antena yang telah difabrikasi selanjutnya dilakukan pengujian antena. Tujuan pengujian antena adalah untuk melihat apakah antena yang difabrikasi sesuai dengan antena yang telah di desain sebelumnya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *Network Analyzer* R3770 dengan rentang frekuensi yang dapat diukur 330 KHz – 20 GHz [17].

Pada proses pengukuran, parameter antena yang akan diukur adalah *koefisien refleksi* dan *VSWR*. *Koefisien refleksi* merupakan parameter yang sangat dibutuhkan dalam perancangan antena khususnya dalam penggunaan saluran transmisi. Secara harfiah *koefisien refleksi* didefinisikan sebagai *ratio* antara amplitudo gelombang pantul dan amplitudo gelombang langsung medan listrik. *Koefisien refleksi* (pantulan) merupakan perbandingan antara tegangan yang dipantulkan terhadap tegangan maju.

Antena yang baik akan mempunyai nilai *koefisien refleksi* di bawah -10 dB, yaitu 90% sinyal dapat diserap, dan 10% terpantulkan kembali [18] [19]. *Return loss* adalah perbandingan antara daya yang terpantulkan dengan daya masukan. Jika penyerapan sempurna, maka nilai $\Gamma = 0$ dan $RL = 0$ yang berarti bahwa tidak ada daya yang dipantulkan, sedangkan apabila nilai $\Gamma = 1$ dan $RL = \infty$ maka semua daya akan dipantulkan. *Return loss* dan koefisien refleksi dapat ditulis seperti persamaan berikut ini [18] [19] :

$$Return Loss (dB) = 10 \log \frac{P_i}{P_r} = 20 \log \frac{1}{\Gamma} \quad (1)$$

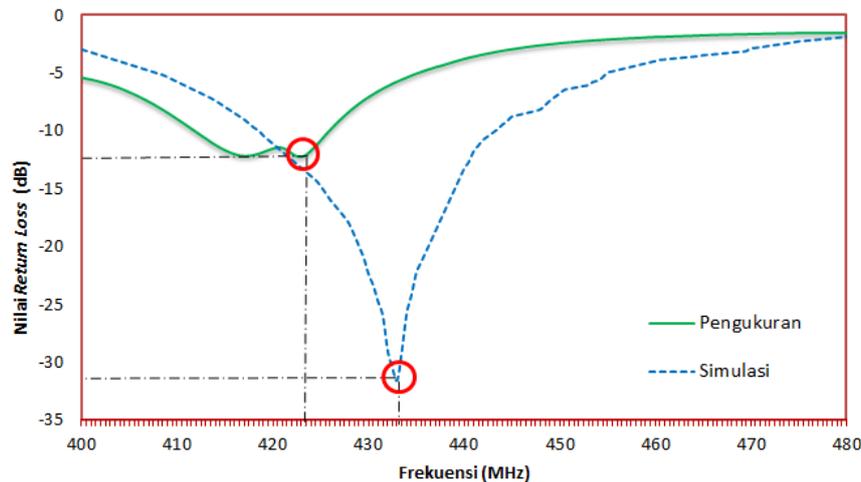
$$Return Loss (dB) = -20 \log \Gamma \quad (2)$$

$$\Gamma = S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o} \quad (3)$$

Dimana :

Γ	=	Koefisien refleksi
P_r	=	Tegangan gelombang pantul (<i>reflected wave</i>)
P_i	=	Tegangan gelombang maju (<i>incident wave</i>)
RL (dB)	=	Return loss (dB)
Z_{in}	=	impedansi input yang menjadi sumber
Z_o	=	merupakan impedansi karakteristik.

Setelah melakukan fabrikasi antenna maka dilakukan pengukuran antenna dengan tujuan untuk mengetahui apakah antenna hasil difabrikasi telah sesuai dengan antenna yang didesain. Pengukuran antenna dilakukan dengan menggunakan *Network Analyzer* R3770 meliputi pengukuran *return loss* dan *vswr* [20]. Hasil pengukuran antenna akan dianalisa dan dibandingkan dengan hasil simulasi, seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5. Pada Gambar 4 merupakan grafik perbandingan nilai *return loss* saat pengujian dan simulasi. Garis warna hijau untuk hasil pengukuran dan garis putus-putus warna biru untuk hasil simulasi. Hasil simulasi mempunyai nilai *return loss* terendah sebesar -31,5 dB pada frekuensi 433 MHz. Sedangkan hasil pengukuran terendah sebesar -12,5 dB pada frekuensi 425 Mhz. Terjadi pergeseran frekuensi dari 433 MHz ke 425 MHz, hal ini dipengaruhi oleh banyak faktor. Akan tetapi pada frekuensi 425 MHz nilai *return loss* terukur telah sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan yaitu ≥ -10 dB.

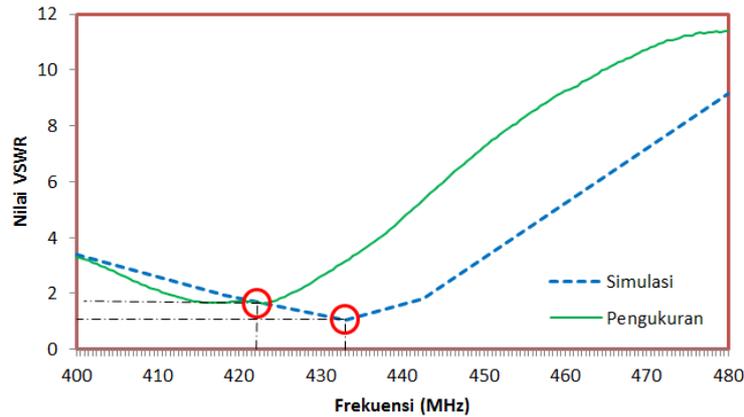


Gambar 4. Perbandingan nilai return loss terukur saat pengujian antenna dengan simulasi

Selain pengukuran *return loss*, maka dilakukan juga pengukuran *vswr*. *Voltage Standing Wave Ratio* (VSWR) didefinisikan sebagai perbandingan rasio antara tegangan rms maksimum dan minimum yang terjadi pada saluran yang tidak *match* [20]. Nilai *vswr* ini dapat dihitung manual dengan menggunakan persamaan [1]

$$VSWR = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \quad (4)$$

Besarnya nilai *vswr* dipengaruhi oleh perbedaan *impedansi* saluran transmisi dengan beban yang disebabkan oleh pemasangan konektor yang kurang baik dan tidak *matching impedansi input* antenna dengan saluran *feeder*. Agar saluran *match* maka pemasangan konektor harus diperhatikan, sehingga diharapkan tidak ada daya yang dipantulkan ($P_r = 0$) dan memiliki $vswr \leq 2$ [4]. Pada Gambar 5 merupakan grafik perbandingan simulasi dengan hasil pengukuran. Garis putus-putus berwarna biru merupakan hasil simulasi dengan menggunakan CAD, nilai *vswr* hasil simulasi sebesar 1,05 pada frekuensi 433 MHz. Sedangkan grafik warna hijau merupakan hasil pengukuran di mana titik terendah *vswr* terukur bernilai 1,8 pada frekuensi 425 MHz. Nilai *vswr* terukur ini telah sesuai dengan desain antenna yaitu ≤ 2 . Pergeseran frekuensi yang terjadi disebabkan banyak faktor diantaranya adalah proses fabrikasi yang rumit menyebabkan kurang presisi ukuran dimensi antenna, faktor bahan dan juga faktor solderan.



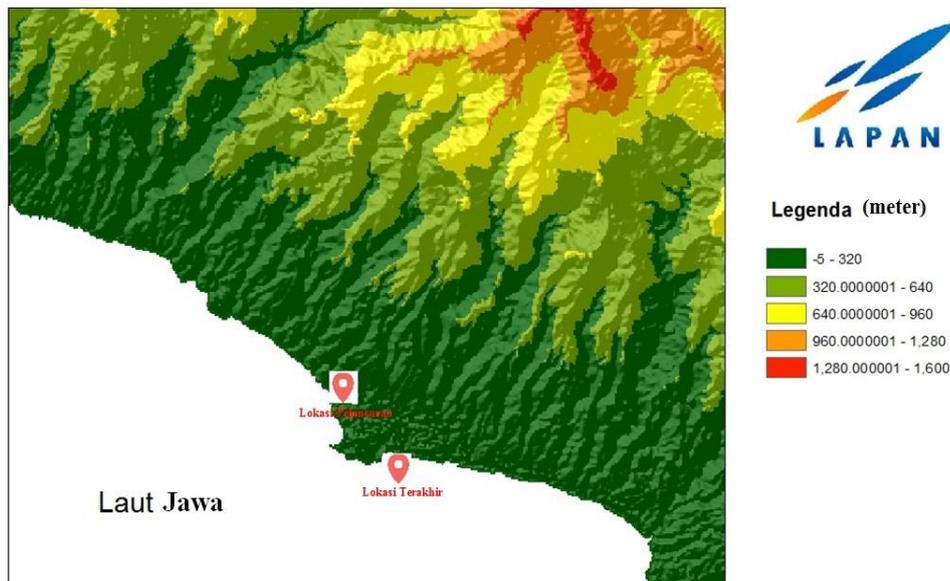
Gambar 5. Perbandingan nilai VSWR terukur saat pengujian antenna dengan simulasi

Dalam mendesain antenna, parameter lainnya yang juga perlu diperhatikan adalah *gain* yang diperoleh [21]. *Gain* (*directive gain*) merupakan karakter antenna yang terkait dengan kemampuan antenna mengarahkan radiasi sinyalnya, atau penerimaan sinyal dari arah tertentu [1]. *Gain* antenna dapat juga diartikan sebagai rasio antara intensitas radiasi maksimum dari suatu antenna dengan intensitas radiasi maksimum dari suatu antenna referensi dengan daya masuk yang bernilai sama [4]. Satuan yang digunakan untuk *gain* adalah *desibel*. Pada pengukuran diperoleh *gain* antenna sebesar 13 dB.

Selanjutnya antenna *quadrifilar helix* digunakan untuk menerima data parameter atmosfer, dengan menggunakan wahana balon seperti Gambar 3. Sensor-sensor parameter atmosfer digabungkan di dalam *payload* yang diterbangkan bersama balon. Pengukuran parameter atmosfer dengan menggunakan wahana balon banyak dilakukan peneliti untuk mengetahui kondisi atmosfer pada suatu wilayah tertentu.

Peluncuran balon dilakukan di lapangan udara Pamengpeuk, Garut pada tanggal 26 Agustus 2016 pukul 06:00:00 pagi seperti pada Gambar 6 berikut ini. Gambar tersebut memperlihatkan titik lokasi peluncuran dan titik lokasi terakhir data yang diterima oleh antenna *quadrifilar helix* [22]. Terlihat jarak antara titik peluncuran awal sampai hilangnya data yang diterima oleh antenna.

Peta Topografi Pameungpeuk



Gambar 6. Lokasi penerbangan sensor dengan menggunakan balon

Setelah persiapan dilakukan, balon diluncurkan dengan membawa sensor-sensor parameter atmosfer. Kemudian antenna menerima data yang dikirim dari *payload* yang diterbangkan. Data yang terekam mempunyai format .csv seperti pada Gambar 7 di bawah ini.

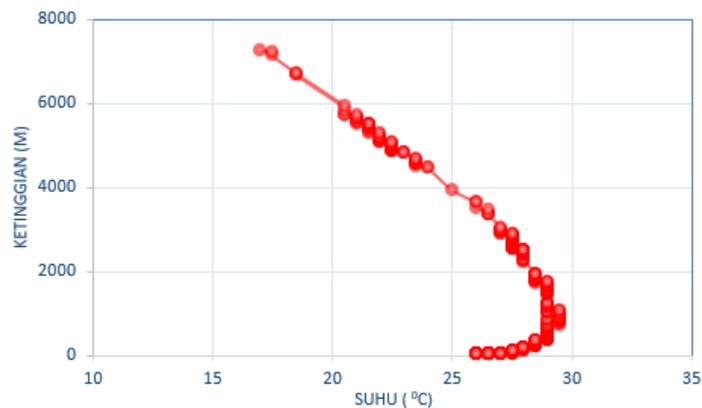
```
#Waktu,tanggal,lat,lon,altitude,suhu,tekanan
23:00:59,25/08/2016,-7.6433992,107.6855468,28.2,26.00,1010.60
23:01:00,25/08/2016,-7.6433992,107.6855621,28.1,26.00,1011.33
23:01:01,25/08/2016,-7.6434001,107.6855621,27.9,26.00,1010.47
23:01:02,25/08/2016,-7.6433992,107.6855621,27.9,26.00,1010.49
23:01:03,25/08/2016,-7.6433992,107.6855468,26.9,26.00,1010.57
```

Gambar 7. Contoh data yang diterima

Gambar 7 merupakan contoh data yang diterima receiver melalui antenna *quadrifilar helix*. Pengaturan tanggal dan waktu pada sensor masih dalam UTC. Waktu harus dikonversi ke waktu *local* Indonesia bagian barat (WIB) dengan penambahan +7 sehingga diperoleh waktu peluncuran pada pukul 06:00 pagi. Data yang terukur adalah waktu, tanggal, koordinat posisi peluncuran dan parameter atmosfer yaitu suhu ($^{\circ}\text{C}$) dan tekanan (mbar).

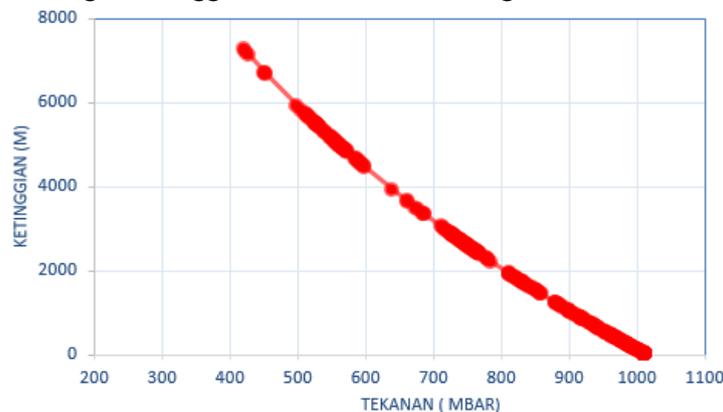
Selanjutnya data yang diperoleh diolah menjadi grafik yang dapat dianalisa. Data suhu yang diperoleh merupakan data profil. Gambar profil suhu dapat dilihat pada Gambar 8. Sumbu x merupakan nilai suhu yang terukur dengan satuan derajat celcius dan sumbu y merupakan level ketinggian yang dapat dicapai oleh antenna *quadrifilar helix* dalam menerima data yang dikirim oleh *payload* transmitter yang ikut terbang dengan balon.

Pada Gambar 8 terlihat profil suhu diawali pada ketinggian 28,2 meter dengan suhu terukur sebesar 26°C . Sampai ketinggian 2000 m (2 km) terlihat suhu semakin meningkat mendekati 30°C , setelah ketinggian 2 km suhu mengalami penurunan secara perlahan. Ketinggian maksimum data yang dapat diterima oleh antenna ini sekitar 7,5 km dengan suhu terukur 17°C .



Gambar 8. Grafik profil suhu

Parameter atmosfer yang diukur selain suhu adalah tekanan. Profil tekanan yang terukur memiliki grafik yang berbeda dengan grafik profil suhu pada Gambar 8. Gambar grafik tekanan dapat dilihat pada Gambar 9. Nilai tekanan terukur oleh antenna *quadrifilar helix* yang didesain pada ketinggian 28,2 m adalah 1010 mbar. Nilai tekanan terukur akan semakin turun dengan bertambahnya ketinggian. Tekanan maksimal terukur sama dengan ketinggian maksimal suhu, dengan nilai 420 mbar.



Gambar 9. Grafik profil tekanan

Pada penelitian ini kinerja antena *quadrifilar helix* mempunyai ketinggian maksimum dalam menerima data sampai ketinggian 7,5 km. Hal ini disebabkan terjadinya pergeseran frekuensi antena pada saat fabrikasi. Sehingga ada perbedaan frekuensi antara frekuensi *transmitter* (Tx) yang terdapat pada *payload* yang diterbangkan oleh wahana balon dengan frekuensi antena *receiver* (Rx) yang ada di *grounds station*. Apabila frekuensi yang digunakan *match* maka data yang diperoleh bisa lebih tinggi lagi.

4. KESIMPULAN

Antena *quadrifilar helix* merupakan antena yang akan di desain dengan frekuensi 433 MHz. Setelah proses desain antena, selanjutnya dilakukan fabrikasi antena dan pengujian antena. Pada pengujian antena terjadi pergeseran frekuensi dari 433 MHz menjadi 425 Mhz. Kemudian antena ini diuji kinerjanya dengan menggunakan sensor-sensor atmosfer yaitu sensor suhu dan tekanan. Sensor-sensor tersebut diterbangkan dengan menggunakan wahana balon, kemudian antena *quadrifilar helix* mengirimkan datanya ke penerima. Data yang diterima berupa data profil suhu dan tekanan, dengan ketinggian maksimum yang dapat diterima sekitar 7,5 km. Antena ini tidak bekerja dengan maksimal, hal ini disebabkan karena adanya pergeseran frekuensi antena hasil fabrikasi, dengan selisih frekuensi 8 MHz. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan desain antena dengan frekuensi yang lebih presisi sehingga akan menghasilkan hasil yang maksimal dengan ketinggian melebihi 7,5 km di atas permukaan laut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada Bapak Agit Zulherman, S. Kom, Bapak Suparno dan Bapak Rudi Komarudin di Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer yang telah membantu dalam pengumpulan data.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Balanis, A. C. "Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd Edition", John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, New York, 2005.
- [2] Wang, Y. S and S. J Chung, "A Miniature Quadrifilar helix Antenna for Global Positioning Satellite Reception", IEEE Transactions On Antennas And Propagation, Vol. 57, No. 12, ISSN: 1558-2221, 2009.
- [3] Balanis, C. A. "Modern Antenna Handbook", John Willey & Sons, 455-457, 2008.
- [4] Judiwasastra, H. "Diktat Kuliah Antena dan Propagasi Gelombang". Bandung : Penerbit ITB. 2012.
- [5] Lin, W. X and Q. X Chu, "Wide Beamwidth Quadrifilar Helix Antenna With Cross Dipoles", Progress In Electromagnetics Research C (PIER), Vol. 40, 229-242, 2013
- [6] Maxwell, M. W, Chapter 22 "The Quadrifilar helix Antenna" in ARRL book "Reflections", ISBN 0.087259-299-5, 1991.
- [7] Takacs, A; H. Aubert; D. Belot and H. Diez, "Miniaturization of Compact Quadrifilar Helix Antennas for Telemetry, Tracking and Command Applications", Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 60, 125-136, 2015.
- [8] Lan, C. W and J. F Kiang, "Quadrifilar helix antenna for GPS applications", IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control, IEEE, ISBN 0-7803-8193-9, 2004.

- [9] Sharma, S; J. Sheoran and O. P. Goswami , “*Design of Quadrifilar Helical Antenna For S-Band Applications*”, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 6, June- 235 ISSN 2229-5518, 2013.
- [10] WMO (World Meteorological Organization), “*Guide to meteorological instruments and methods of observation. Seventh edition*”. WMO-No 8. 2008
- [11] Kireyev, E. S dan Y. E. Mitelman, “*Optimization of radiosonde antenna radiation pattern*”, Microwave and Telecommunication Technology (CriMiCo), 23rd International Crimean Conference , IEEE ISBN: 978-966-335-401-9, 2013.
- [12] Narayan,K. L; K. M Rao and M. M. M. Sarcar, “*Computer Aided Design and Manufacturing*”, Prentice-Hall of India, new Delhi. ISBN : 978-81-203-3342-0, 2008
- [13] DS1820, <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58548/DALLAS/DS1820.html> di akses pada tanggal 9 Januari 2017.
- [14] MPL3115A2, tersedia di : <http://www.nxp.com/assets/documents/data/en/datasheets/MPL3115A2.pdf>, di akses pada tanggal 9 Januari 2017.
- [15] MPL3115A2, tersedia di : <https://www.sparkfun.com/products/11084>, di akses pada tanggal 9 Januari 2017.
- [16] Arduino, tersedia di : <http://playground.arduino.cc/Main/DevelopmentTools>, di akses pada tanggal 9 Januari 2017.
- [17] *Network Analyzer R3770*, tersedia di : <http://www.testequipmenthq.com/datasheets/ADVANTEST-R3770-Datasheet.pdf>, di akses pada tanggal 2 Mei 2017.
- [18] Kraus, J. D and Marhefka R. J, “*Antennas for All Application 3rd edition*”., New York : Mc Graw Hill. 2002
- [19] Iskander, M.F. “*Electromagnetic Fields and Waves*”. Waveland Press Inc. ISBN 13: 978-1-57766-783-4, 2013
- [20] Kai , C; I. Bahl., and V. Nair. “*RF and Microwave Circuit and Component Design for Wireless System*”, John Wiley & Son, 2002
- [21] Huang, X and J. Pan, “*Design of the top-loaded quadrifilar helix antenna for low profile applications*”, Antennas, Propagation and EM Theory (ISAPE), 11th International Symposium, ISBN: 978-1-5090-4743-7, 2016.
- [22] CGIAR_CSI, tersedia di : <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>, di akses pada tanggal 4 April 2017.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA UMUM

Nama Lengkap : Soni Aulia Rahayu
Tempat & Tgl. Lahir : Pasaman & 14 Oktober 1982
Jenis Kelamin : Perempuan
Instansi Pekerjaan : Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer (PSTA),
LAPAN
NIP. / NIM. : 19821014 200912 2 004



DATA PENDIDIKAN

SLTA : Smu N 1 Padang Panjang Tahun: 2001
STRATA 1 (S.1) : ITS Tahun: 2009
STRATA 2 (S.2) : ITB Tahun: 2016

ALAMAT

Alamat Kantor / Instansi : Jl. Dr. Djunjunan No 133 Bandung
Telp. : (022) 6037443
Email : soni.aulia@lapan.go.id ; soni.aulia@yahoo.com