**Prototype Antena *Tracking* Telemetri Frekuensi 433 Mhz Berbasis Koordinat GPS (*Global Positioning System***)

Rachma Eprillia MR, Umi Fadlilah

Teknik Elektro

Universitas Muhammadiyah Surakarta

Surakarta, Indonesia

[Rachmaeprilliamr@gmail.com](mailto:Rachmaeprilliamr@gmail.com), Umi.fadlilah@ums.ac.id

*Kebutuhan informasi dan hiburan merupakan hal yang sangat diperlukan masyarakat di era globalisasi saat ini, termasuk kebutuhan tentang informasi geografis dan cuaca. Pada saat seperti ini mulai banyak yang mengembangkan antena tracker, yaitu antena pemancar yang dapat berubah-ubah posisi terhadap antena penerima, sehingga akan sangat berpengaruh terhadap proses transmisi data. Pada penelitian ini, objek yang diamati oleh antenna tracker berupa payload, yaitu untuk mengetahui kondisi geografis dan pantauan cuaca. Antena tracker bergerak pada sudut azimuth dan elevasi sehingga pemancar dan penerima dapat tersinkronisasi secara optimal. Antena tracker menggunakan GPS (Global Positioning System) yang berfungsi untuk menentukan posisi antena pemancar, motor DC Stepper, telemetri 433 Mhz, dan mikrokontroler Arduino Mega. Payload yang berisi sensor–sensor akan memberikan data menuju antena tracker, kemudian antena akan membaca data latitude dan longitude payload untuk menggerakkan antena agar mengikuti payload. Selanjutnya data-data yang diterima antena tracker akan dikirim menuju Ground Station (GS) dimana data yang menunjukkan pergerakan arah antena tracker juga akan ditampilkan pada GS dan data hasil pemantauan pada payload dapat dilihat melalui Arduino. Nilai distance (jarak horizontal payload dengan antena tracker) menunjukkan rata-rata nilai error 39.496 dengan 5 titik lokasi percobaan.*

*Katakunci* — *Antenna Tracker, Azimuth, GPS, Latitude, Longitude, Payload.*

*Information and entertainment needs are very much needed by society in the current era of globalization, including the need for geographic information and weather. At times like this, many have begun to develop tracker antennas, namely transmitting antennas that can change position towards the receiving antenna, so that it will greatly affect the data transmission process. In this study, the object observed by the tracker antenna is in the form of payload, which is to determine geographic conditions and weather monitoring. The tracker antenna moves at azimuth and elevation angles so that the transmitter and receiver can be optimally synchronized. The tracker antenna uses GPS (Global Positioning System) which functions to determine the position of the transmitter antenna, DC Stepper motor, 433 Mhz telemetry, and the Arduino Mega microcontroller. The payload containing sensors will provide data to the tracker antenna, then the antenna will read the payload latitude and longitude data to move the antenna to follow the payload. Furthermore, the data received by the tracker antenna will be sent to the Ground Station (GS) where the data showing the direction of the tracker antenna movement will also be displayed on the GS and the monitoring data on the payload can be seen through Arduino. The distance value (the horizontal distance of the payload with the tracker antenna) shows an average error value of 39.496 with 5 points of the experiment location.*

*Keywords* — *Antenna Tracker, Azimuth, GPS, Latitude, Longitude, Payload.*

# PENDAHULUAN

Dalam perangkat pemancar atau penerima, antena adalah bagian yang dirancang khusus untuk mengirim atau menerima gelombang elektromagnetik menggunakan udara sebagai propagasinya. Dalam beberapa kasus, antena ini dibangun secara manual dengan melibatkan pengukuran akurat pada bagian komponen yang memberikan kinerja lebih besar dalam penerimaan sinyal. Dalam membangun antena, seharusnya menganggap bahwa masing-masing komponen harus memiliki kepastian pengukuran khusus, amplitudo dan fase untuk memudahkan penerimaan sinyal.

Kebutuhan masyarakat akan informasi dan hiburan meningkat seiring perkembangan teknologi. Tetapi permasalahan yang muncul saat ini adalah ketika antena pemancar memiliki posisi yang berubah-ubah terhadap antena penerima atau objek yang sedang diamati seperti radiosonde serta *rocket payload*. Selain kondisi geografis, cuaca serta spesifikasi komponen yang digunakan, letak pemancar yang terus berpindah memiliki dampak yang sangat besar terhadap proses transmisi data. Atas dasar setiap antena memiliki pancaran sinyal yang berbeda serta penyebaran sinyal tersebut statis, maka *user* diharuskan untuk mengembangkan inovasi baru.

Suatu sistem peralatan yang ideal memungkinkan antena penerima dapat menerima seluruh data yang dikirim melalui antena pemancar. Pembuatan sistem *tracking* pada antena penerima adalah salah satu solusi untuk permasalahan tersebut, dimana antena dapat bergerak pada sudut *azimuth* dan elevasi sehingga terjadi sinkronisasi optimal antara antena pemancar dan antena penerima. Komponen yang digunakan pada penelitian ini adalah *GPS* yang berfungsi untuk menentukan posisi antena pemancar, motor *DC Stepper, Telemetry* 433 Mhz, dan mikrokontroler Arduino Mega. Pada penelitian ini, antena *tracker* difungsikan agar transmisi pada radiosonde, *rocket payload*, serta stasiun cuaca menjadi optimal.

Cara kerja alat menggunakan Arduino pada *payload* dan Arduino pada Antena, dimana Arduino pada *payload* akan mengirimkan data yang diterima dari sensor dan *GPS* menuju Arduino pada antena untuk menggerakkan motor *stepper*. Semua dikendalikan secara otomatis, dimana antena akan selalu mengikuti pergerakan arah *payload*. Data sensor pada *payload* yang diterima oleh antena dapat dilihat pada *PC*/Laptop.

# METODE

Prinsip kerja pada antena *tracker* tersebut mengandalkan *GPS* dan alur sistem *tranceiver Telemetri 433 Mhz.* Untuk mendapatkan posisi antena terhadap *payload* menggunakan 2 metode, yaitu:

## Mencari Nilai Azimut

Dalam penentuan nilai *azimuth*, menggunakan metode Sistem Koordinat Kartesius (*Cartesian coordinate system*) dimana sumbu X sebagai nilai *latitude* dan sumbu Y sebagai nilai *longitude.* Nilai *latitude* dan *longitude* dapat diketahui dengan menggunakan *GPS*. Sudut *azimuth* didapat dengan menggunakan rumus trigonometri, seperti pada seperti pada Persamaan 1, 2, 3, dan 4.

tan AB = tan (*a*)……………………. (1)

= tan ……………………. (2)

*a =* arctan (tan AB)...……….….…... (3)

*real azimuth* = *a* + 180……….……… (4)

dimana:

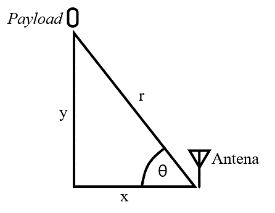
*xA =* *latitude A*

*xB = latitude B*

*yA = longitude A*

*yB = longitude B* (SI MAN, 2018)

## Mencari Nilai Elevasi



1. Rumus Perbandingan Trigonometri Segitiga Siku-siku

Nilai elevasi didapat dengan menggunakan Rumus Perbandingan Trigonometri Segitiga Siku-siku, pada Persamaan 5, 6, 7 dan 8.

……………………(5)

………........…………(6)

………………………(7)

……............................(8)

dimana:

Nilai *x* = lebar antar Antena dengan *Payload* yang dapat diketahui melalui GPS

Nilai *y* = ketinggian *Payload* yang dapat diketahui melalui sensor BMP (*Barometic Pressure*)

Nilai *r* = jarak antar Antena dengan *Payload* yang dapat diketahui melalui Persamaan 5. (Aries, 2012)

## Perhitungan Antena Biquad

Kecepatan perambatan elektromagnetik dalam ruang hampa disimbolkan dengan c (kecepatan cahaya) yaitu 3 x 108 m/dt. Gelombang berosilasi secara periodik atau berulang-ulang, ditandai dengan adanya frekuensi (rata-rata gerakan tiap pengulangan atau banyaknya getaran tiap detik), dapat diketahui dari persamaan 9.

…………………………(9)

Dimana:

f = frekuensi dalam hertz (Hz)

T = periode dalam detik. (Fadlilah, 2011)

Antena *Biquad* merupakan antena kawat berbentuk *loop* persegi dimana menggunakan 2 antena *loop* persegi yang digabungkan. Panjang elemen antena *biquad* adalah 1λ, dengan panjang gelombang dapat dicari dengan rumus pada Persamaan 10.

…………………(10)

dimana:

λ = Panjang gelombang (meter)

*c* = Kecepatan gelombang cahaya ()

*f* = Frekuensi gelombang kerja (Hz) (Gede Saindra Santyadiputra, I Wayan Sutaya, I Gede Mahendra Darmawiguna, & Ketut Udy Ariawan, 2017)

Panjang *dipole* antena *biquad* yaitu , sedangkan jarak elemen *dipole* dengan reflektornya sebesar . Reflektornya berbentuk bujur sangkar dengan lebar sisinya lebih panjang dari elemen *dipole*nya. Dengan jarak yang kecil antara elemen *dipole* dengan elemen *dipole*nya, maka akan menghasilkan *gain* yang lebih besar pada radiasi ke arah depan. Untuk menghitung ukuran reflektor dapat menggunakan rumus pada Persamaan 11.

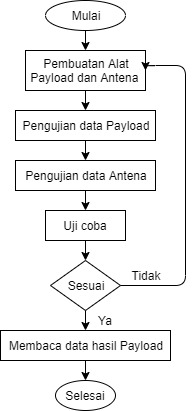
.............................(11)

dimana:

*R* = Panjang elemen reflektor (meter)

*Ra* = Panjang elemen *dipole* (meter) (Fakhrana Dhaifina, Bambang Setia Nugroho, & M. Irfan Maulana, 2017)

# HASIL DAN PEMBAHASAN



1. Alur Pengujian

Pengujian data *payload* menggunakan program Arduino untuk membaca data menggunakan sensor-sensor dan GPS, yang kemudian data tersebut disampaikan kepada antena menggunakan *Telemetry 433* Mhz*.* Pada bagan pengujian data antena *tracker* juga menggunakan Arduino sebagai program untuk menerima data dari *payload* dan menggerakkan motor *stepper* pada antena, sehingga antena dapat mengikuti pergerakan arah *payload.*

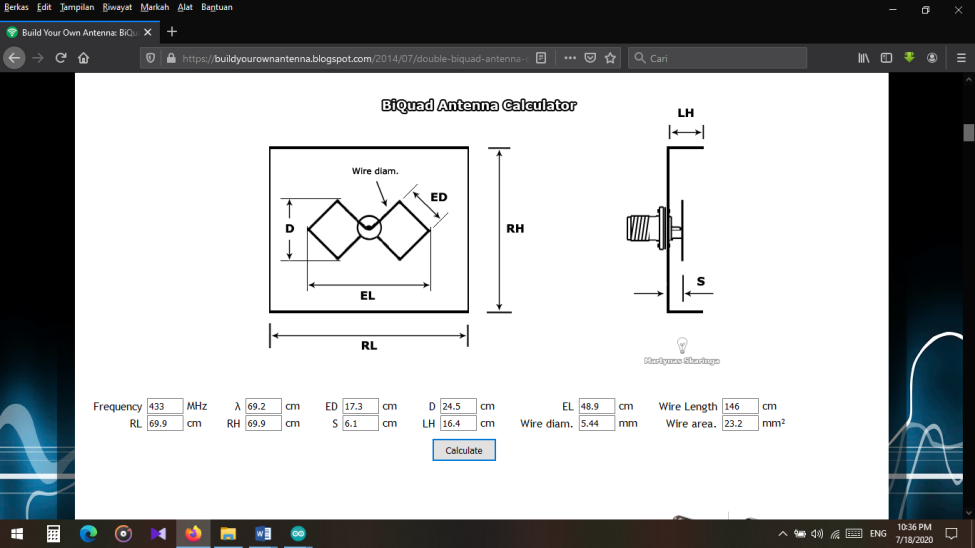
## Data Hasil Pembuatan Antena Biquad

Antena *biquad* memiliki letak reflektor tidak jauh dari *dipole*nya yang bertujuan untuk mengurangi radiasi ke arah belakang. Jika jarak antara antena dengan reflektornya itu kecil, maka susunan ini akan menghasilkan *gain* yang lebih besar pada radiasi ke arah depan. Semakin jauh jarak *dipole*nya, *gain* yang diperoleh, maka akan semakin kecil, namun, *bandwidth*nya akan semakin besar. Sedangkan pola radiasi antena *biquad* pada umumnya berbentuk *lobe*.

Antena ideal adalah antena yang dapat memancarkan semua daya yang dikirim kepadanya dari arah yang diinginkan atau arah lain. Dalam prakteknya, keadaan ideal tersebut tidak dapat dicapai, namun, dapat dibuat mendekati. Terdapat berbagai jenis antena saat ini dan masingmasing jenis antena dapat mengambil bentuk yang berbeda untuk mencapai karakteristik radiasi yang diinginkan untuk aplikasi tertentu. Pemilihan antena jenis *biquad* dikarenakan beberapa faktor, yaitu:

* Bentuk fisiknya yang ringkas tidak seperti antena kawat panjang yang lainnya.
* Memiliki nilai *gain* yang lebih besar ke arah depan.
* Dapat meningkatkan sistem kerja *transmitter* yang sederhana. (Subroto P, Roza, & Cahyasiwi, 2016)

Pada penelitian ini menggunakan pembanding sebagai acuan perhitungan yaitu kalkulator *online* yang ada pada *WebSite* dengan URL<https://buildyourownantenna.blogspot.com>.



1. Biquad Antenna Calculator Online.

Sumber: (Skaringa, 2014)

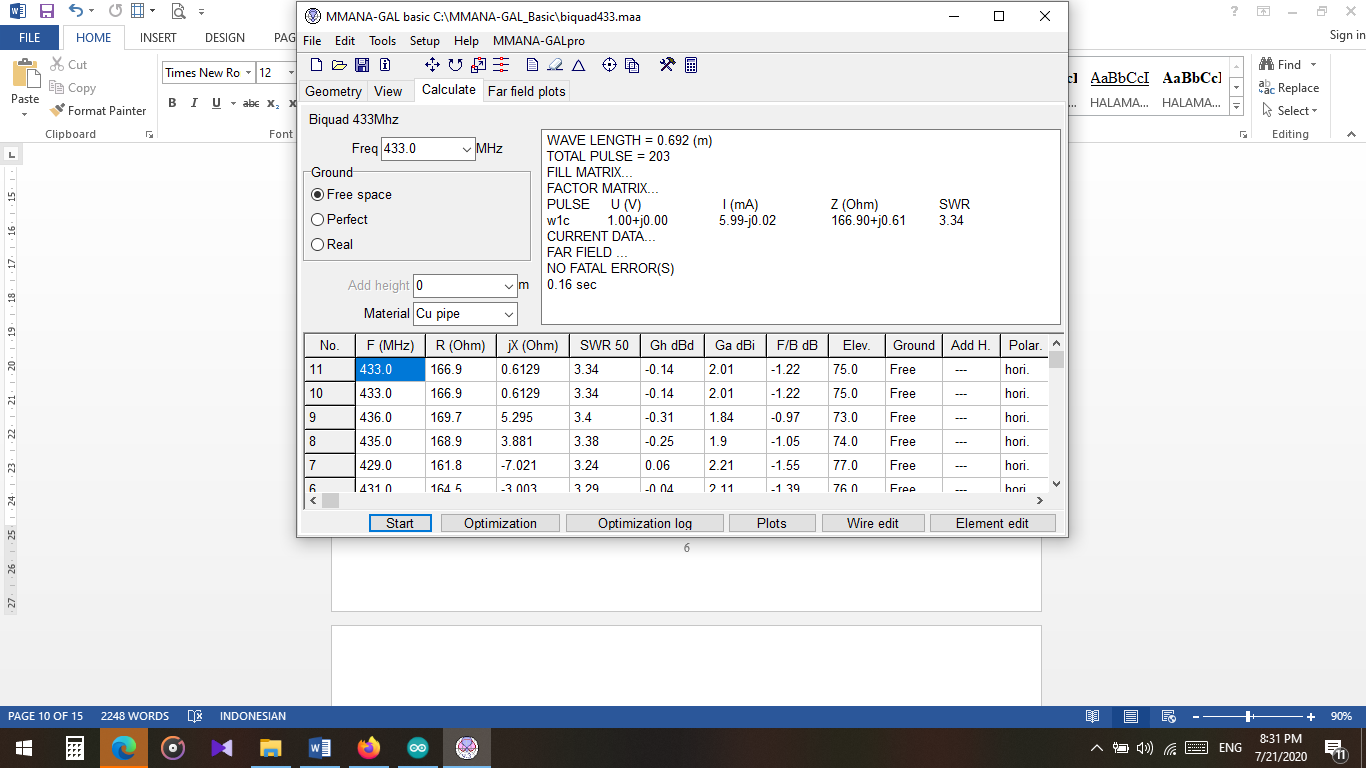
Penggunaan *Biquad Antenna Calculator Online* cukup mudah, hanya dengan memasukkan nilai frekuensi pada kolom *Frequency* lalu memilih *Calculate,* maka akan secara otomatis terhitung. Pada kalkulator *online* ini dapat mengetahui nilai λ (*lamda*), *ED* (panjang elemen dipole), *RL* dan *RH* sebagai panjang dan lebar reflektor, dan *S* (jarak elemen *dipole* dengan reflektor).



1. Bentuk Fisik Antena *Biquad*

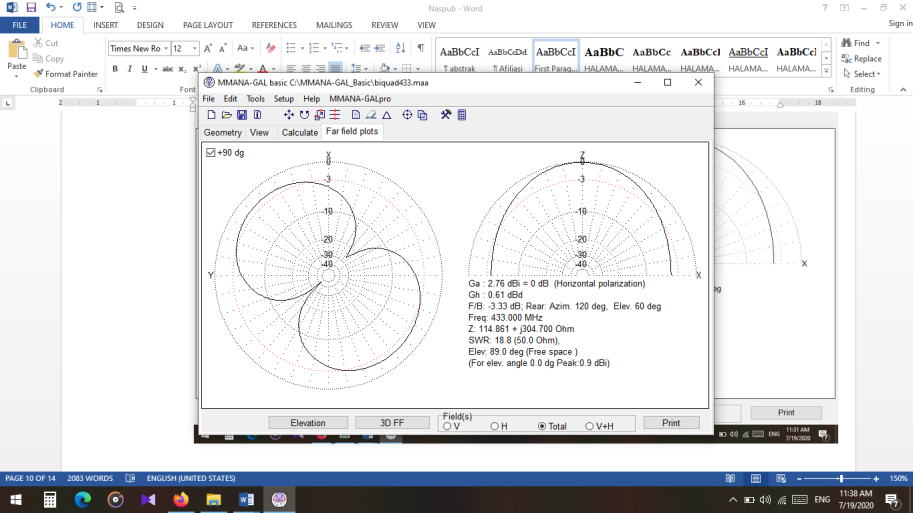
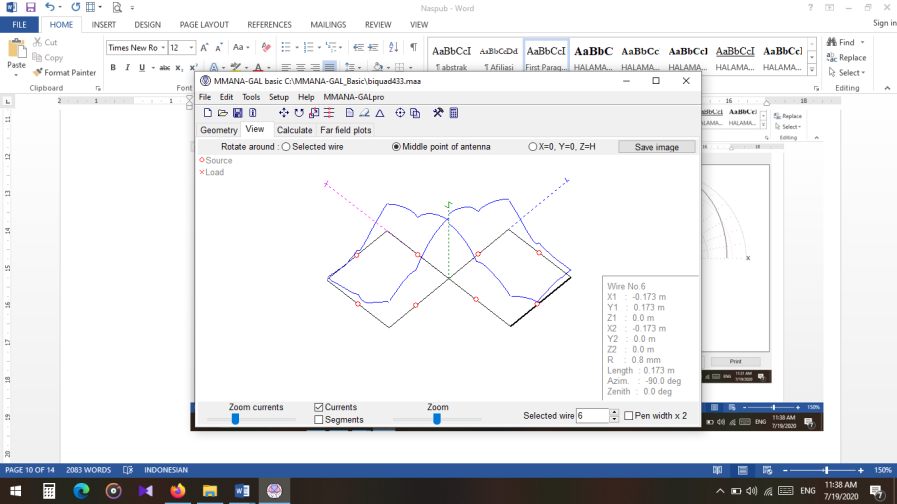
Bentuk fisik antena *biquad* memiliki dimensi panjang total 75, 5 cm dan lebar 70 cm yang dimana itu merupakan panjang dan lebar dari reflektor antena *biquad.*

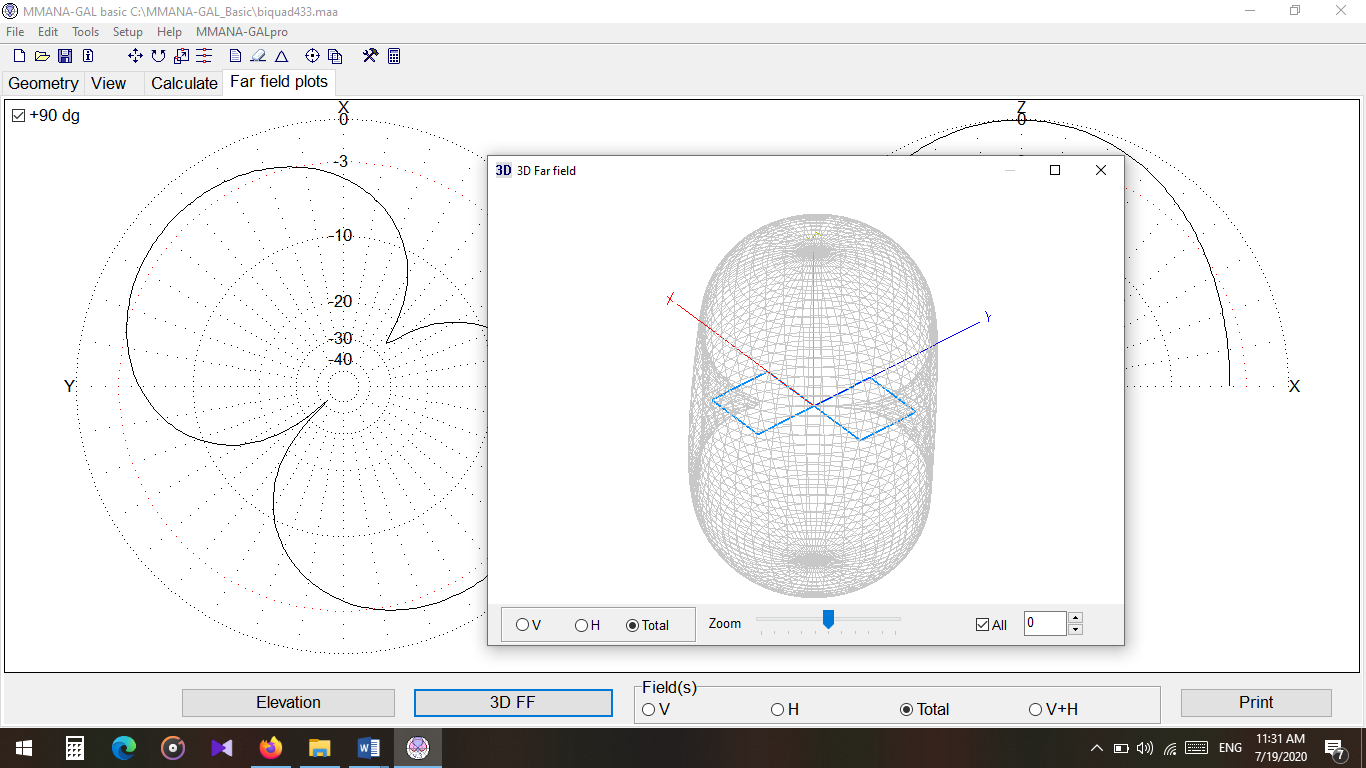
Pada penelitian ini juga menggunakan aplikasi *MMANA-GAL Basic* dalam pembuatan fisik antena, untuk mempermudah mengetahuai polarisasi antena.



1. Perhitungan Antena *Biquad* pada *MMANA-GAL*

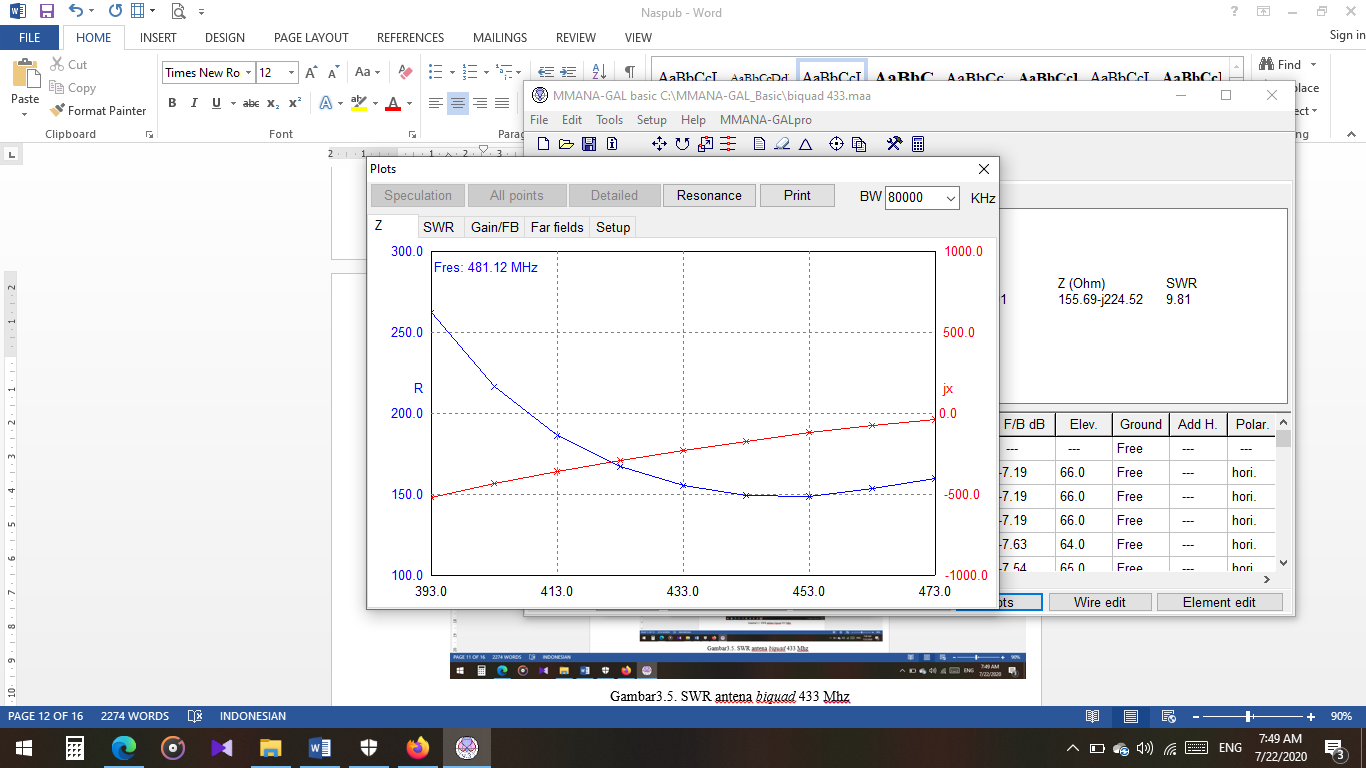
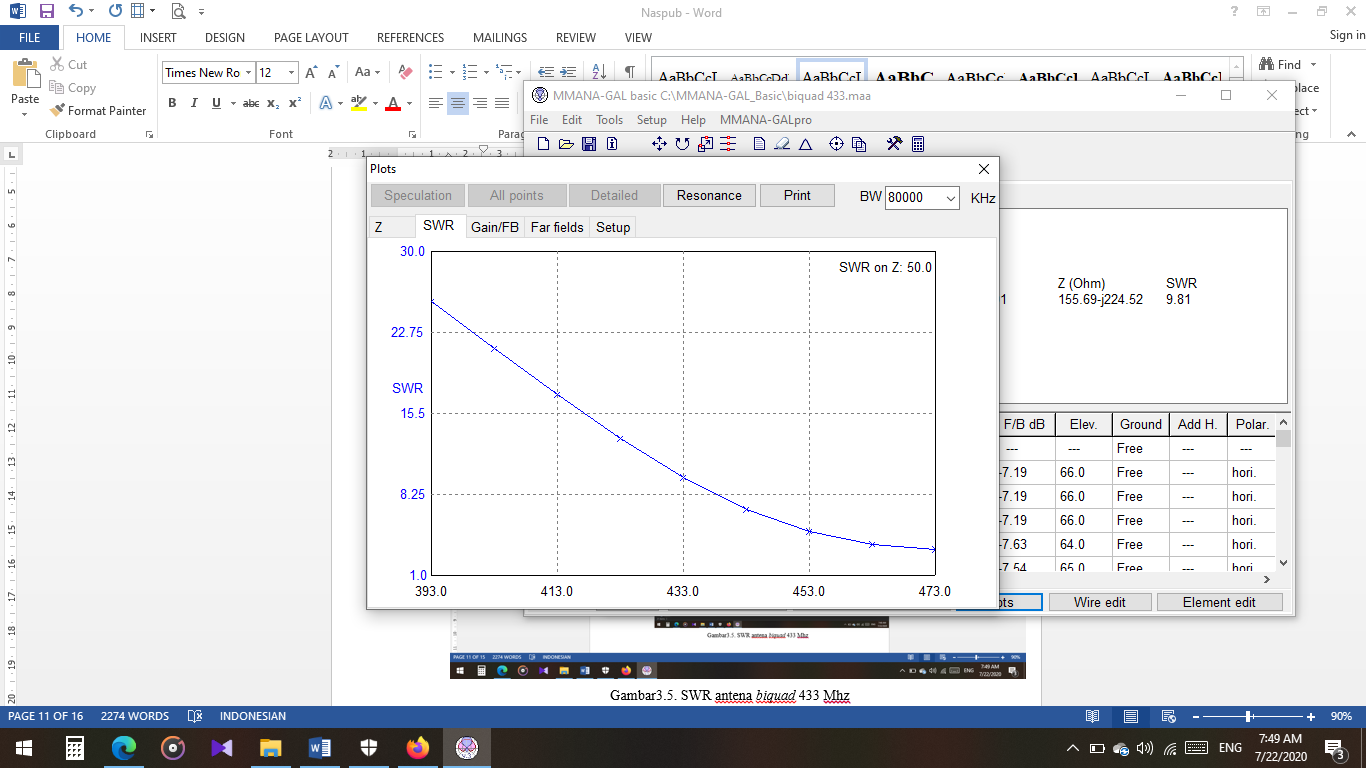
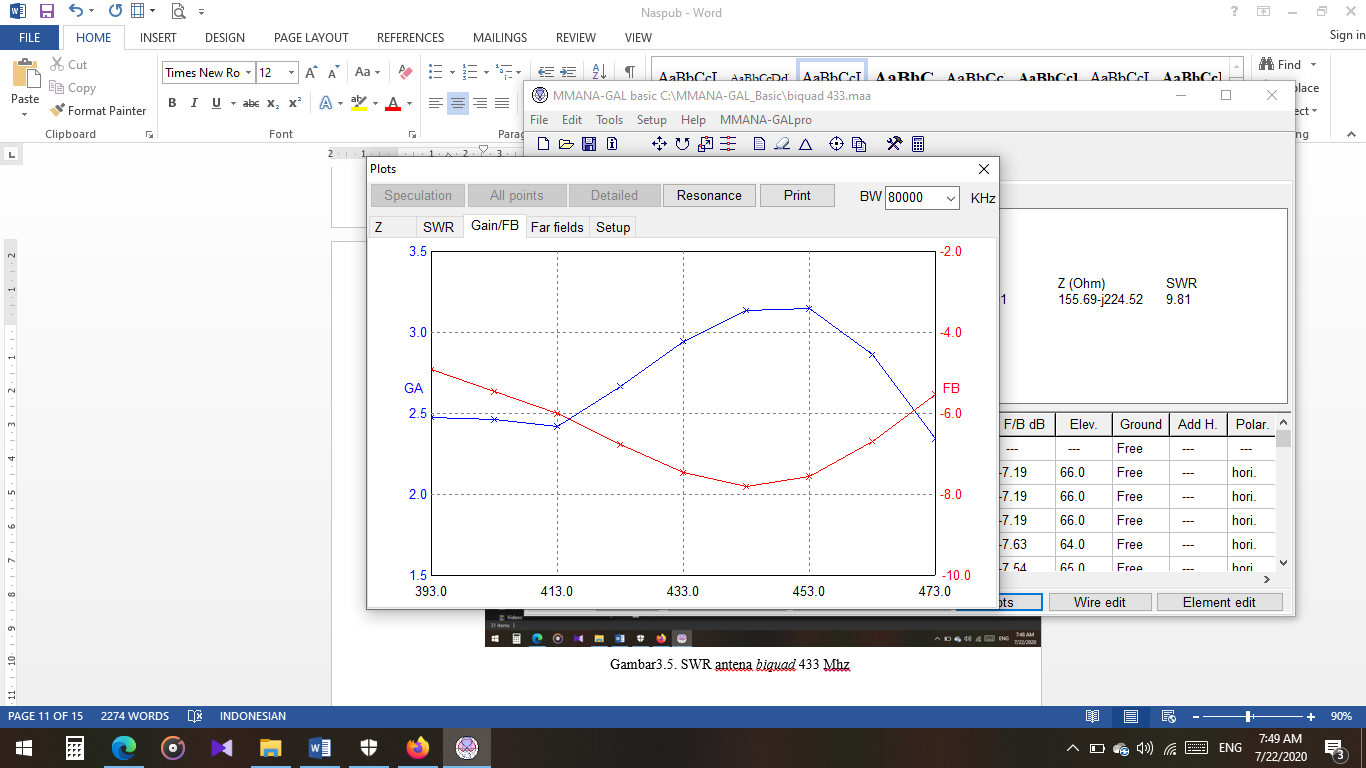
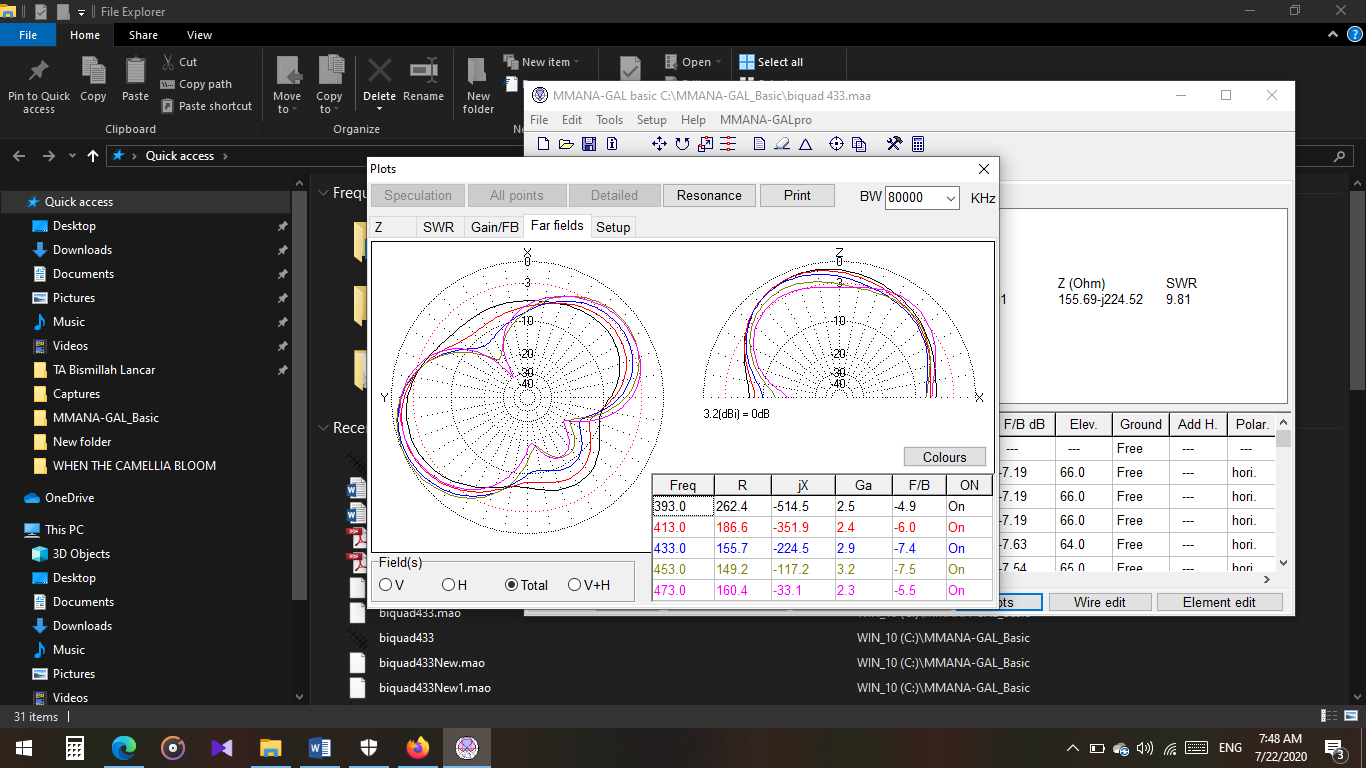
Aplikasi *MMANA-GAL* akan menghitung dan memplot pola radiasi medan jauh vertikal dan horizontal antena. *MMANA-GAL* juga memiliki fitur *Wire edit* dan *Element edit* yang memudahkan untuk membuat antena.





1. View Biquad Antenna MMANA-GAL

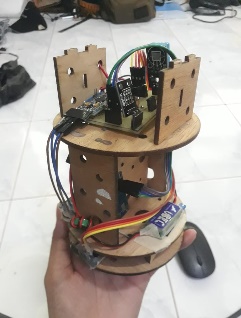
Gambar 6 merupakan hasil simulasi menggunakan *MMANA-GAL* meliputi bentuk *2D* elemen *dipole*, polarisasi dalam bentuk *2D* dan *3D* pada antena *biquad* frekuensi 433 Mhz.



1. MMANA-GAL Plots antena biquad 433 Mhz

Pada *MMANA-GAL* *Plots* antena *biquad* frekuensi 433 Mhz menunjukkan nilai *gain* yang tinggi pada frekuensi kurang dari 413 Mhz dan mengalami kenaikan mulai dari frekuensi 433 Mhz. Nilai *SWR (Standing Wave Ratio)* mengalami penurunan ketika nilai frekuensi lebih dari 433 Mhz, dan Z atau nilai Impedansi R juga menunjukan grafik yang sama dengan grafik *SWR* akan tetapi nilai *jx* mulai meningkat secara perlahan seiring bertambahnya nilai frekuensinya.

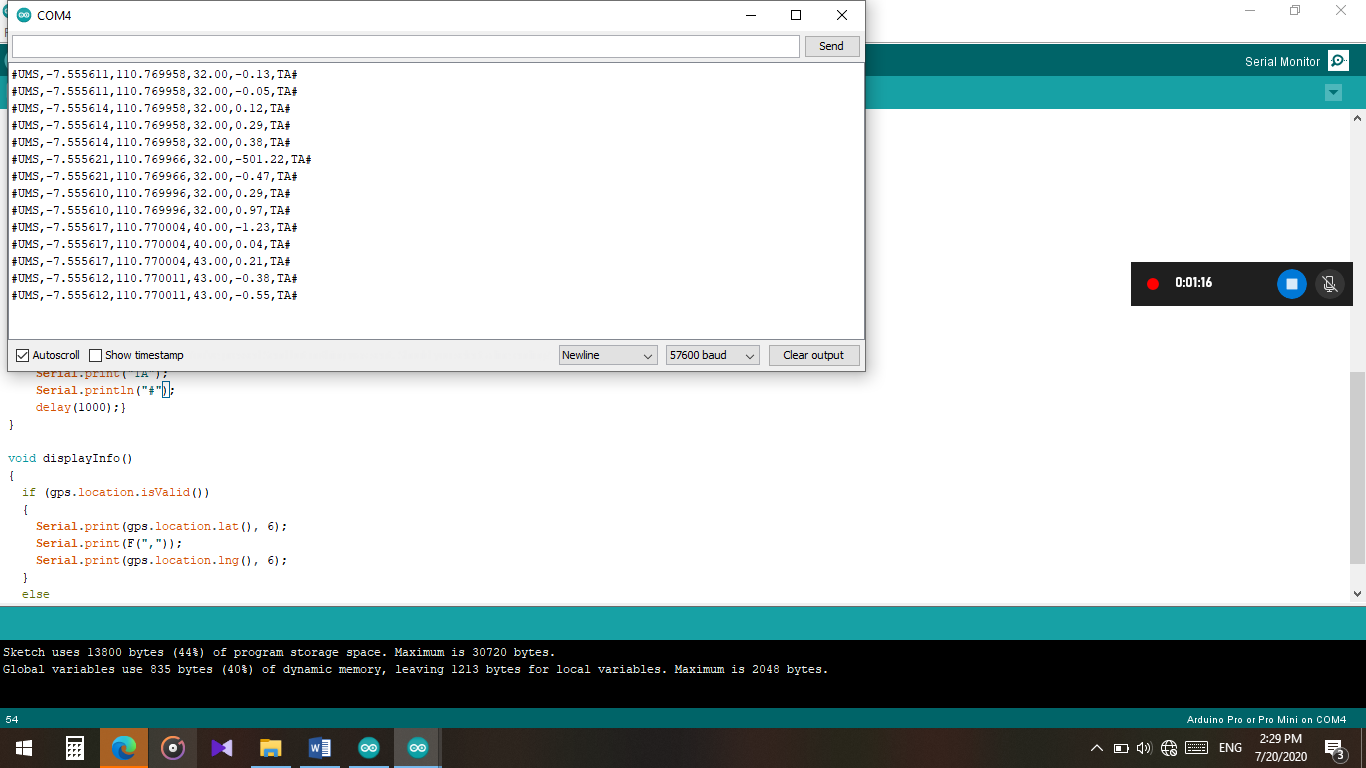
## Data Hasil Pengujian Data Payload



1. Bentuk fisik *payload*

Bentuk fisik *payload* dengan tinggi 15 cm, diameter 10 cm dan berat 150 gram, dirancang dalam bentuk yang ringkas seperti Gambar 3.6, agar mudah untuk diletakkan sebagai muatan balon atmosfer, roket atau *drone* untuk memantau kondisi lingkungan yang diinginkan.

Pengujian data *payload* dilakukan tanpa terhubung dengan antena, data hasil uji *payload* meliputi *longitude, latitude,* suhu dalam derajat celcius, dan ketinggian *payload.* Data uji *payload* menggunakan pemrograman Arduino dimana sensor-sensor yang akan mendeteksi kondisi lingkungan dan ditampilkan pada *serial monitor* yang telah disediakan pada Arduino.

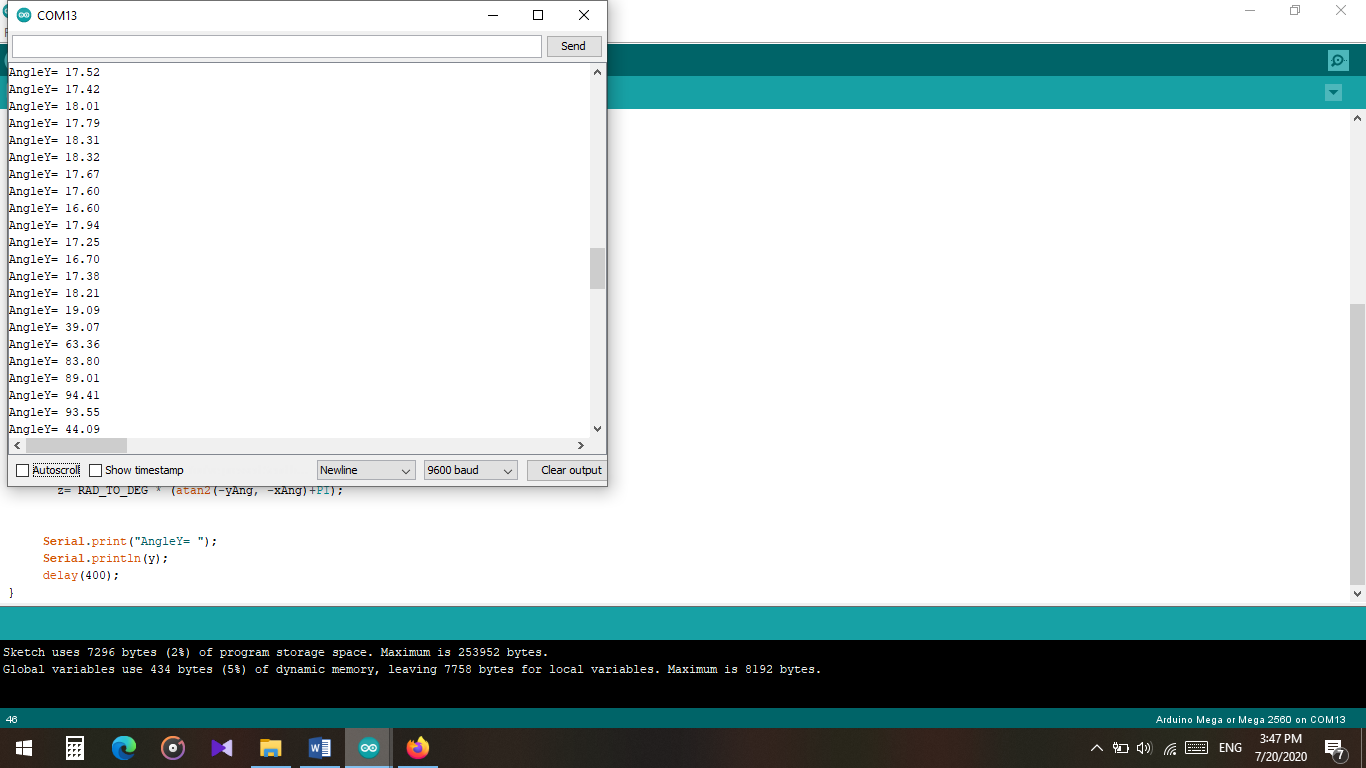
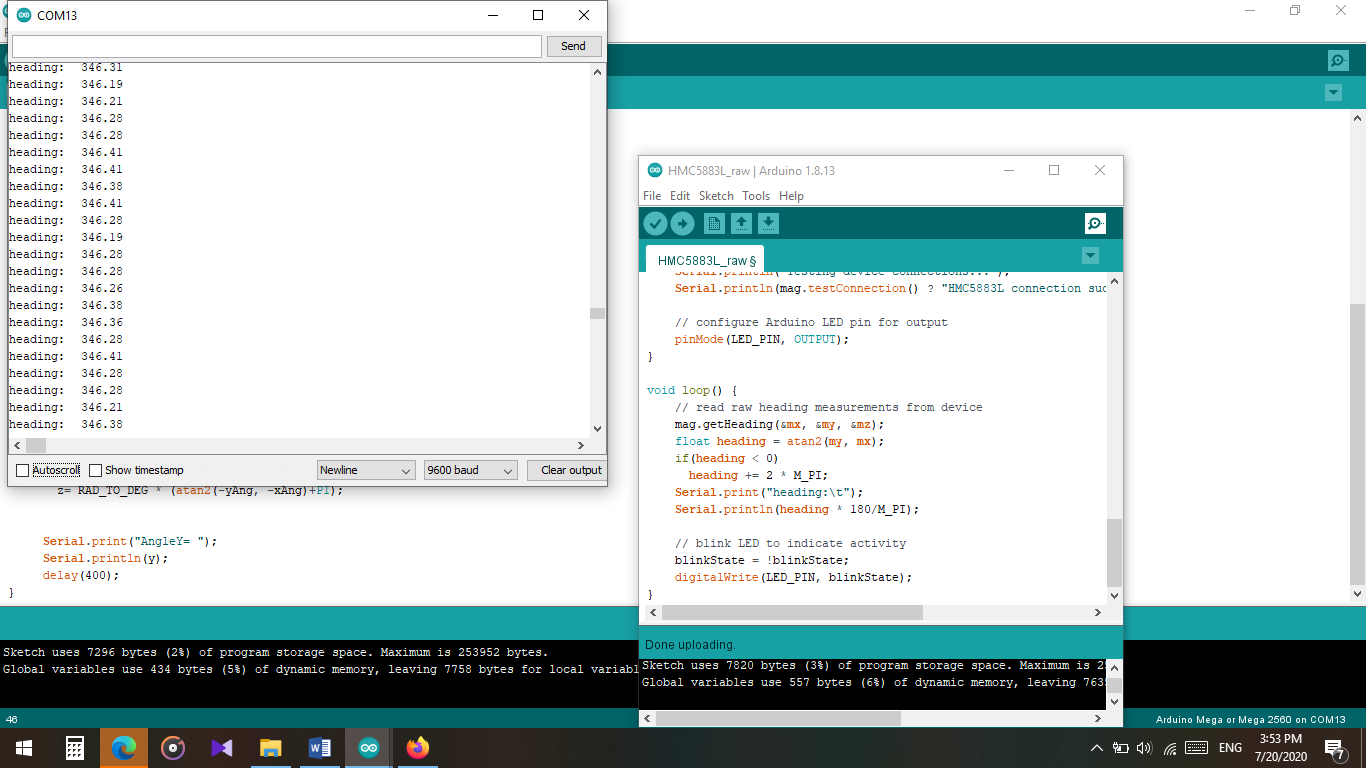


1. Data hasil uji *Payload*

*Serial monitor* hasil uji *payload* menampilkan secara urut berupa data UMS (Universitas Muhammadiyah Surakarta) sebagai ID, *latitude, longitude*, suhu dan data akhir yaitu TA (Tugas Akhir).

## Data Hasil Pengujian Data Antena Tracker

Pengujian antena *tracker* dilakukan tanpa terhubung dengan *payload*. Dimana data yang dihasilkan berupa data kompas dan *pitch.* Data kompas digunakan untuk kalibrasi antena (antena menghadap selatan) dan data *pitch* diperoleh dari sensor *gyro.*



1. Data hasil uji kompas dan *pitch*

Data hasil uji kompas dan *pitch* diperoleh menggunakan Arduino dan ditampilkan melalui *serial monitor.* *Heading* merupakan kompas dengan nilai berupa besaran sudut, sedangkan *AngleY* adalah nilai *pitch* dengan satuan derajat.

1. Hasil Uji Kompas dan *Pitch*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ket. | Hasil Uji | |
| Antena | Perangkat seluler |
| Kompas | 346.31 | 348 |
| 346.19 | 347 |
| 346.21 | 347 |
| 346.28 | 347 |
| 346.41 | 348 |
| 346.38 | 348 |
| Pitch | 17.52 | 15.11 |
| 18.21 | 15.81 |
| 63.36 | 60.91 |
| 89.01 | 86.51 |
| 93.55 | 91.25 |
| 44.09 | 41.99 |

1. Grafik Hasil Uji Kompas dan *Pitch*

Data hasil pengujian kompas pada antena jika dibandingkan dengan sensor pada perangkat seluler menunjukan selisih yang tidak terlalu jauh hanya berkisar diangka satu poin. Kemudian pada hasil pengujian *pitch* jika dibandingkan dengan dengan sensor pada perangkat seluler juga menunjukan selisih dua poin.

## Data Hasil Pengujian Payload dengan GCS

Untuk mencari nilai azimut diperlukan dua lokasi yaitu *payload* dan *GCS*, dimana data *GPS* *payload* bernilai (-7.555552,110.770103) berada di Gedung F Kampus 2 UMS, dan data *GPS* pada *GCS* bernilai (-7.5564209,110.7697773) berada di POS Satpam Pintu Masuk Kampus 2, seperti pada Persamaan 12-18.

tan AB = tan (*a*)…………………. (12)

= tan ………….. (13)

= 2.667792447…………….…...(14)

*a =* arctan (2.667792447)…………... (15)

= 69.4519041964 = 69.45…………(16)

*real azimuth* = 69.45+ 180…………… (17)

= 249.45°………………………..(18)

Antena telah diseting awal agar menghadap kearah selatan (180°) sehingga nilai *real azimuth* harus dikurangi 180° maka antena secara otomatis akan berpotar kearah69° (mutar kearah kanan). Nilai elevasi pada pengujian yang sama dengan nilai *x* atau lebar antara *payload* dengan *GCS* yaitu 103 meter dan ketinggian 0.12 meter didapatkan hasil seperti pada Persamaan 19-22.

………………………(19)

……………...(20)

= 0.0011650485..…………(21)

……..

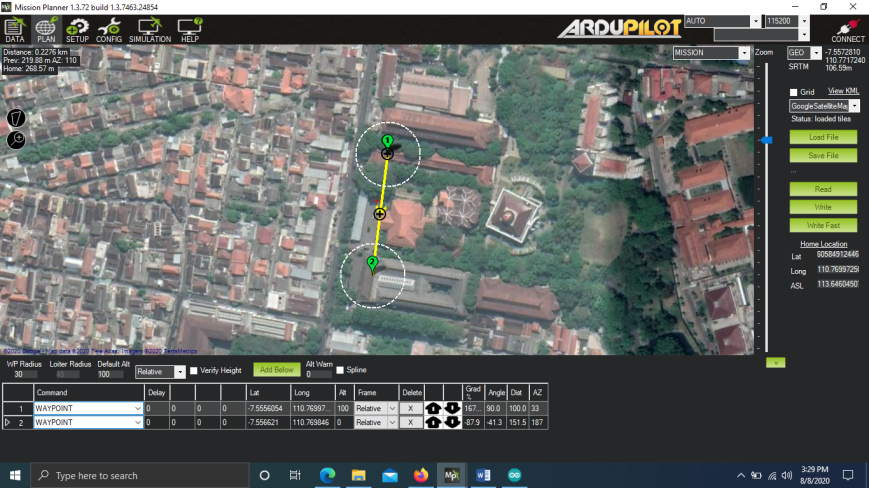
…..………....(22)

Komunikasi *payload* dengan antena *tracker* menggunakan Telemetry frekuensi 433 Mhz, kemudian antena *tracker* mengirim data yang diterima menuju *GCS* dengan kabel mikro *USB* dan ditampilkan melalui *serial monitor* pada *PC*/Laptop.



1. Bentuk fisik antena *tracker*

Bentuk fisik antena *tracker* dengan tinggi 2,3 meter dan lebar 70 cm yang sudah terpasang antena *biquad*, dengan dua motor *stepper* yang satu terpasang disisi badan/wadah dari antena untuk menggerakkan antena secara vertikal dan satu di badan/wadah antena itu sendiri untuk menggerakkan antena secara horizontal.



1. Google Satelite Maps pada softwere Mission Planner

Dalam menampilkan *view GPS* menggunakan *software Mission Planner* sebagai bantuan untuk mendapatkan nilai *distance (Dist)* dan *azimuth* (AZ). *WAYPOINT 1* merupakan *home point* atau tempat antena diletakkan dan *WAYPOINT 2* merupakan titik dimana *payload* berada.

1. Hasil Pengujian *payload* dengan *GCS*

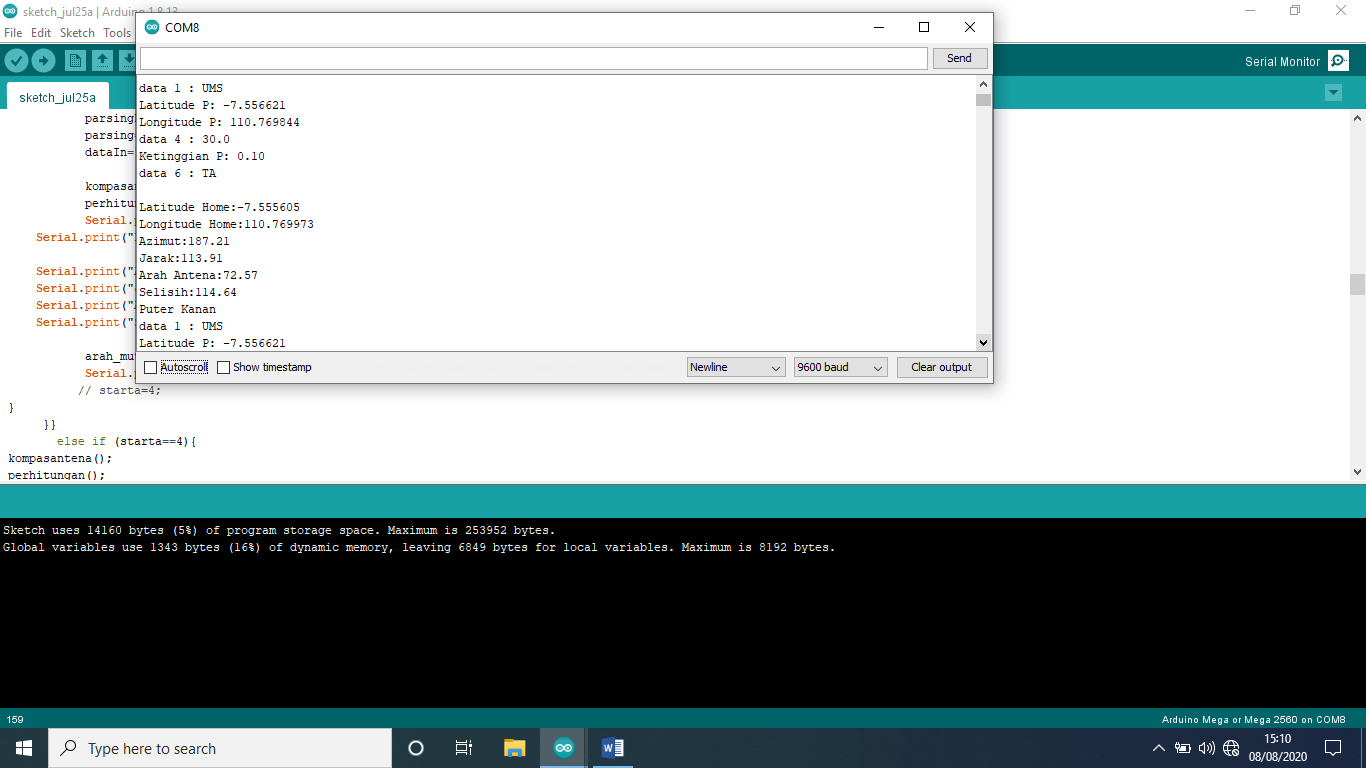
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Pengujian | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Lokasi Payload | Latitude | -7.556.343 | -7.556.191 | -7.556.027 | -7.555.216 | -7.556.621 |
| Longitude | 110.769.804 | 110.769.980 | 110.771.182 | 110.771.228 | 110.769.846 |
| Data Mission Planner | Dist (m) | 130.7 | 119.3 | 173.1 | 176.1 | 151.5 |
| AZ | 193 | 179 | 109 | 73 | 187 |
| Data  Payload | Dist (m) | 84.39 | 65.34 | 144.98 | 144.6 | 113.91 |
| AZ | 192.67 | 179.26 | 109.48 | 72.57 | 187.21 |
| Error | Dist (m) | 46.31 | 53.96 | 28.12 | 31.5 | 37.59 |
| AZ | 0.33 | -0.26 | -0.48 | 0.43 | -0.21 |

Hasil pengujian *payload* dengan *GCS* yang berada pada titik lokasi *GPS* -7.555605, 110.769973. Nilai *error* didapat dari hasil pengurangan Data *Mission Planner* dan Data *Payload,* dimana nilai *error distance (Dist)* cukup besar yang dapat disebabkan oleh beberapa faktor, misalnya pembacaan sensor *GPS* pada *payload* atau *antenna tracker* kurang akurat.

1. Arah Putar Antena *Tracker*

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Azimuth/Arah Antena | Azimuth Payload | Pembanding | Arah Putar |
| 1 | 176.76 | 192.67 | 15.91 | Kanan |
| 2 | 192.67 | 179.26 | -13.41 | Kiri |
| 3 | 179.26 | 109.48 | -69.52 | Kiri |
| 4 | 109.48 | 72.57 | -36.43 | Kiri |
| 5 | 72.57 | 187.21 | 114.69 | Kanan |

Antena *tracker* saat dikalibrasi awal menghadap ke arah selatan pada sudut 176.76˚, ketika *payload* berada pada sudut 192,67˚ maka antena akan berputar kearah kanan sejauh 15.91˚ yang ditunjukkan pada baris pembanding, jika baris pembanding bernilai negative, maka arah putar antena bergerak ke kiri dan begitu seterusnya.



1. Data yang diterima *GCS* dari *Payload*

Data yang diterima adalah data yang dikirim dari *payload* berupa UMS sebagai ID, data *GPS* (*latitude dan longitude*), suhu, ketinggian (meter) dan TA sebagai *pass.* Data *Latitude Home* hingga Putar Kanan merupakan data *tracking* yang dilakukan oleh antena itu sendiri.

# KESIMPULAN

* Antena *tracker* masih didesain dengan sangat sederhana, sehingga konstruksi antena terasa tidak kokoh.
* Selisih sensor *gyro* pada antena *tracker* memilikiselisih 2 jika dibandingkan sensor *gyro* pada perangkat seluler. Nilai sensor kompas pada antena cukup besar jika dibandingkan dengan sensor pada perangkat seluler, hal ini diakibatkan medan magnet dari motor dan antena *biquad* mempengaruhi nilai sudut kompas.
* Nilai *distance* (jarak horizontal *payload* dengan antena *tracker*) pada *Mission Planner* dan pembacaan sensor *GPS* memiliki rata-rata nilai *error* 39.496 dengan 5 titik lokasi percobaan. Nilai *error* yang cukup besar dapat disebabkan dari pembacaan sensor *GPS* pada *payload* dan antena *tracker* yang kurang akurat.
* Antena *biquad* memiliki polarisasi menjauh ke arah depan sehingga cukup baik dalam komunikasi serta pembuatan yang cukup mudah.
* Motor *stepper* NEMA 23 yang menggerakan antena secara horizontal dan vertikal cukup mumpuni karena sudut rotasi motor lebih mudah diatur dan memiliki torsi yang cukup kuat.

PERSANTUNAN

* Alhamdulillah puji syukur kepada Allah SWT berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan baik. Penelitian ini juga tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, maka penulis mengucapkan terimakasih kepada:
* Ayah dan Ibu sebagai sumber semangat, cinta dan kasih sayang penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yang telah banyak mendukung dan bersabar selama masa perkuliahan.
* Ibu Umi Fadlilah, S.T., M.Eng. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan semangat, saran, dan arahan selama proses pengerjaan tugas akhir.
* Bapak Umar, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta dan seluruh Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta.
* AEROBO UMS yang telah memberikan banyak ilmu yang tidak penulis dapatkan pada masa perkuliahan, menjadi tempat selama proses pengerjaan tugas akhir dan bersedia memberikan alat dan prasaran untuk mendukung penulis dalam proses pembuatan tugas akhir.
* Seluruh teman-teman Teknik Elektro UMS yang telah membantu dalam pembuatan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aries, S. (2012, 02). *TRIGONOMETRI : Sudut elevasi dan sudut depresi*. Retrieved from http://svarisgunawan.blogspot.com: http://svarisgunawan.blogspot.com/2012/02/trigonometri-sudut-elevasi-dan-sudut.html
2. Fadlilah, U. (2011). *SIMULASI POLA RADIASI ANTENA DIPOLE TUNGGAL*. Retrieved from ACADEMIA: https://www.academia.edu/6633515/SIMULASI\_POLA\_RADIASI\_ANTENA\_DIPOLE\_TUNGGAL
3. Fakhrana Dhaifina, Bambang Setia Nugroho, & M. Irfan Maulana. (2017). PERANCANGAN DAN REALISASI ANTENA BIQUAD YAGI DAN ANTENA BIQUAD OMNIDIRECTIONAL SEBAGAI REPEATER PASIF. *e-Proceeding of Engineering : Vol.4, No.3*, 3365.
4. Gede Saindra Santyadiputra, I Wayan Sutaya, I Gede Mahendra Darmawiguna, & Ketut Udy Ariawan. (2017). RANCANGAN ANTENA TELEMETRI BIQUAD 5.800 MHZ WAHANA TERBANG FOTOGRAMETRI. *ISSN Online : 2541-3058*, 4.
5. SI MAN. (2018, Mei 15). *Cara Mudah Menghitung Azimuth dengan Gleason Map*. Retrieved from SI MAN Web Site: https://siman850132068.wordpress.com/2018/05/15/cara-mudah-menghitung-azimuth-dengan-gleason-map/
6. Skaringa, M. (2014, 07 12). *Build Your Own Antenna* . Retrieved from https://buildyourownantenna.blogspot.com: https://buildyourownantenna.blogspot.com/2014/07/double-biquad-antenna-calculator.html
7. Subroto P, Y. H., Roza, E., & Cahyasiwi, D. A. (2016). Rancang Bangun Antena Biquadpada Frekuensi Kerja LTE (Long Term Evolution) 710 MHz. *ISBN: 978-602-73919-0-1 Seminar Nasional TEKNOKA\_FT UHAMKA,*, 113-114.