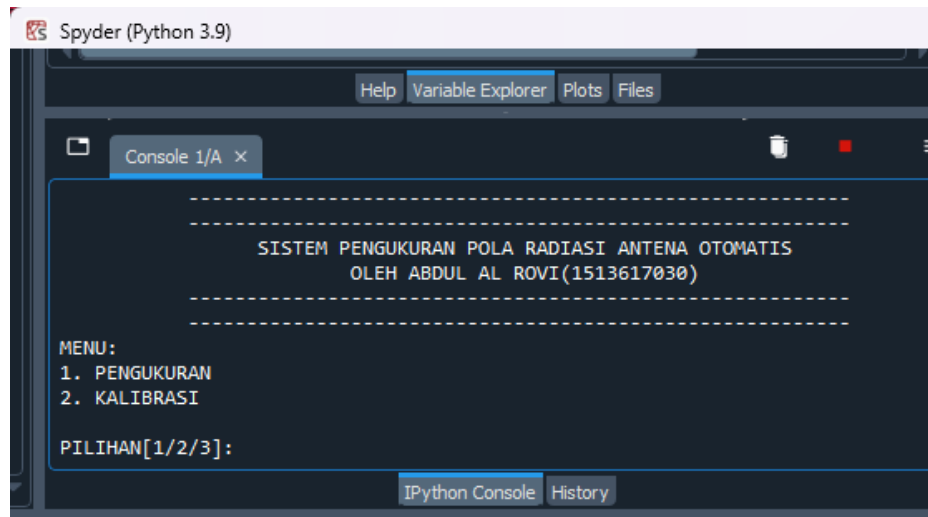


## BAB IV HASIL PENELITIAN

### 4.1. Hasil Pengembangan Produk

Berdasarkan rancangan yang telah dibuat, peneliti membangun sistem pengukuran pola radiasi antena otomatis berbasis HackRF One dan Arduino Nano yang terdiri dari sebuah meja putar, HackRF One, pembangkit sinyal ADF4351, komputer, antena penerima (Antena Rx), dan antena yang akan diukur pola radiasinya (Antena Tx). Meja putar berfungsi untuk menggerakkan antena saat melakukan pengukuran pola radiasi. HackRF One berfungsi untuk mengukur kekuatan sinyal dari antena yang diukur pola radiasinya. Pembangkit sinyal ADF4351 berfungsi untuk menghasilkan sinyal yang akan dipancarkan oleh antena yang diukur pola radiasinya. Komputer berfungsi untuk mengolah data dan menghasilkan *output* berupa gambar pola radiasi antena dan data kekuatan sinyal. Gambar pola radiasi yang dihasilkan berjumlah dua gambar, yaitu satu gambar pola radiasi antena dalam sistem koordinat polar dan satu gambar pola radiasi antena dalam sistem koordinat kartesian, selain itu sistem juga menghasilkan sebuah file berformat .csv yang berisi informasi kekuatan sinyal yang dipancarkan oleh antena pada setiap sudut. seluruh *output* program disimpan pada folder bernama "Output" yang terletak dalam folder program sistem.

Pada penelitian ini, *spectrum analyzer* HackRF ditempatkan pada sebuah tiang penyangga yang terbuat dari aluminium karena antena yang digunakan oleh HackRF menempel langsung ke tubuh HackRF. Meja putar terbuat dari papan MDF yang ditenagai oleh sebuah motor stepper dan dikontrol oleh papan pengendali berbasis Arduino Nano. HackRF dan papan pengendali meja putar dihubungkan ke komputer menggunakan kabel USB. Komputer menerima data kekuatan sinyal yang dipancarkan antena dan memerintahkan meja putar untuk melakukan putaran melalui kabel USB tersebut. Adapun program pada komputer yang berfungsi untuk mengelolah data dan menghasilkan output dibuat menggunakan bahasa pemrograman Python versi 3.7. Tampilan antarmuka program tertera pada gambar 4.1.



**Gambar 4.1** Antarmuka program sistem pengukuran pola radiasi antenna otomatis berbasis HackRF One dan Arduino Nano



**Gambar 4.2.** Foto sistem yang dibangun

Gambar 4.2 menunjukkan foto dari sistem pengukuran pola radiasi antenna otomatis berbasis HackRF One dan Arduino nano yang dibangun oleh peneliti. Di sebelah dikiri gambar terlihat tiang penyangga antenna penerima yang sekaligus menyangga HackRF, tiang ini terbuat dari bahan alumunium dan dapat dilipat sehingga menghemat tempat penyimpanan. Foto tiang penyangga yang lebih jelas bisa dilihat pada gambar 4.3.

Pada bagian tengah gambar 4.2 terlihat komputer yang digunakan oleh peneliti, sedangkan pada bagian kanan terlihat meja putar yang menyangga antenna yang diukur pola radiasinya. Bangun fisik meja putar berbahan dasar kayu MDF yang dapat dilihat secara lebih jelas pada gambar 4.4.



**Gambar 4.3. Tiang penyangga antena penerima yang dibangun**



**Gambar 4.4. Meja putar yang dibangun**

Penjelasan mengenai cara menggunakan sistem dibagi menjadi dua bagian, yaitu cara melakukan kalibrasi dan cara melakukan pengukuran pola radiasi antenna. Kalibrasi sistem berfungsi untuk menyesuaikan nilai kekuatan sinyal yang dibaca oleh HackRF agar sesuai dengan nilai yang sesungguhnya, sedangkan pengukuran pola radiasi antenna berfungsi untuk mendapatkan data pola radiasi antenna.

#### 1) Cara Melakukan Kalibrasi Sistem

1. Siapkan *spectrum analyzer* yang akan digunakan sebagai referensi. Pada penelitian ini peneliti menggunakan *spectrum analyzer* berbasis RTL2832U. Adapun alasan digunakannya RTL2832U adalah karena *spectrum analyzer* ini sebenarnya merupakan sebuah dongle untuk menerima siaran TV digital sehingga sudah dikalibrasi dari pabrik. Gambar fisik dari modul RTL2832U tertera pada gambar 4.5.



**Gambar 4.5. Modul RTL2832U**

2. Nyalakan modul pembangkit sinyal ADF4351 dengan menghubungkan modul ke port USB.
3. Pada modul ADF4351, ketik frekuensi yang akan digunakan untuk melakukan kalibrasi. Penentuan frekuensi disesuaikan dengan frekuensi kerja antenna yang dihubungkan ke modul ADF4351. Adapun dalam penelitian ini peneliti menggunakan frekuensi 1 GHz sebagaimana dapat dilihat pada gambar 4.6.





**Gambar 4.6. Pembangkit sinyal ADF4351 yang sedang bekerja pada frekuensi 1 GHz.**

4. Hubungkan sebuah antenna ke modul ADF4351. Pilihlah antenna dengan frekuensi kerja yang sesuai dengan frekuensi kalibrasi. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan antenna monopole teleskopik yang panjangnya diautut menjadi 15cm. Alasan diaturnya panjang antenna menjadi 15cm adalah karena panjang gelombang radio pada frekuensi 1GHz adalah 30cm sehingga sebuah antenna monopole dengan panjang 15cm akan menjadi antenna *half-wave monopole*.
5. Hubungkan sebuah antenna ke *spectrum analyzer* referensi. Pilihlah antenna dengan frekuensi yang sesuai dengan frekuensi kalibrasi. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan antenna monopole teleskopik yang panjangnya diautut menjadi 15cm. Alasan diaturnya panjang antenna menjadi 15cm adalah karena panjang gelombang radio pada frekuensi 1GHz adalah 30cm sehingga sebuah antenna monopole dengan panjang 15cm akan menjadi antenna *half-wave monopole*.
6. Tancapkan *spectrum analyzer* referensi ke komputer.
7. Tetapkan jarak antara antenna *spectrum analyzer* referensi dengan antenna modul ADF4351. Pada penelitian ini peneliti menetapkan jarak sejauh 1 meter.
8. Buka aplikasi SDRConsole di komputer.
9. Klik “Select Radio”.
10. Pilih “RTL Dongle USB”.

11. Pada tab “Receive”, atur frekuensi sesuai dengan frekuensi yang digunakan untuk kalibrasi, yaitu 1.000.000.000Hz.
12. Catat kekuatan sinyal yang diterima pada frekuensi 1Ghz.
13. Lepaskan antena dari *spectrum analyzer* referensi lalu pasang ke HackRF.
14. Samakan jarak antara antena HackRF dengan antena modul ADF4351 dengan jarak yang telah ditentukan pada langkah 7, yaitu 1 meter.
15. Buka file “program.py” pada folder “program”, lalu klik run.
16. Ketik “2” lalu tekan enter
17. Ketik frekuensi yang digunakan untuk melakukan kalibrasi, yaitu “1000” (MHz).
18. Ketik nilai kekuatan sinyal yang didapat pada langkah 12.
19. Selesai

## 2) Cara Melakukan Pengukuran Pola Radiasi Antena

1. Pasang antena yang akan diukur pola radiasinya (Antena Tx) pada klem meja putar.
2. Pasang antena penerima (Antena Rx) pada tiang penyangga antena.
3. Atur jarak kedua antena agar melebihi jarak Fraunhofer
4. Hubungkan HackRF One dan Arduino nano ke port USB Komputer
5. Buka file “program.py” pada folder “program”, lalu klik run.
6. Pilih menu pengukuran dengan mengetik “2” lalu tekan enter
7. Ketik frekuensi yang digunakan dalam pengukuran dalam satuan MHz.
8. Ketik akurasi pengukuran yang diinginkan dalam satuan derajat.
9. Tunggu hingga program mengeluarkan gambar pola radiasi antena.
10. Selesai

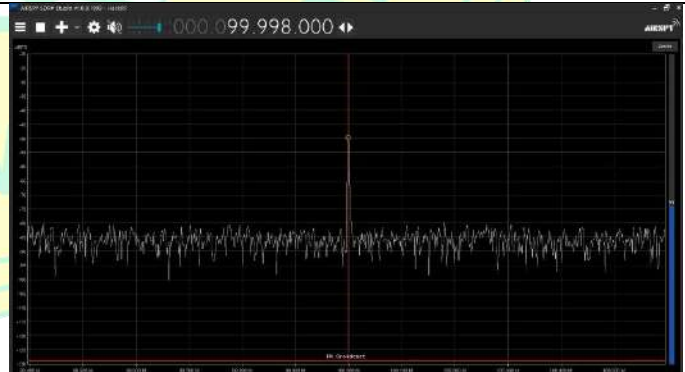
## 4.2.Kelayakan Produk

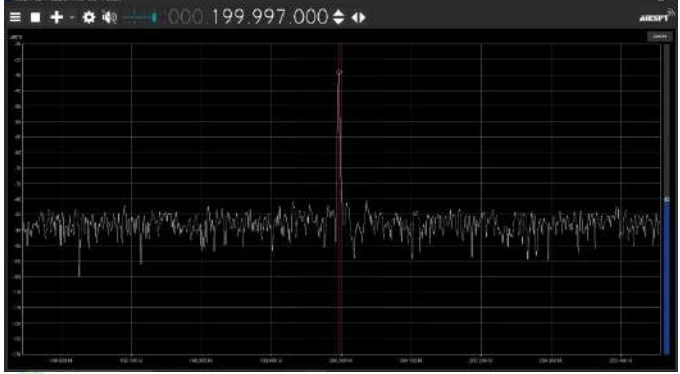
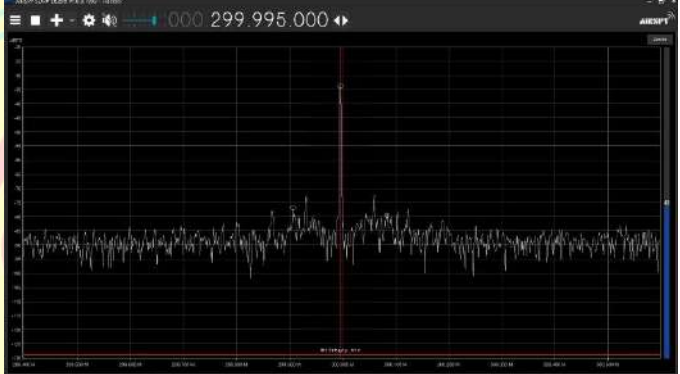
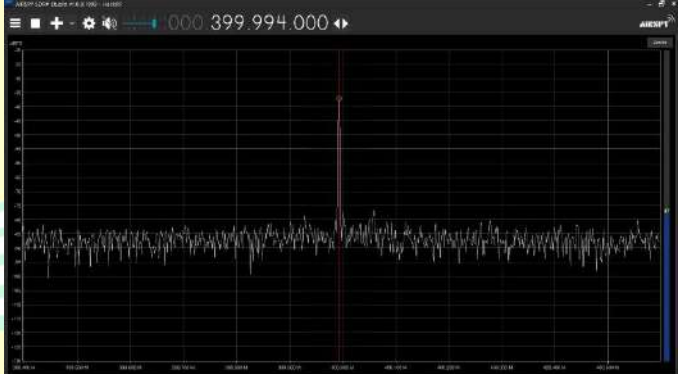
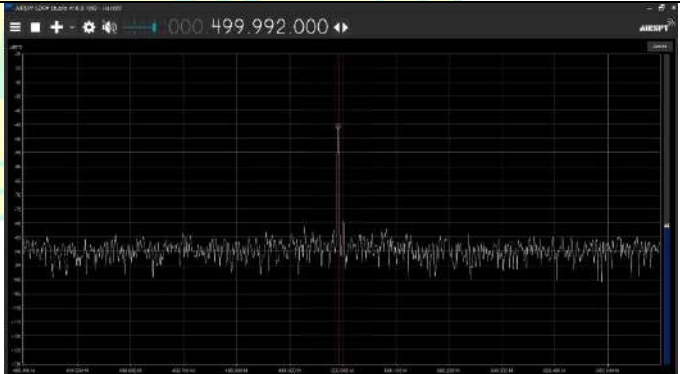
Pengujian kelayakan produk dilakukan dengan melakukan pengujian pada HackRF One dan meja putar. Pengujian HackRF One berfungsi untuk menentukan apakah HackRF One dan pembangkit sinyal ADF4351 berfungsi dengan baik sehingga layak digunakan atau tidak, sedangkan pengujian meja putar berfungsi untuk menentukan apakah meja putar berfungsi dengan baik sehingga layak digunakan atau tidak.

### 1) Pengujian HackRF One

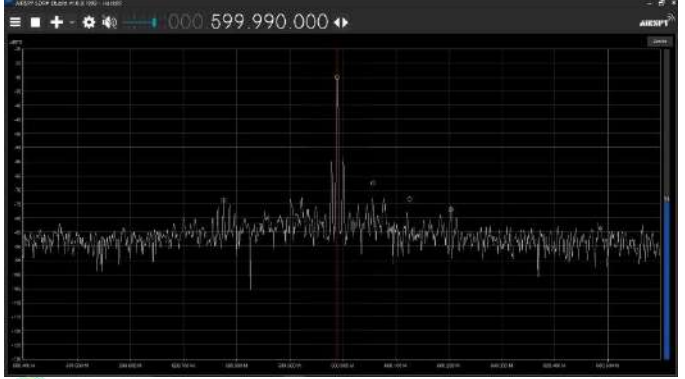
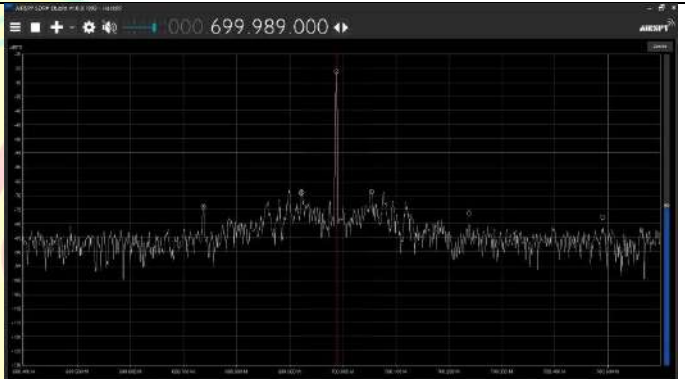
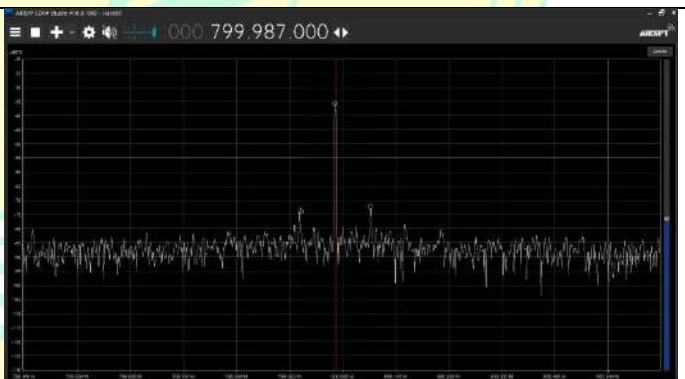
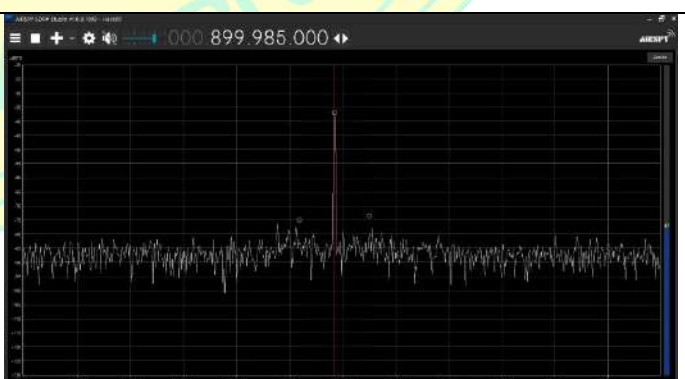
Pengujian HackRF One dilakukan untuk mengetahui apakah HackRF One bekerja dengan baik. Pengujian dilakukan dengan membuat sinyal dari pembangkit sinyal ADF4531 mulai dari 100 MHz hingga 4400MHz dengan *interval* 100 MHz yang kemudian akan dideteksi oleh HackRF One. Hasil pengujian menunjukkan bahwa HackRF One bekerja dengan baik karena dapat mendeteksi seluruh sinyal dari Pembangkit sinyal ADF4531 dengan deviasi terkecil 0,002 MHz dan terbesar 0,075 MHz sebagai mana terlihat pada tabel 4.1.

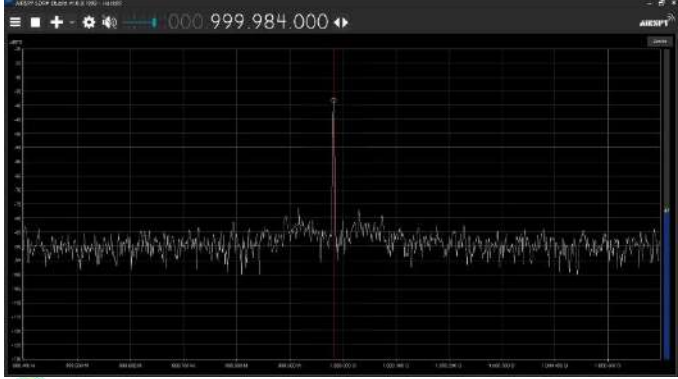
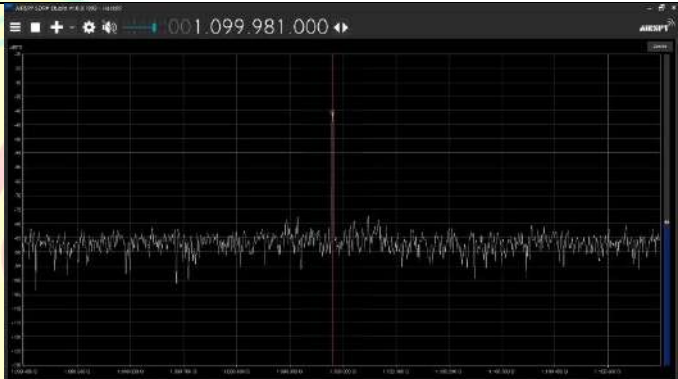
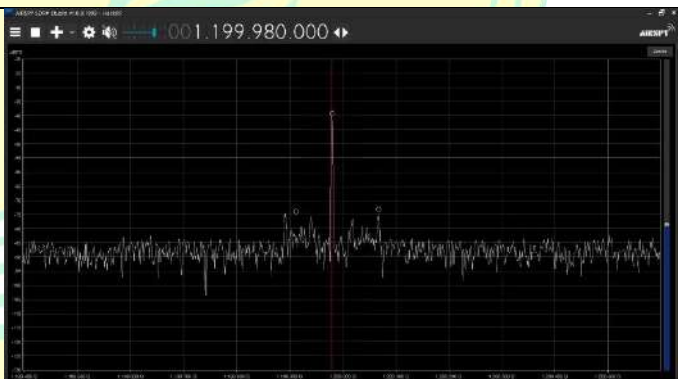
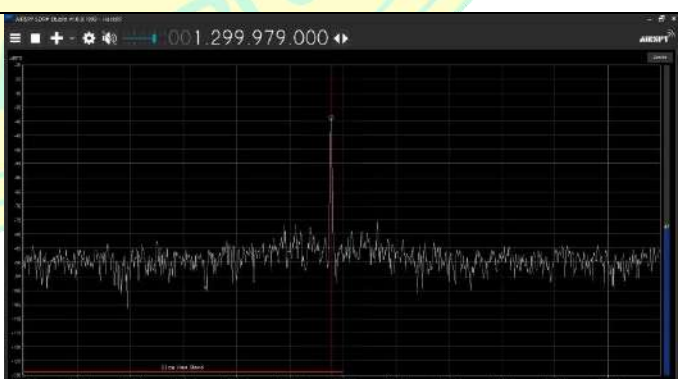
**Tabel 4.1. Hasil pengujian HackRF One**

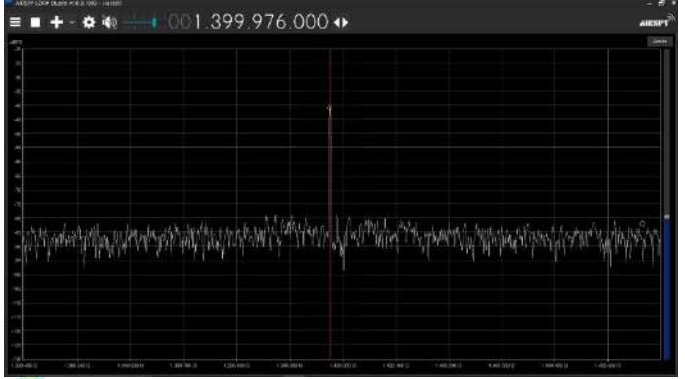
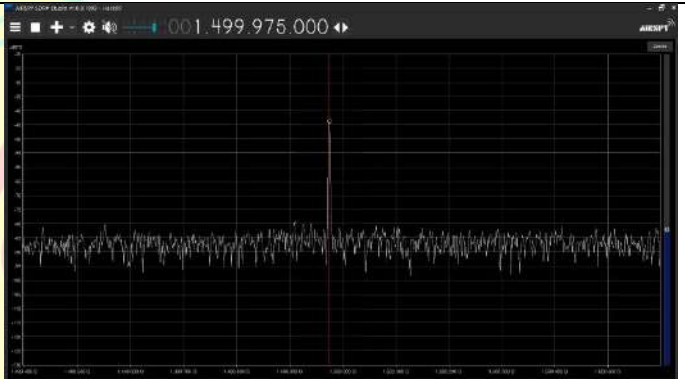
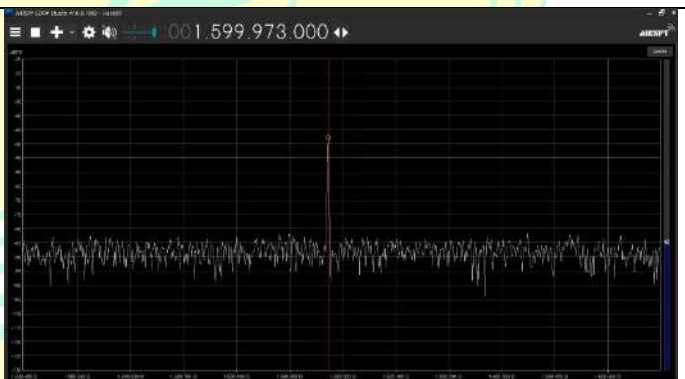
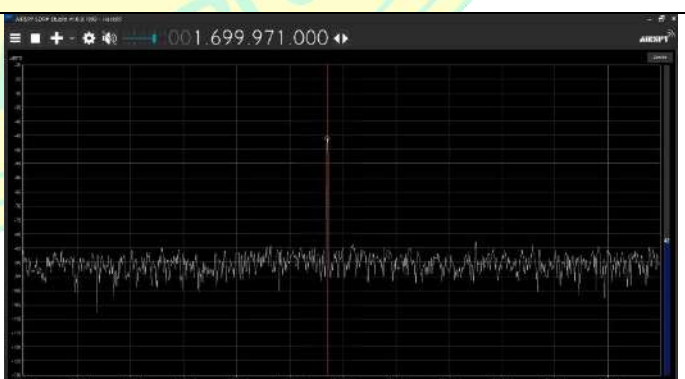
Frekuensi Puncak Ideal	Frekuensi Puncak Terukur	Deviasi	Gambar
100 MHz	99,998 MHz	0,002 MHz	

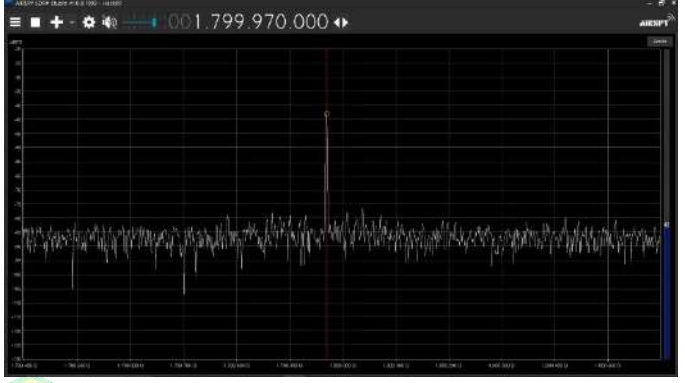
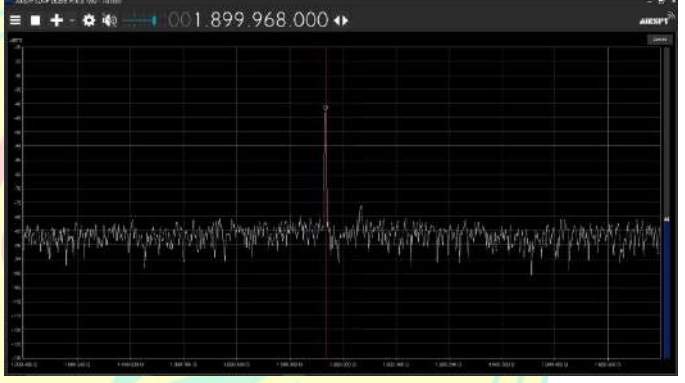
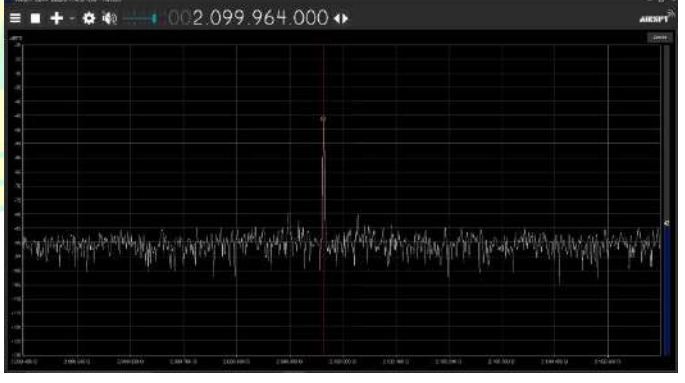
200 MHz	199,997 MHz	0,003 MHz	
300 MHz	299,995 MHz	0,005 MHz	
400 MHz	399,994 MHz	0,005 MHz	
500 MHz	499,992 MHz	0,008 MHz	



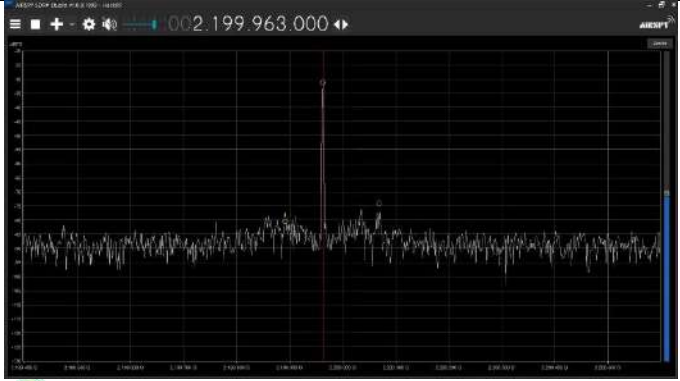
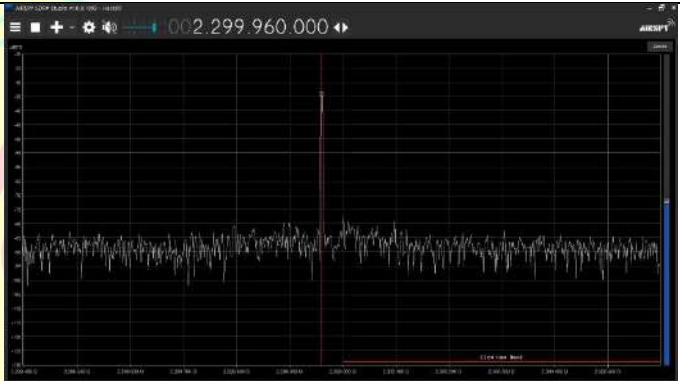
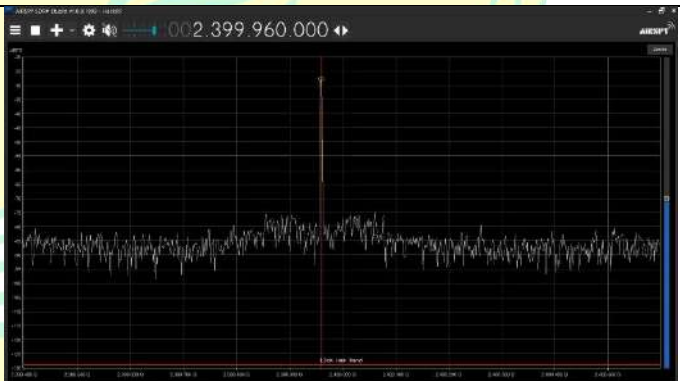
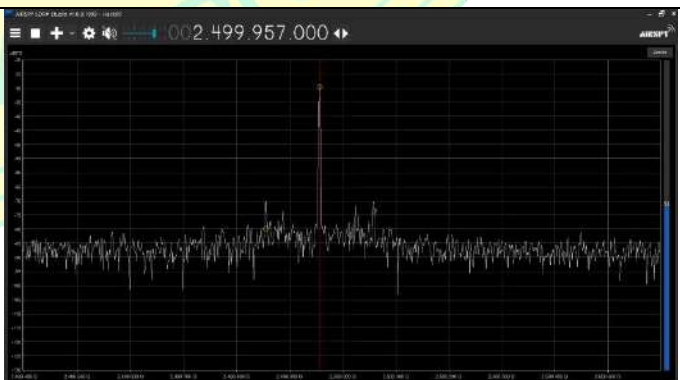
600 MHz	599,99 MHz	0,01 MHz	
700 MHz	699,989 MHz	0,011 MHz	
800 MHz	799,987 MHz	0,013 MHz	
900 MHz	899,985 MHz	0,015 MHz	

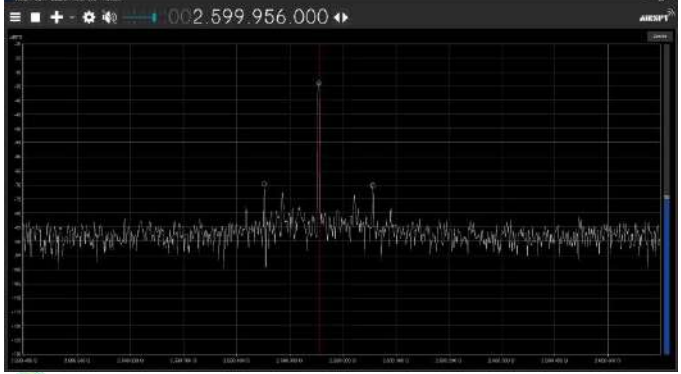
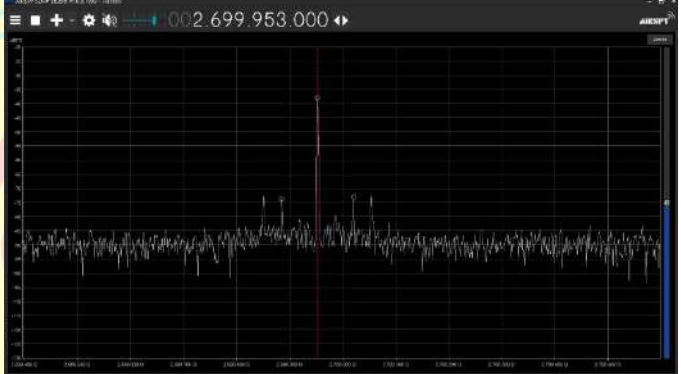
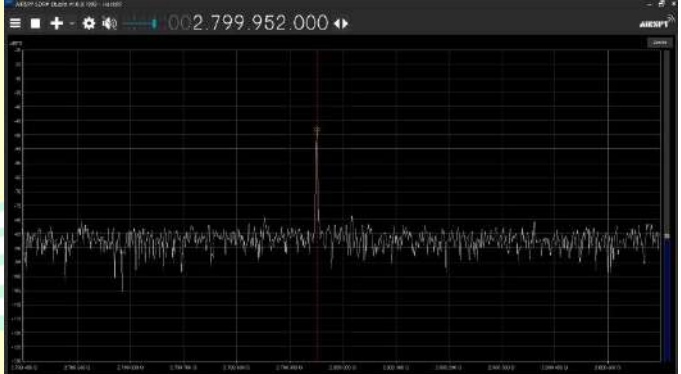
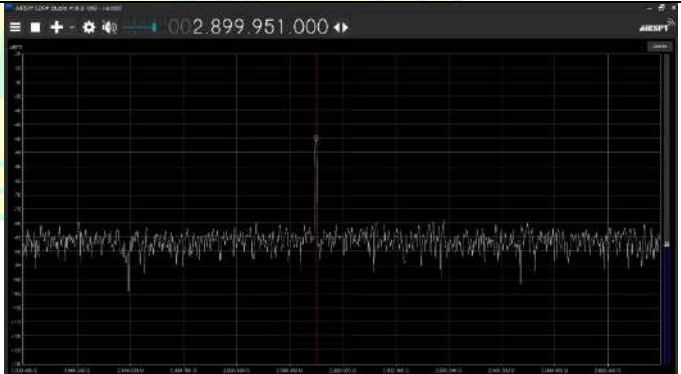
1000 MHz	999,984 MHz	0,016 MHz	
1100 MHz	1099,981 MHz	0,019 MHz	
1200 MHz	1199,98 MHz	0,02 MHz	
1300 MHz	1229,979 MHz	0,021 MHz	

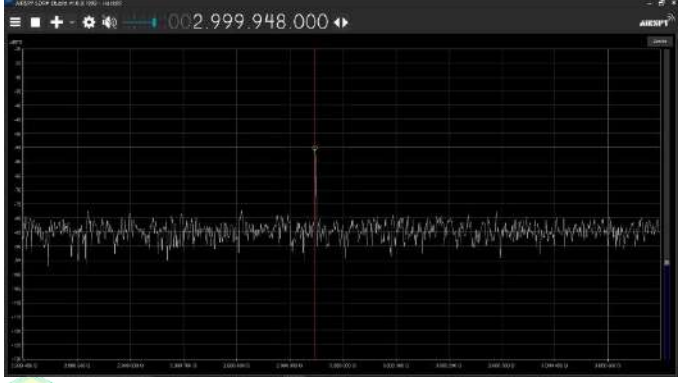
1400 MHz	1399,976 MHz	0,024 MHz	
1500 MHz	1499,975 MHz	0,025 MHz	
1600 MHz	1599,973 MHz	0,027 MHz	
1700 MHz	1699,971 MHz	0,029 MHz	

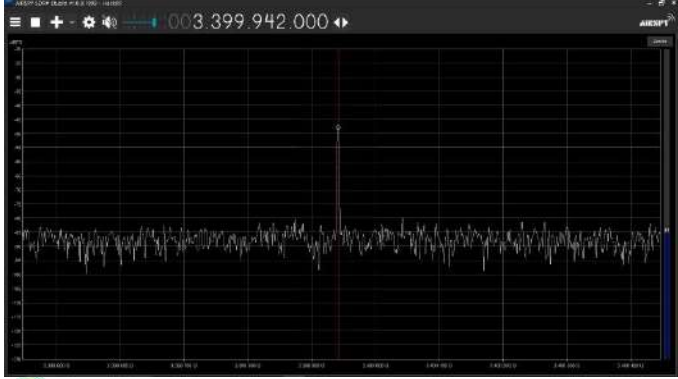
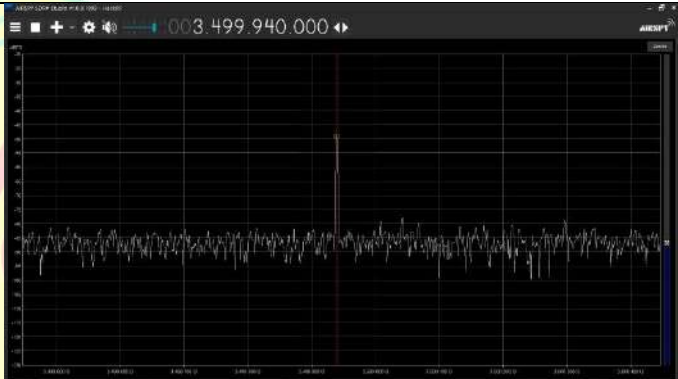
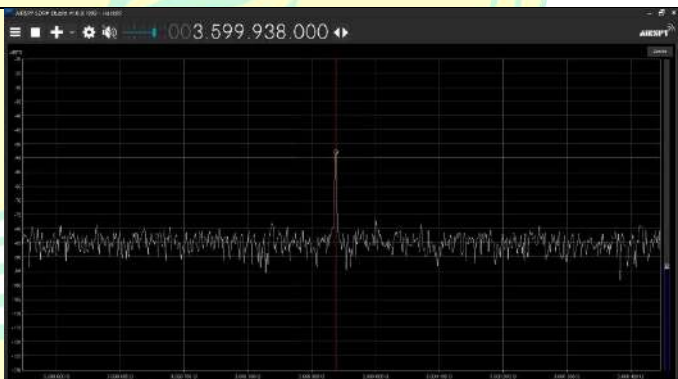
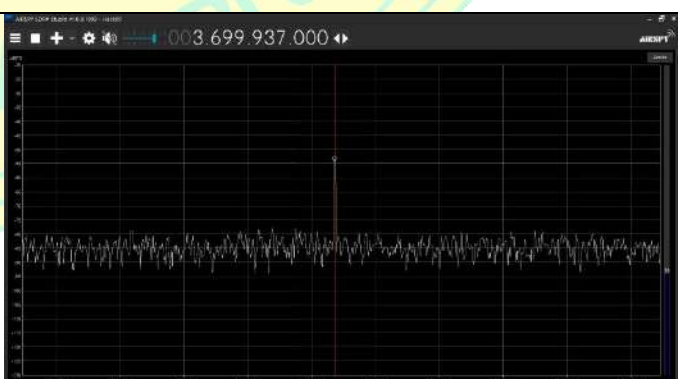
1800 MHz	1799,970 MHz	0,03 MHz	
1900 MHz	1899,968 MHz	0,032 MHz	
2000 MHz	1999,966 MHz	0,034 MHz	
2100 MHz	2099,964 MHz	0,036 MHz	



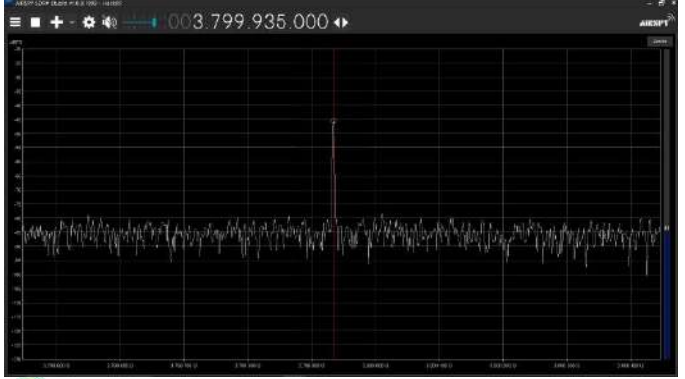
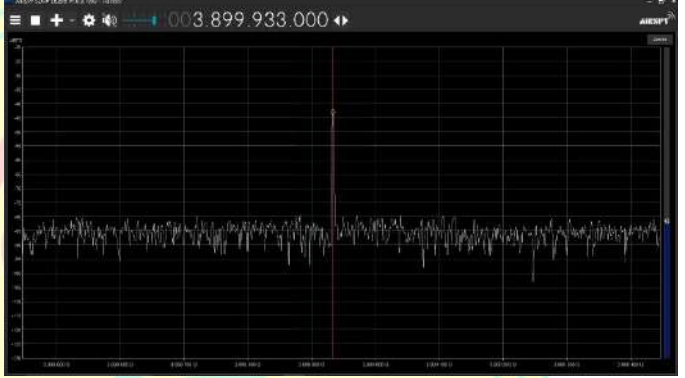
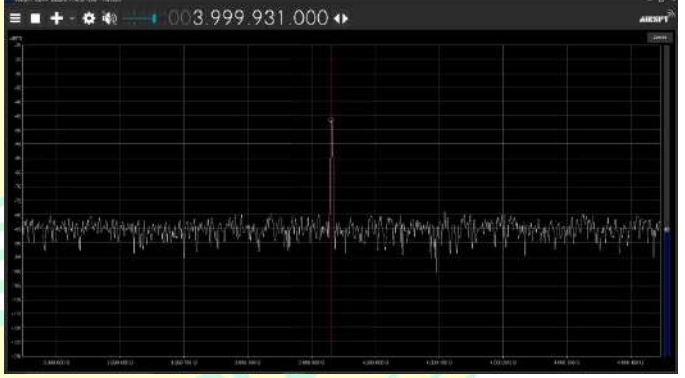
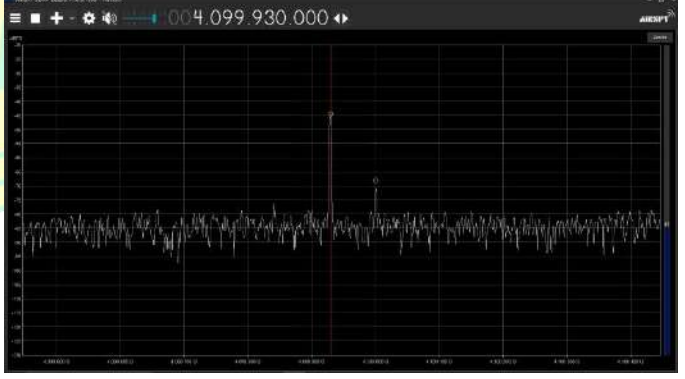
2200 MHz	2199,963 MHz	0,037 MHz	
2300 MHz	2299,96 MHz	0,040 MHz	
2400 MHz	2399,960 MHz	0,040 MHz	
2500 MHz	2499,957 MHz	0,043 MHz	

2600 MHz	2599,956 MHz	0,044 MHz	
2700 MHz	2699,953 MHz	0,047 MHz	
2800 MHz	2799,952 MHz	0,048 MHz	
2900 MHz	2899,951 MHz	0,049 MHz	

3000 MHz	2999,948 MHz	0,062 MHz	
3100 MHz	3099,948 MHz	0,052 MHz	
3200 MHz	3199,946 MHz	0,054 MHz	
3300 MHz	3299,943 MHz	0,057 MHz	

3400 MHz	3399,942 MHz	0,058 MHz	
3500 MHz	3499,94 MHz	0,06 MHz	
3600 MHz	3599,938 MHz	0,062 MHz	
3700 MHz	3699,937 MHz	0,063 MHz	





3800 MHz	3799,935 MHz	0,065 MHz	
3900 MHz	3899,933 MHz	0,067 MHz	
4000 MHz	3999,931 MHz	0,069 MHz	
4100 MHz	4099,93 MHz	0,07 MHz	


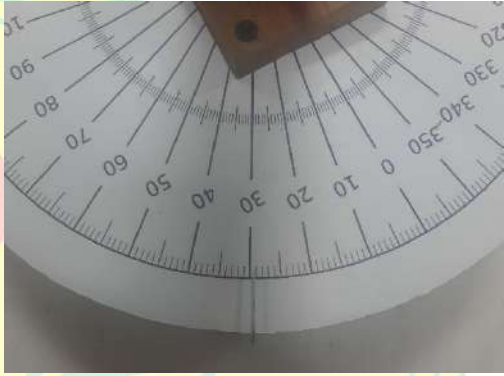


4200 MHz	4199,928 MHz	0,072 MHz	
4300 MHz	4299,926 MHz	0,074 MHz	
4400 MHz	4399,925 MHz	0,075 MHz	

## 2) Pengujian Meja Putar

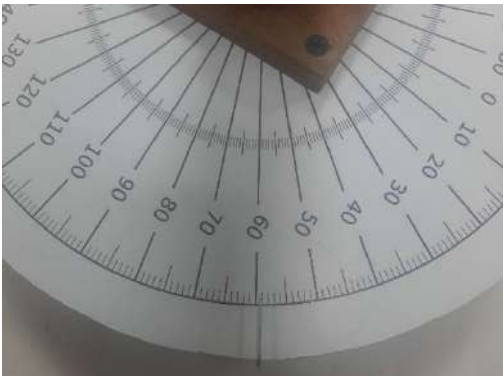



Pengujian meja putar dilakukan dengan memutar meja putar satu putaran penuh (360 derajat) dengan besar langkah 10 derajat dan dimulai dari 0 derajat. Karena besar langkah adalah 10 derajat maka pada langkah pertama meja putar harus berputar sebesar 10 derajat, pada langkah kedua meja putar harus berputar sebesar 20 derajat, dan seterusnya hingga langkah ke-36 dimana meja putar berputar sebesar 360 derajat. Adapun hasil dari pengujian ini adalah meja putar telah bekerja dengan baik karena dapat berputar dengan langkah yang diperintahkan dengan deviasi  $0^\circ$  sebagaimana tertera pada tabel 4.2.




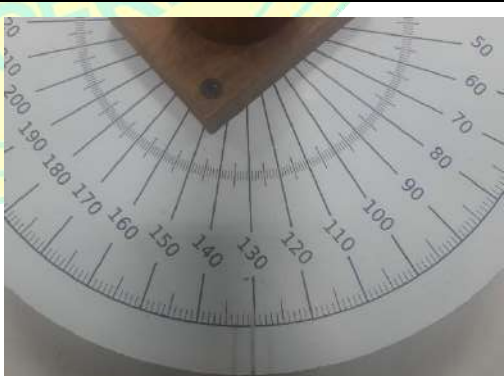
**Tabel 4.2. Hasil pengujian meja putar**





Langkah	Besar Langkah Ideal	Besar Langkah Terukur	Deviasi	Gambar
0	$0^\circ$	$0^\circ$	$0^\circ$	
1	$10^\circ$	$10^\circ$	$0^\circ$	

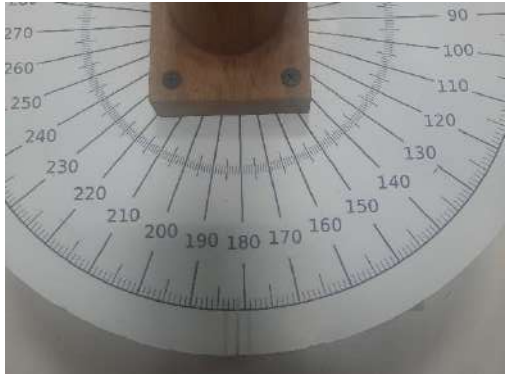



2	$20^\circ$	$19^\circ$	$1^\circ$	
3	$30^\circ$	$29^\circ$	$1^\circ$	
4	$40^\circ$	$39^\circ$	$1^\circ$	
5	$50^\circ$	$49^\circ$	$1^\circ$	



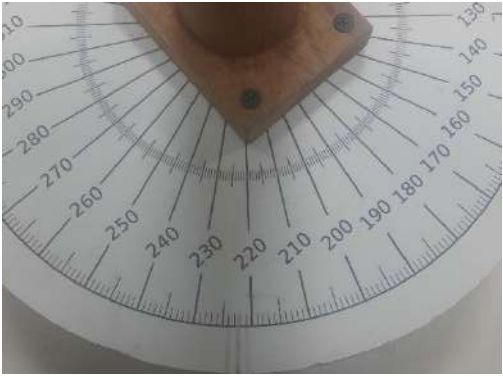



6	$60^\circ$	$59^\circ$	$1^\circ$	
7	$70^\circ$	$69^\circ$	$1^\circ$	
8	$80^\circ$	$79^\circ$	$1^\circ$	
9	$90^\circ$	$90^\circ$	$0^\circ$	

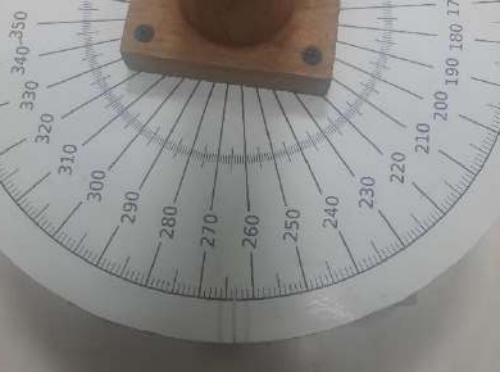
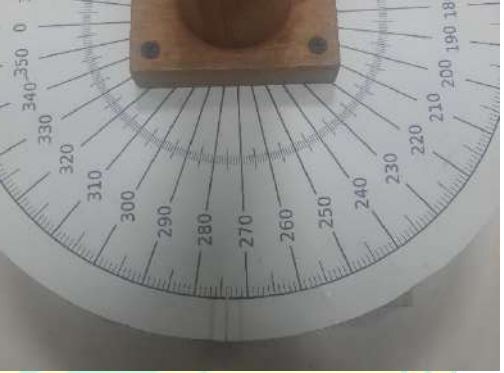


10	$100^\circ$	$100^\circ$	$0^\circ$	
11	$110^\circ$	$110^\circ$	$0^\circ$	
12	$120^\circ$	$120^\circ$	$0^\circ$	
13	$130^\circ$	$130^\circ$	$0^\circ$	





14	$140^\circ$	$141^\circ$	$1^\circ$	
15	$150^\circ$	$151^\circ$	$1^\circ$	
16	$160^\circ$	$161^\circ$	$1^\circ$	
17	$170^\circ$	$171^\circ$	$1^\circ$	

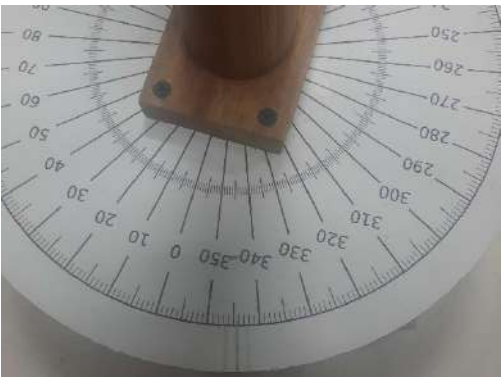


18	$180^\circ$	$181^\circ$	$1^\circ$	
19	$190^\circ$	$192^\circ$	$2^\circ$	
20	$200^\circ$	$202^\circ$	$2^\circ$	
21	$210^\circ$	$212^\circ$	$2^\circ$	



22	220°	222°	2°	
23	230°	232°	2°	
24	240°	243°	3°	
25	250°	253°	3°	

26	260°	263°	3°	
27	270°	274°	4°	
28	280°	284°	4°	
29	290°	294°	4°	

30	$300^\circ$	$304^\circ$	$4^\circ$	
31	$310^\circ$	$314^\circ$	$4^\circ$	
32	$320^\circ$	$324^\circ$	$4^\circ$	
33	$330^\circ$	$334^\circ$	$4^\circ$	

34	$340^\circ$	$344^\circ$	$4^\circ$	
35	$350^\circ$	$354^\circ$	$4^\circ$	
36	$360^\circ$	$364^\circ$	$4^\circ$	



Pengujian HackRF One dan Meja putar menunjukkan bahwa pembangkit sinyal ADF4351 dapat menghasilkan sinyal hingga frekuensi 4400 MHz dan HackRF One dapat mendeteksi seluruh sinyal yang dihasilkan oleh pembangkit sinyal ADF4351 dengan deviasi terkecil 0,002 MHz dan terbesar 0,075 MHz. Hasil pengujian meja putar juga menunjukkan bahwa meja putar telah bekerja dengan baik dengan dapat berputar satu putaran penuh secara akurat dengan besar langkah yang telah ditentukan, yaitu 10 derajat dengan deviasi 0 derajat. Dengan demikian sistem akan dapat menghasilkan sinyal untuk dipancarkan oleh antenna yang diuji hingga frekuensi 4.400 MHz dan kemudian mengukur kekuatan sinyal yang dipancarkan oleh antenna. Sistem juga akan dapat memutar antenna yang diuji satu putaran penuh dengan langkah akurasi yang telah ditentukan sehingga dapat disimpulkan bahwa produk layak dipakai untuk mengukur pola radiasi antenna.

#### 4.3. Efektifitas Produk

Efektifitas produk ditentukan dengan melakukan pengukuran pola radiasi antenna. Pengukuran dilakukan untuk mengetahui apakah sistem bekerja sesuai target yaitu dapat mengukur pola radiasi antenna secara otomatis dan menghasilkan output berupa diagram pola radiasi antenna dua dimensi pada sistem koordinat polar dan kartesian. Pengukuran dilakukan dengan akurasi 90, 72, 60, 45, 40, 36, 30, 24, 20, 18, 15, 12, 10, 9, 8, 6, 5, 4, 3, 2, dan 1 derajat. Adapun antenna yang digunakan dalam pengukuran pola radiasi antenna berjumlah 3 unit, masing-masing berjenis *monopole*, *folded dipole*, dan Yagi-Uda. Produk dinyatakan efektif jika mampu melakukan pengukuran pola radiasi pada semua tingkat akurasi. Pola radiasi antenna yang dihasilkan tidak akan sempurna dan mengalami deviasi yang disebabkan oleh deviasi yang terjadi pada HackRF One dan meja putar sebagaimana dijabarkan pada poin 4.2.

## 1) Pengukuran Pola Radiasi Antena 1



Gambar 4.7 Antena 1



Gambar 4. 8 Panjang Antena 1

Antena 1 merupakan antena jenis monopole yang memiliki panjang ( $D$ ) 15 cm sebagaimana tertera pada gambar 4.8 dengan frekuensi kerja 1 GHz. Foto fisik dari antena 1 tertera pada gambar 4.7. Karena pengukuran dilakukan pada frekuensi ( $f$ ) 1 GHz dan kecepatan gelombang elektromagnetik ( $c$ ) adalah  $3 \times 10^8$  m/s, maka panjang gelombang ( $\lambda$ ) sinyal yang dipancarkan antena 1 adalah:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10^9} = 0,2998 \text{ m}$$

Sehingga jarak fraunhofer ( $s$ ) untuk antena 1 adalah:

$$s = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \times 0,15^2}{0,2998} = 0,15 \text{ m} = 15 \text{ cm}$$

Karena pola radiasi antena diukur pada medan jauh, sedangkan medan jauh adalah area yang mana jaraknya terhadap

antena lebih besar dari jarak fraunhofer maka jarak antara antena Tx dan antena Rx harus lebih dari 15 cm, maka peneliti menentukan jarak antara antena Tx dan Rx sebesar 3 meter sebagaimana tertera pada gambar 4.9. Adapun hasil pengukuran pola radiasi pada antena 1 tertera pada tabel 4.3.



**Gambar 4. 9 Jarak Pengukuran Antena 1**

**Tabel 4.3. Hasil pengukuran pola radiasi antena otomatis pada antena 1**

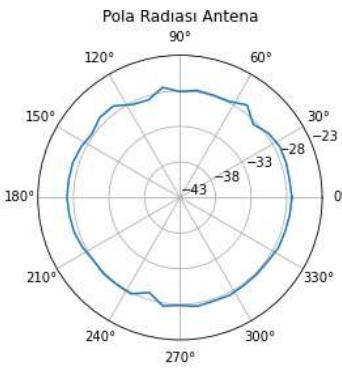
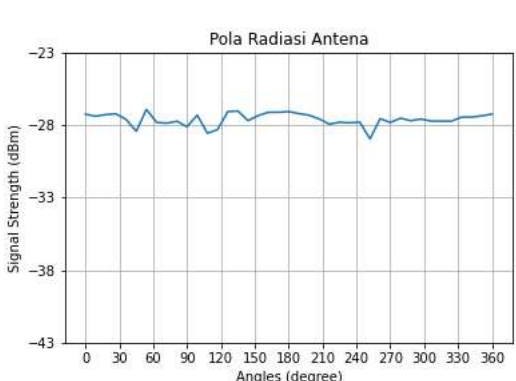
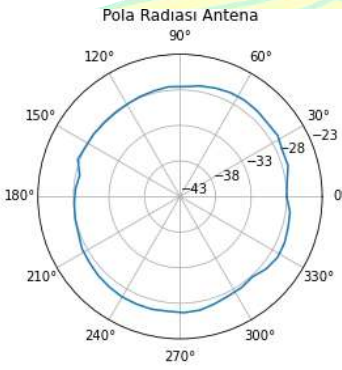
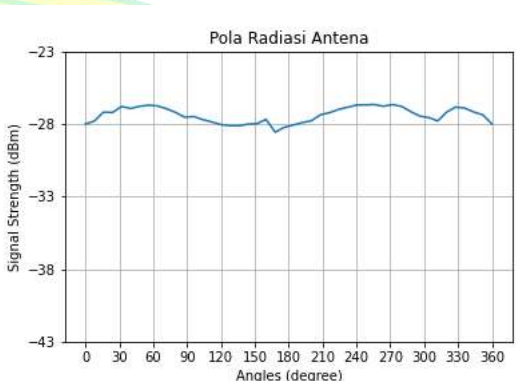
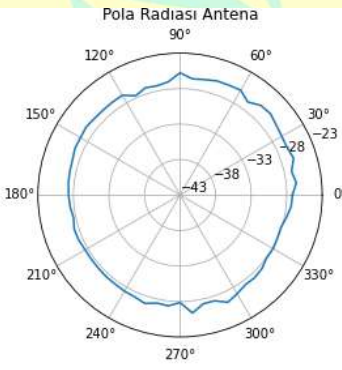
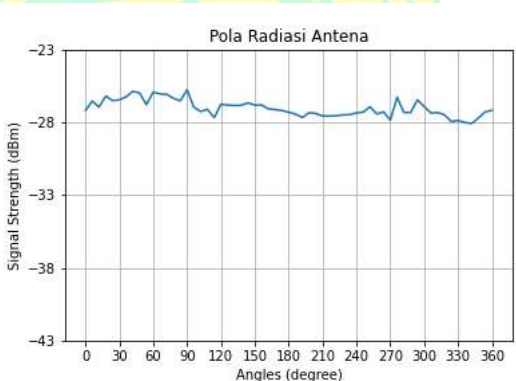
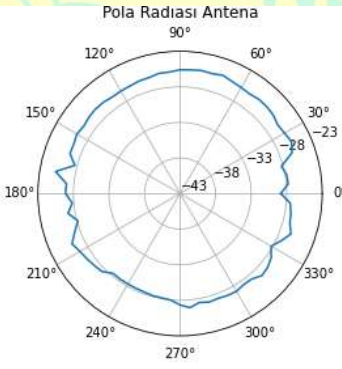

Akurasi (Derajat)	Pola Radiasi Dalam Sistem Koordinat Polar	Pola Radiasi Dalam Sistem Koordinat Kartesian
90	<p style="text-align: center;">Pola Radiasi Antena</p>	<p style="text-align: center;">Pola Radiasi Antena</p>

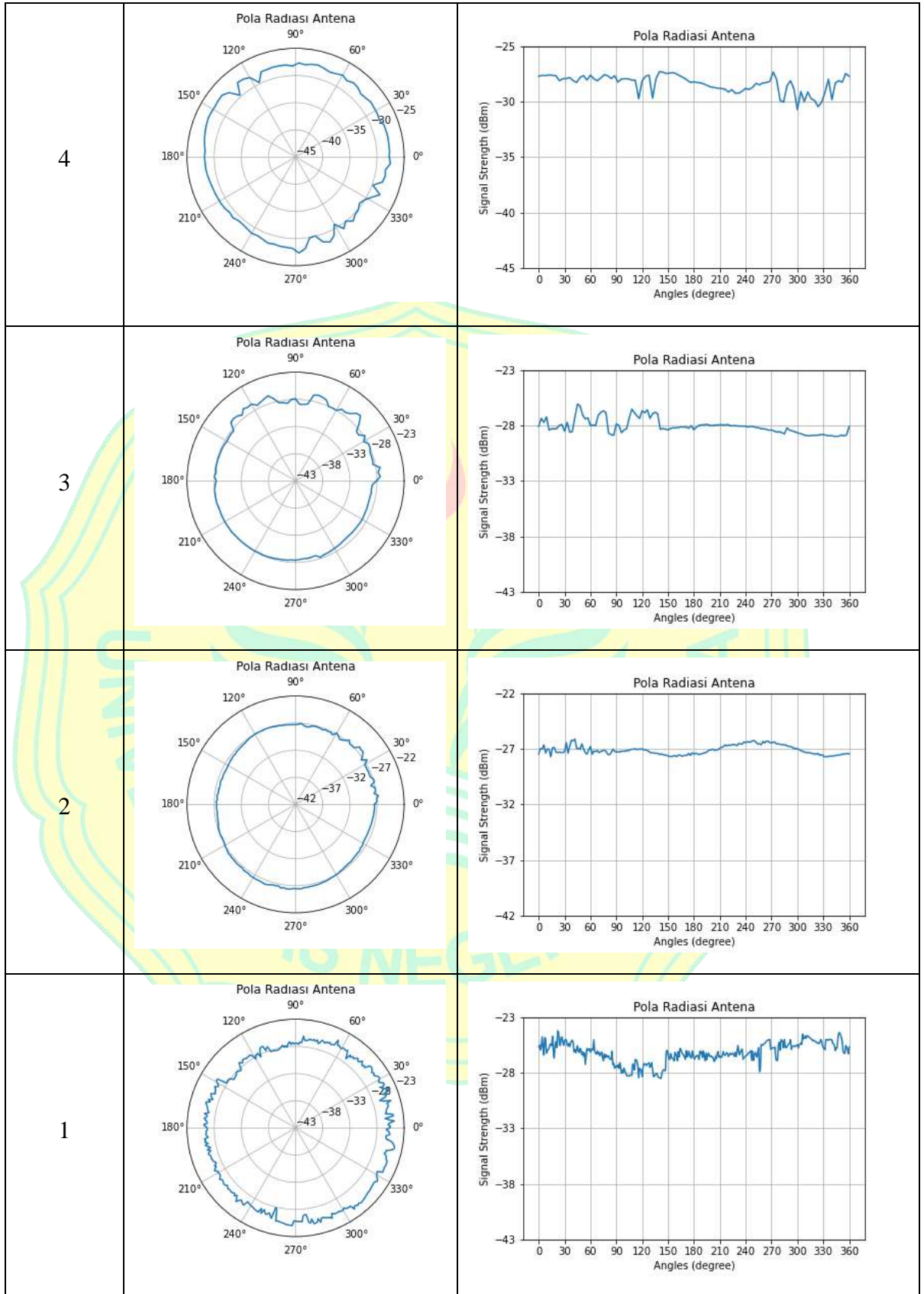
<p>72</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>60</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>45</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>40</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>



<p>36</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>30</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>24</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>20</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>

<p>18</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>15</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>12</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>10</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>

<p>9</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p> 	<p>Pola Radiasi Antena</p> 
<p>8</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p> 	<p>Pola Radiasi Antena</p> 
<p>6</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p> 	<p>Pola Radiasi Antena</p> 
<p>5</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p> 	<p>Pola Radiasi Antena</p> 





## 2) Pengukuran Pola Radiasi Antena 2



Gambar 4.10 Antena 2



Gambar 4. 11 Panjang Antena 2

Antena 2 merupakan antenna jenis *folded dipole* yang memiliki panjang ( $D$ ) 92,5cm sebagaimana tertera pada gambar 4.11 dengan frekuensi kerja 147 MHz. Gambar fisik antenna 2 tertera pada gambar 4.10. Karena pengukuran dilakukan pada frekuensi ( $f$ ) 147 MHz dan kecepatan gelombang elektromagnetik ( $c$ ) adalah  $3 \times 10^8$  m/s, maka panjang gelombang ( $\lambda$ ) sinyal yang dipancarkan antenna 2 adalah:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{147 \times 10^6} = 2,04 \text{ m}$$

Sehingga jarak fraunhofer ( $s$ ) untuk antenna 1 adalah:

$$s = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \times 0,925^2}{2,04} = 0,839 \text{ m} = 83,9 \text{ cm}$$

Karena pola radiasi antenna diukur pada medan jauh, sedangkan medan jauh adalah area yang mana jaraknya terhadap antenna lebih besar dari jarak fraunhofer maka jarak antara antenna Tx dan antenna Rx harus lebih dari 83,9 cm, maka peneliti menentukan jarak antara antenna Tx dan Rx sebesar 3 meter sebagaimana tertera pada gambar 4.12. Adapun hasil pengukuran pola radiasi pada antenna 2 tertera pada tabel 4.4.



**Gambar 4. 12 Jarak Pengukuran Antena 2**

**Tabel 4.4 Hasil pengukuran pola radiasi antenna otomatis pada antenna 2**

Akurasi (Derajat)	Pola Radiasi Dalam Sistem Koordinat Polar	Pola Radiasi Dalam Sistem Koordinat Kartesian
90		

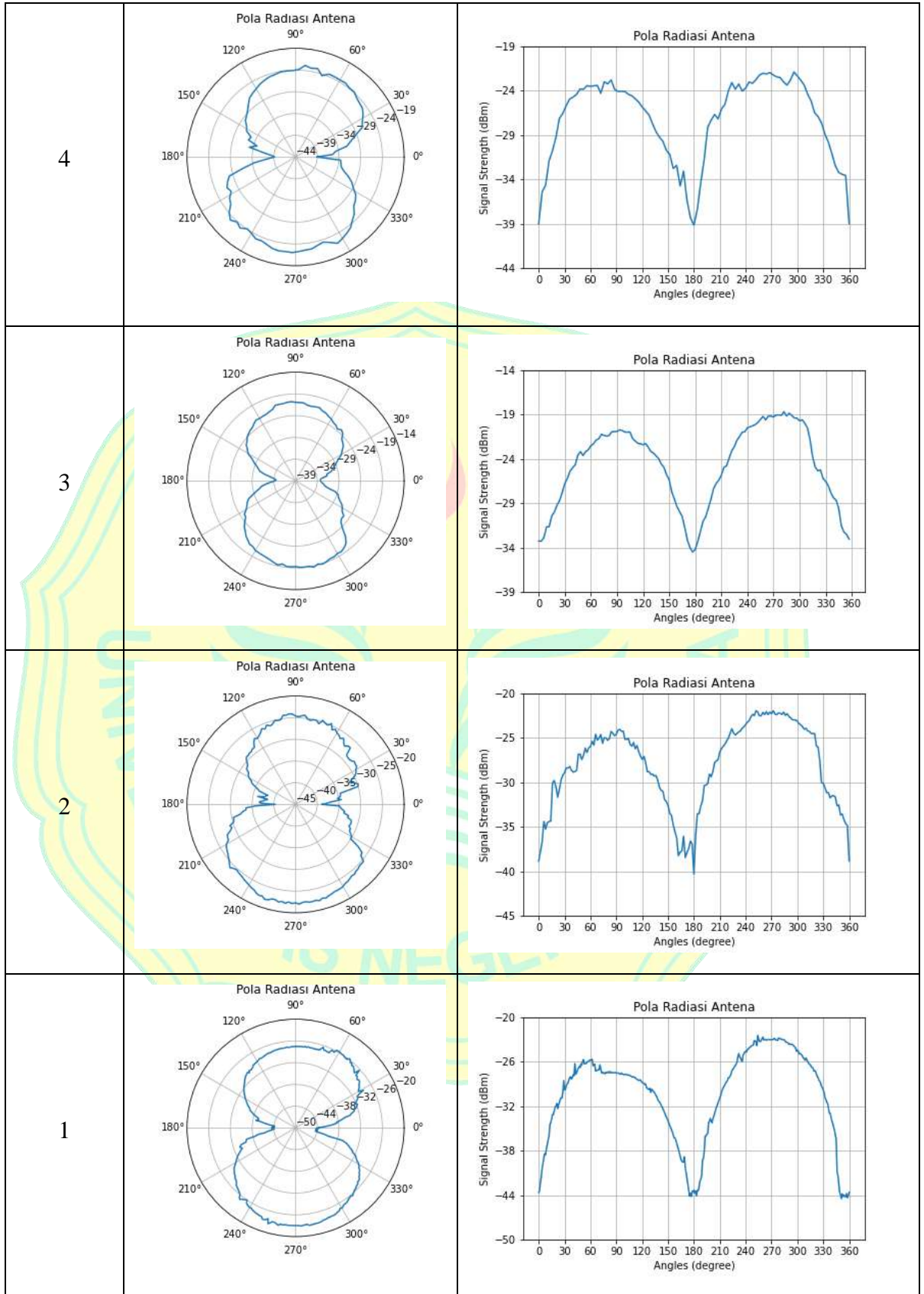
<p>72</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>60</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>45</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>40</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>

<p>36</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>30</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>24</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>20</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>



<p>18</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>15</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>12</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>10</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>

<p>9</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>8</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>6</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>5</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>



## 3) Pengukuran Pola Radiasi Antena 3



Gambar 4.13 Antena 3



Gambar 4. 14 Panjang Antena 3

Antena 3 merupakan antenna jenis Yagi-Uda yang memiliki panjang (D) 79 cm sebagaimana tertera pada gambar 4.15 dengan frekuensi kerja 438Mhz. Gambar fisik antenna 3 tertera pada gambar 4.14. Karena pengukuran dilakukan pada frekuensi (f) 438 MHz dan kecepatan gelombang elektromagnetik (c) adalah  $2,99 \times 10^8$  m/s, maka panjang gelombang ( $\lambda$ ) sinyal yang dipancarkan antenna 3 adalah:

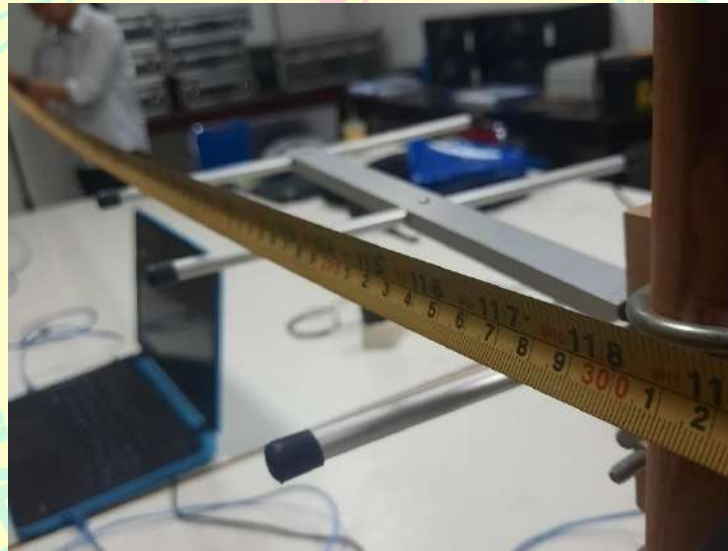
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{10^9} = 0,684 \text{ m}$$



Sehingga jarak fraunhofer (s) untuk antenna 1 adalah:

$$s = \frac{2D^2}{\lambda} = \frac{2 \times 0.79^2}{0.684} = 1,825 \text{ m} = 182,5 \text{ cm}$$

Karena pola radiasi antenna diukur pada medan jauh, sedangkan medan jauh adalah area yang mana jaraknya terhadap antenna lebih besar dari jarak fraunhofer maka jarak antara antenna Tx dan antenna Rx harus lebih dari 182,5 cm, maka peneliti menentukan jarak antara antenna Tx dan Rx sebesar 3 meter sebagaimana tertera pada gambar 4.15. Adapun hasil pengukuran pola radiasi pada antenna 3 tertera pada tabel 4.5.



**Gambar 4. 15 Jarak Pengukuran Antena 3**

**Tabel 4. 5 hasil pengukuran pola radiasi antenna otomatis pada antenna 3.**

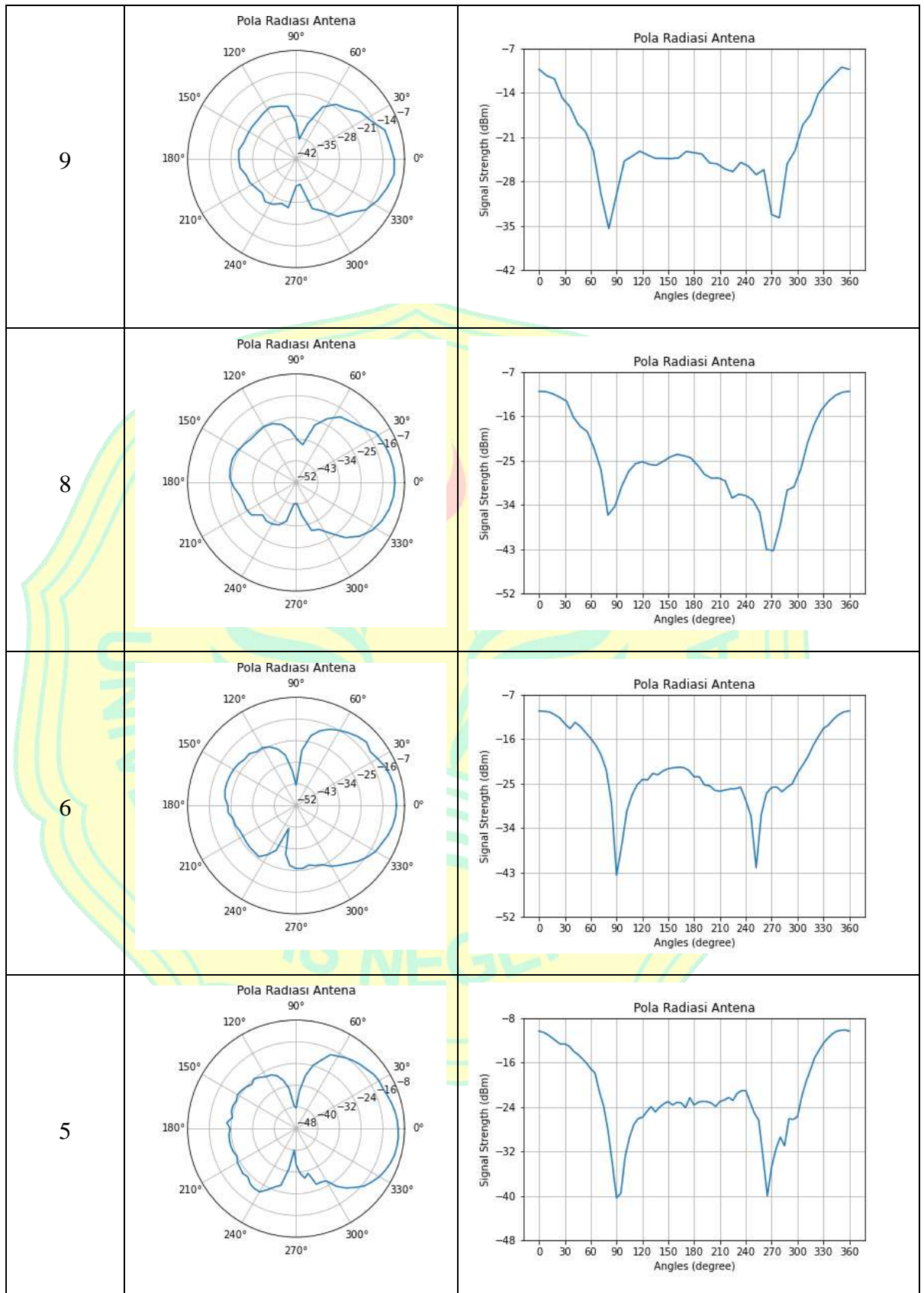
Akurasi (Derajat)	Pola Radiasi Dalam Sistem Koordinat Polar	Pola Radiasi Dalam Sistem Koordinat Kartesian
90	<p style="text-align: center;">Pola Radiasi Antena</p>	<p style="text-align: center;">Pola Radiasi Antena</p>

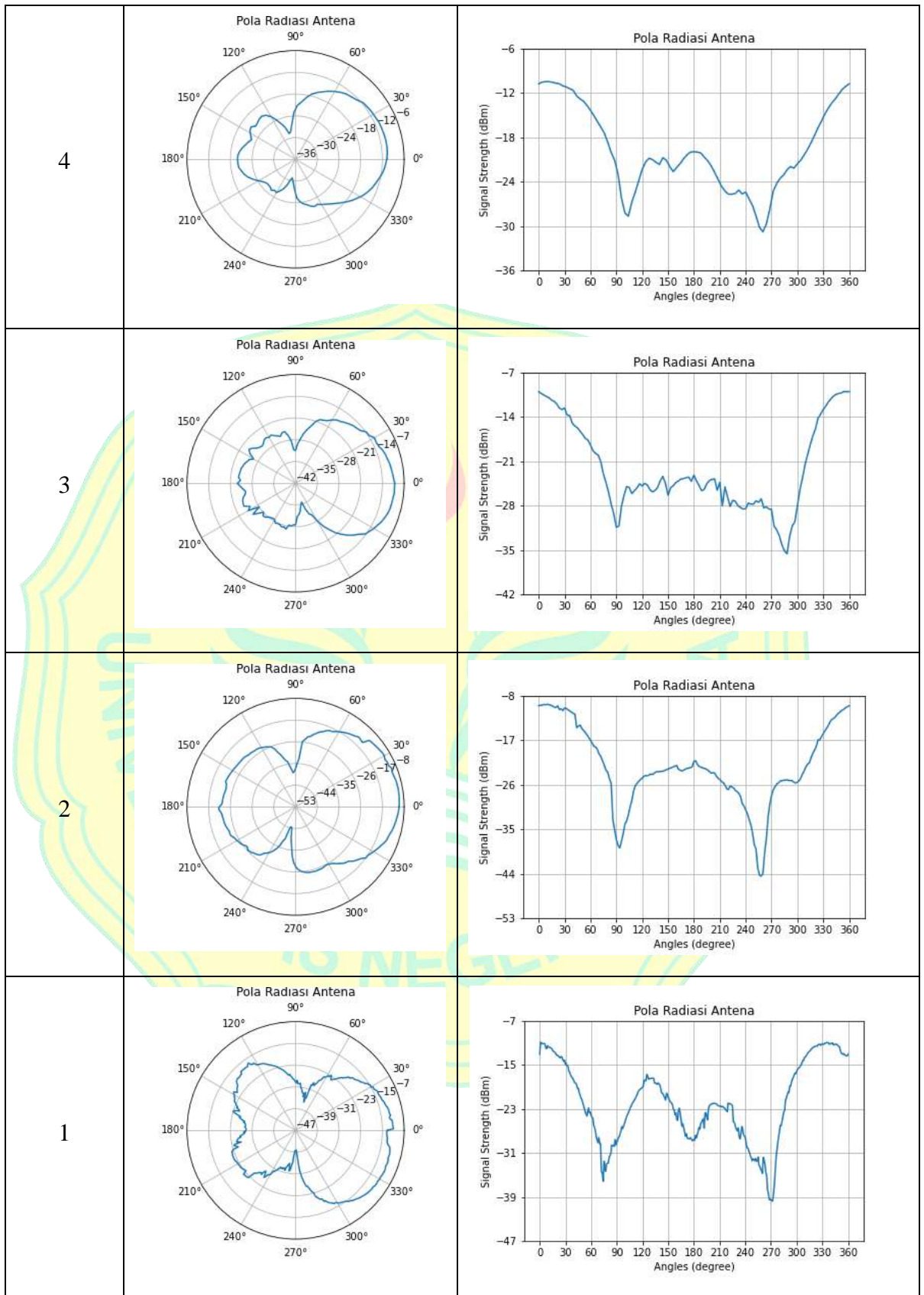
<p>72</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>60</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>45</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>40</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>

<p>36</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>30</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>24</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>20</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>

<p>18</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>15</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>12</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>
<p>10</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>	<p>Pola Radiasi Antena</p>







Dari hasil pengukuran pola radiasi antena yang telah dilakukan terlihat bahwa sistem yang dikembangkan dapat menghasilkan diagram pola radiasi secara otomatis yang diplot dengan sistem koordinat polar dan kartesian pada tingkat akurasi 90, 72, 60, 45, 40, 36, 30, 24, 20, 18, 15, 12, 10, 9, 8, 6, 5, 4, 3, 2, dan 1 derajat, serta menghasilkan file CSV yang berisi nilai kekuatan sinyal pada setiap sudut pengukuran. Isi file CSV dapat dilihat pada lampiran 5. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa sistem telah bekerja secara efektif.

#### 4.4. Pembahasan

Sistem pengukuran pola radiasi antena otomatis berbasis HackRF One dan Arduino Nano telah berhasil memperbaiki kekurangan-kekurangan yang terdapat pada produk yang dihasilkan oleh penelitian-penelitian sebelumnya. Produk yang dikembangkan telah menggunakan *spectrum analyzer* sehingga lebih akurat dan memperbaiki kekurangan dari penelitian “Perancangan Alat Bantu Pengukuran Otomatis Pola Radiasi, Polarisasi, Gain, Dan Direktivitas Pada Antena” oleh Hendrik Dwi Priyanto, dkk. dan “*An Automatic System for Antenna Radiation Pattern Measurement*” oleh Ilia Iliev dan Ivaylo Nachev yang menggunakan IC Logarithmic detector untuk mengukur kekuatan sinyal dari antena yang diuji.

Produk yang dikembangkan peneliti juga memiliki program sendiri yang dibuat khusus untuk sistem yang dibangun sehingga telah memperbaiki kekurangan dari penelitian “*Development Of Automated Antenna Radiation Pattern Measurement Using Rotator Application Model To Increase Accuracy*” oleh Anggy Junfithrana, dkk. Yang tidak memiliki program tersendiri, melainkan menggunakan aplikasi LabView sehingga sulit digunakan karena pengguna harus menguasai penggunaan aplikasi LabView terlebih dahulu. Selain itu produk yang dikembangkan juga memiliki fitur kalibrasi sehingga telah memperbaiki kekurangan dari penelitian Illia Illiev & Ivaylo Nachev dan penelitian Hendrik Priyanto yang tidak memiliki fitur kalibrasi. Hal lain yang diperbaiki dari penelitian-penelitian adalah ukuran produk yang kecil dan bersifat *mobile* sehingga memperbaiki kekurangan dari

penelitian Anggy Junfithrana yang mana produk yang dihasilkan berukuran besar dan sulit untuk dipindah-pindahkan.

Sesuai dengan data hasil pengujian *spectrum analyzer* pada tabel 4.1, *spectrum analyzer* HackRF One telah bekerja sesuai kriteria, yaitu mampu mengukur kekuatan sinyal mulai dari 100 MHz hingga 4,4 Ghz dengan langkah sebesar 100 MHz sehingga dapat digunakan untuk mengukur kekuatan sinyal dari antenna yang diuji. Sesuai dengan data hasil pengujian meja putar pada tabel 4.2, meja putar telah bekerja sesuai kriteria yaitu mampu melakukan putaran penuh dengan langkah sebesar 10 derajat secara akurat sehingga dapat digunakan untuk menopang antenna yang diuji. Pengukuran pola radiasi antenna juga telah dilakukan secara sukses dan sistem dapat bekerja sesuai target yaitu dapat mengukur pola radiasi antenna secara otomatis dengan akurasi akurasi 90, 72, 60, 45, 40, 36, 30, 24, 20, 18, 15, 12, 10, 9, 8, 6, 5, 4, 3, 2, dan 1 derajat, serta menghasilkan file CSV yang berisi nilai kekuatan sinyal pada setiap sudut pengukuran.

Sistem pengukuran pola radiasi antenna otomatis berbasis HackRF One dan Arduino Nano sangat mudah digunakan karena memiliki antarmuka yang sederhana dan dapat melakukan pengukuran pola radiasi antenna secara otomatis. Ukuran keseluruhan sistem terbilang tidaklah besar sehingga mudah disimpan, dibawa, dan dipindahkan. Meja putar memiliki panjang 40cm, lebar 30cm dan tinggi 65cm, sedangkan penyangga meja putar dapat dilipat hingga hanya memiliki tinggi 80cm sehingga hanya memerlukan sedikit ruang untuk penyimpanan.

Dengan demikian sistem pengukuran pola radiasi antenna otomatis berbasis HackRF One dan Arduino Nano telah dirancang, dibangun, serta diuji dan hasil pengujian menunjukkan bahwa produk dapat bekerja sesuai fungsinya.