

## ANTENA ARRAY LINIER VERTIKAL UNTUK MENINGKATKAN DAYA TERIMA SINYAL TELEVISI DIGITAL PADA WILAYAH PEDESAAN (RURAL AREA)

Sandri Priatmo<sup>1\*</sup>, Yulindon<sup>2</sup>, Firdaus Nursal<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Politeknik Negeri Padang, Indonesia

<sup>1</sup>[sandripriatmo16@gmail.com](mailto:sandripriatmo16@gmail.com), <sup>2</sup>[yulindon@pnp.ac.id](mailto:yulindon@pnp.ac.id), <sup>3</sup>[firdaus@pnp.ac.id](mailto:firdaus@pnp.ac.id)

### ABSTRACT

*The transition from analog to digital television broadcasting in Indonesia improves picture and sound quality; however, signal reception in rural areas remains a challenge due to long distances from transmitters and unfavorable topography. Conventional antennas and signal boosters have not provided optimal performance. This study aims to design a vertical linear antenna array with a stacking configuration to enhance digital television signal reception in the Ultra High Frequency (UHF) band. The antenna design was carried out through theoretical calculations, simulation, and optimization using CST Studio Suite 2019. The analyzed parameters include return loss, VSWR, gain, bandwidth, and radiation pattern. Simulation and testing results show that the antenna achieves a return loss below  $-10$  dB, VSWR less than 2, gain above 10 dBi, and a unidirectional radiation pattern. The proposed antenna effectively improves digital television reception quality in rural areas.*

### Keywords:

*Digital television, vertical linear, antenna array, stacking configuration, UHF, rural area.*

### PENDAHULUAN

Siaran televisi analog yang telah mengudara selama hampir enam dekade di Indonesia kini secara bertahap digantikan oleh siaran televisi digital. Pergantian ini membawa sejumlah keunggulan signifikan, seperti kualitas gambar yang lebih tajam, suara yang lebih jernih, serta efisiensi penggunaan spektrum frekuensi berkat penggunaan modulasi sinyal digital dan sistem kompresi data yang lebih canggih. Pemerintah melalui Kominfo mendorong masyarakat untuk segera beralih dari sistem analog ke digital dengan menyesuaikan perangkat penerima di rumah, terutama antena dan set-top box (STB) agar mampu menangkap sinyal digital dengan optimal.

Meski menawarkan banyak keunggulan, siaran televisi digital sangat bergantung pada kualitas dan kekuatan sinyal yang diterima oleh perangkat televisi. Jika sinyal yang diterima lemah, meskipun tidak mengalami semutan seperti pada televisi analog, maka siaran digital akan mengalami efek "loss of signal" yang menyebabkan tampilan menjadi beku (freeze), buram, bahkan tidak muncul sama sekali. Notifikasi seperti "no signal" atau "sinyal hilang" seringkali muncul pada layar, menandakan bahwa kualitas penerimaan sangat rendah. Permasalahan ini kerap terjadi di wilayah pedesaan yang secara geografis jauh dari pemancar utama televisi digital, serta memiliki kondisi topografi yang menghambat propagasi gelombang radio seperti perbukitan, hutan lebat, atau bangunan tinggi.

Beberapa masyarakat mencoba mengatasi lemahnya sinyal dengan penggunaan alat bantu seperti booster atau penguat sinyal, namun perangkat tersebut hanya menguatkan sinyal yang sudah ada, tanpa memperbaiki arah atau kualitas tangkapan antena itu sendiri. Booster tidak dapat mengubah arah pancaran atau menerima sinyal yang sangat lemah dari pemancar yang jauh, sehingga efeknya terbatas. Beberapa inovasi antena, seperti modifikasi antena Yagi untuk jalur UHF sebagaimana diteliti oleh Martripagelardo dkk. (2022), juga belum memberikan hasil yang signifikan untuk mengatasi masalah pelemahan sinyal di daerah rural atau terpencil.

Melihat kompleksitas permasalahan ini, diperlukan solusi yang tidak hanya memperkuat sinyal, tetapi juga memiliki kemampuan pengarahan (directivity) yang lebih baik agar antena dapat "mengarahkan diri" secara efektif ke pemancar yang jaraknya jauh. Salah satu pendekatan yang potensial adalah penggunaan antena array linier vertikal dengan konfigurasi stacking atau penumpukan elemen secara vertikal. Antena jenis ini memiliki keunggulan dalam hal peningkatan gain, yakni kemampuan antena untuk menerima sinyal yang lemah secara lebih baik karena adanya kombinasi dari beberapa elemen pemancar/penerima dalam satu konfigurasi yang disusun strategis. Dengan desain dan jarak antar elemen yang tepat, antena array linier vertikal mampu meningkatkan sensitivitas penerimaan sinyal dan mempersempit sudut penerimaan (beamwidth), sehingga lebih fokus ke arah datangnya sinyal. Penerapan desain antena array seperti ini diyakini dapat menjadi solusi efektif untuk meningkatkan kualitas tangkapan sinyal televisi digital pada wilayah-wilayah pedesaan yang mengalami kendala dalam hal jarak dan hambatan geografis terhadap pemancar sinyal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji antena array linier vertikal yang mampu bekerja optimal pada band frekuensi UHF yang digunakan oleh siaran televisi digital di Indonesia, khususnya untuk mengatasi permasalahan penerimaan sinyal di daerah rural.

## KAJIAN LITERATUR

### Antena

Antena merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ke ruang bebas atau sebaliknya. Menurut IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas (1983) dan Balanis (2016), antena berfungsi sebagai penghubung antara saluran transmisi dan ruang bebas. Kinerja antena sangat menentukan kualitas sistem komunikasi, khususnya pada sistem penerimaan siaran televisi digital.

### Parameter Dasar Antena

Parameter dasar antena meliputi return loss, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), impedansi input, bandwidth, gain, dan pola radiasi. Return loss menunjukkan besarnya daya yang dipantulkan kembali akibat ketidakcocokan impedansi antara antena dan saluran transmisi. VSWR menggambarkan tingkat kesesuaian impedansi, dimana nilai  $VSWR < 2$  menunjukkan kinerja antena yang baik.

### Pola Radiasi

Menurut (Balanis, 2016) menjelaskan bahwa polaradiasi sebuah antena didefinisikan sebagai “fungsi matematika atau representasi grafis dari sifat radiasi antena sebagai fungsi koordinat ruang. Pola radiasi antena menggambarkan distribusi energi gelombang elektromagnetik terhadap arah ruang. Pola radiasi dapat bersifat omnidirectional, directional, atau unidirectional. Untuk aplikasi penerimaan televisi digital, pola radiasi directional atau unidirectional lebih diinginkan karena mampu memfokuskan penerimaan sinyal dari arah pemancar.

### Polarisasi

Polarisasi merupakan arah medan listrik dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan atau diterima antena. Kesesuaian polarisasi antara antena pemancar dan antena penerima sangat berpengaruh terhadap kualitas penerimaan sinyal. Menurut (Balanis, 2016) polarisasi merupakan gelombang yang dipancarkan (ditransmisikan) oleh antena dalam arah tertentu.

### Impedansi Input

Impedansi input antena merupakan perbandingan antara tegangan dan arus pada terminal antena. Ketidakcocokan impedansi dapat menyebabkan pantulan daya yang ditunjukkan oleh nilai return loss dan VSWR.

### Gain Antena

Gain antena merupakan ukuran kemampuan antena dalam memfokuskan energi radiasi ke arah tertentu dibandingkan antena referensi. Antena dengan gain tinggi sangat dibutuhkan pada wilayah pedesaan dengan kondisi sinyal yang lemah.

### Antena Yagi-Uda

Antena Yagi-Uda merupakan antena directional yang banyak digunakan untuk penerimaan siaran televisi pada band Ultra High Frequency (UHF). Antena ini tersusun dari elemen reflektor, driven element, dan beberapa elemen direktor.

### Bagian-Bagian Antena Yagi-Uda

Reflektor berfungsi memantulkan gelombang agar tidak merambat ke arah belakang antena. Driven element merupakan elemen utama yang berfungsi sebagai penerima sinyal. Direktor berfungsi mengarahkan dan memperkuat sinyal ke arah depan. Pada antena yagi diharapkan peningkatan pengarahan antena tanpa mencatu semua elemen. Elemen yang tidak dicatu tersebut (tidak aktif) diartikan sebagai elemen yang tidak di-drive (catu) langsung atau bersifat parasistik dan menerima sinyal dari kopling medan elemen driver (Siagian et al., 2021).

### Antena Array

Antena array merupakan susunan beberapa elemen antena yang dikonfigurasi untuk meningkatkan gain dan directivity. Dengan pengaturan jumlah elemen dan jarak antar elemen, karakteristik radiasi antena dapat dikendalikan. Kraus & Marhefka (2002) menyatakan bahwa array antena dapat digunakan untuk mengarahkan sinyal secara elektronik, mencapai penguatan (gain) yang lebih tinggi, serta mengontrol bentuk dan arah pola radiasi. Stutzman & Thiele (2013) juga berpendapat bahwa prinsip dari array antena didasarkan pada interferensi konstruktif dan destruktif dari sinyal-sinyal yang dipancarkan oleh elemen antena individu yang disusun dan difasekan secara tepat.

### **Antena Array Linier Vertikal**

Antena array linier vertikal merupakan susunan elemen antena yang disusun secara vertikal dalam satu garis lurus. Konfigurasi ini efektif untuk meningkatkan daya terima sinyal pada arah horizontal. Apabila seluruh elemen antena disusun secara sejajar dalam satu garis lurus, maka konfigurasi tersebut dikenal sebagai susunan antena linier (linear antenna array) (Kraus & Marhefka, 2002). Antena array linier vertikal sesuai untuk aplikasi penerimaan siaran televisi digital di wilayah pedesaan.

### **Ultra High Frequency (UHF)**

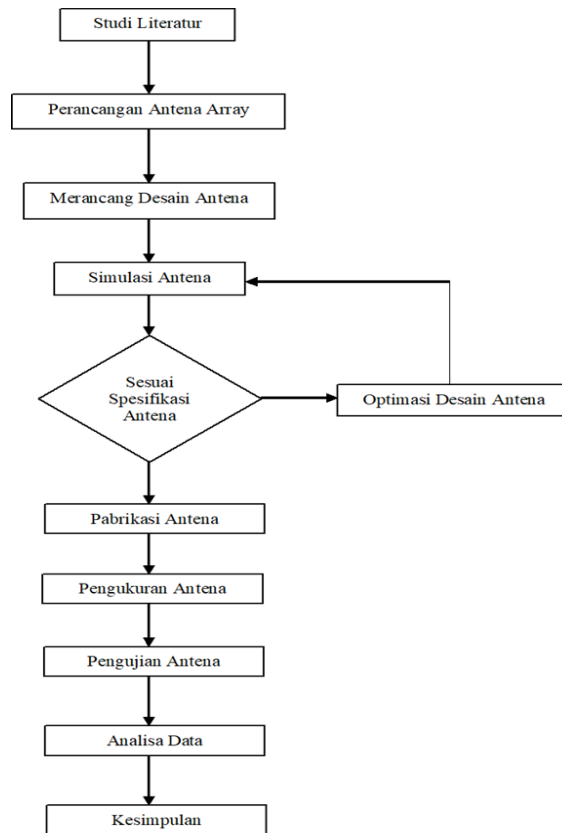
Ultra High Frequency (UHF) merupakan rentang frekuensi 470–700 MHz yang digunakan untuk siaran televisi digital di Indonesia. Dimensi antena harus disesuaikan dengan panjang gelombang pada frekuensi UHF agar diperoleh performa yang optimal.

### **Software CST Studio Suite 2019**

ST Studio Suite 2019 merupakan perangkat lunak simulasi elektromagnetik yang digunakan untuk perancangan dan analisis antena. Perangkat lunak ini digunakan untuk memodelkan struktur antena, melakukan simulasi, serta mengoptimasi parameter antena sebelum proses pabrikan.

## **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dan simulatif dengan pendekatan kuantitatif, yang bertujuan untuk merancang, merealisasikan, serta menganalisis kinerja antena array linier vertikal sebagai antena penerima sinyal televisi digital pada band Ultra High Frequency (UHF). Penelitian diawali dengan studi literatur dan perhitungan teoritis untuk menentukan frekuensi kerja, panjang gelombang, dimensi elemen antena yang meliputi reflektor, driven element, dan direktor, serta jarak antar elemen dalam konfigurasi array linier vertikal. Selanjutnya, desain antena dimodelkan menggunakan perangkat lunak CST Studio Suite 2019 dan dilakukan simulasi elektromagnetik untuk memperoleh parameter kinerja antena, seperti return loss, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), gain, bandwidth, dan pola radiasi. Berdasarkan hasil simulasi awal, dilakukan proses optimasi dengan menyesuaikan dimensi dan konfigurasi elemen antena hingga diperoleh performa yang memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Antena hasil optimasi kemudian direalisasikan melalui proses pabrikan dan dilakukan pengujian secara langsung untuk mengevaluasi kualitas penerimaan siaran televisi digital, serta membandingkan hasil simulasi dengan hasil pengujian guna menilai efektivitas antena array linier vertikal dalam meningkatkan daya terima sinyal pada wilayah pedesaan.



Gambar 1. Diagram Perancangan Antena Array

### Studi Literatur

Studi literatur bertujuan untuk mendapatkan gambaran terkait topik yang akan dibahas pada tugas akhir ini, maka dilakukan studi mengenai antena Array beserta parameter antena dan literatur yang dibutuhkan bersumber dari buku, jurnal dan tugas akhir.

### Perancangan Antena Array

Untuk merancang antena Array diawali dengan menentukan spesifikasi antena yang dibutuhkan seperti frekuensi kerja, return loss, VSWR, impedansi input dan perangkat – perangkat yang digunakan serta tahapan dalam melakukan perancangan desain dengan menggunakan software CST Studio Suite 2019.

### Desain Antena

Desain antena dilakukan pada software CST Studio Suite 2019 dengan dimensi reflektor, driven, dan direktor antena yang telah dihitung menggunakan rumus antena Array. Kemudian dilanjutkan dengan simulasi dari antena yang telah dirancang.

### Optimasi Desain Antena

Dilakukan dengan menggunakan software CST Studio Suite 2019 untuk memastikan kinerja yang maksimal pada frekuensi kerja di 400-900 MHz. Proses ini mencakup penyesuaian parameter seperti jumlah elemen, konfigurasi fisik agar menghasilkan gain yang lebih tinggi dan efisiensi yang optimal.

### Pabrikasi Antena

Pada tahap ini antena dipabrikasi menggunakan peralatan dan bahan yang telah dipersiapkan sesuai dengan desain yang dihasilkan dari simulasi.

### Pengukuran Antena

Pengukuran antena dilakukan dengan menggunakan Vektor Network Analyzer untuk mengetahui parameter antena yang dihasilkan sebagai perbandingan antena hasil pabrikasi dengan hasil simulasi pada software.

### **Pengujian Antena**

Pada tahap ini dilakukan pengujian antena secara langsung ke kawasan Rural Area.

### **Analisa Data**

Dilakukan analisa terhadap data pengukuran antena yang telah diperoleh. Hasil Analisa ini akan menjadi dasar untuk menyusun laporan tugas akhir serta untuk publikasi paper dalam jurnal ilmiah.

### **Kesimpulan**

Kesimpulan dari hasil analisa data yang disesuaikan dengan rumusan masalah yang telah ditetapkan.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil penelitian diperoleh melalui simulasi dan pengujian antena array linier vertikal yang dirancang untuk penerimaan siaran televisi digital pada band Ultra High Frequency (UHF). Parameter kinerja antena yang dianalisis meliputi return loss, Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), gain, bandwidth, dan pola radiasi. Seluruh parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian desain antena terhadap spesifikasi yang telah ditentukan.

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan CST Studio Suite 2019, antena array linier vertikal yang telah dioptimasi menunjukkan nilai return loss di bawah  $-10$  dB pada frekuensi kerja, yang menandakan pencocokan impedansi antara antena dan saluran transmisi berada pada kondisi yang baik. Nilai return loss yang rendah menunjukkan bahwa daya pantul yang kembali ke sumber sangat kecil, sehingga sebagian besar daya dapat dimanfaatkan secara efektif untuk penerimaan sinyal televisi digital. Hasil ini sesuai dengan target perancangan dan menunjukkan peningkatan performa dibandingkan desain awal sebelum optimasi.

Parameter VSWR hasil simulasi dan pengujian berada pada nilai kurang dari 2, yang mengindikasikan bahwa antena bekerja pada kondisi matching yang baik. Nilai VSWR yang rendah menunjukkan minimnya gelombang pantul pada saluran transmisi, sehingga efisiensi antena dalam menerima sinyal menjadi lebih optimal. Hal ini sangat penting untuk aplikasi penerimaan siaran televisi digital, karena kestabilan sinyal sangat dipengaruhi oleh kesesuaian impedansi antena.

Dari sisi penguatan, antena array linier vertikal yang dirancang menghasilkan gain di atas 10 dBi. Peningkatan gain ini diperoleh dari penggunaan konfigurasi array linier vertikal dengan metode stacking, yang memungkinkan penguatan sinyal secara konstruktif pada arah tertentu. Gain yang tinggi memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan daya terima sinyal, terutama pada wilayah pedesaan yang memiliki jarak cukup jauh dari stasiun pemancar dan kondisi topografi yang kurang mendukung.

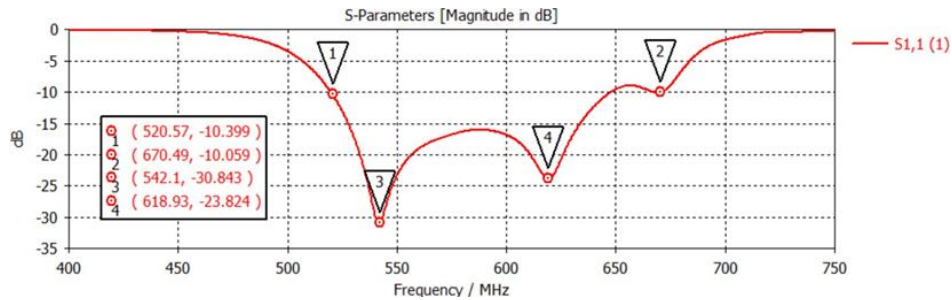
Bandwidth antena hasil simulasi menunjukkan rentang frekuensi yang cukup lebar untuk mencakup frekuensi siaran televisi digital UHF. Hal ini menunjukkan bahwa antena mampu bekerja secara stabil pada rentang frekuensi yang digunakan, sehingga dapat menerima beberapa kanal televisi digital tanpa mengalami penurunan performa yang signifikan. Bandwidth yang memadai menjadi salah satu faktor penting dalam menjamin fleksibilitas antena terhadap variasi frekuensi siaran.

Hasil analisis pola radiasi menunjukkan bahwa antena array linier vertikal memiliki pola radiasi bersifat unidirectional. Pola radiasi ini sangat sesuai untuk aplikasi penerimaan televisi digital, karena antena dapat memfokuskan penerimaan sinyal ke arah pemancar dan mengurangi interferensi dari arah lain. Karakteristik pola radiasi yang terarah ini juga berkontribusi terhadap peningkatan gain dan kualitas penerimaan sinyal.

Pengujian antena secara langsung pada penerimaan siaran televisi digital menunjukkan bahwa antena hasil perancangan mampu meningkatkan kualitas gambar dan suara dibandingkan dengan antena konvensional. Siaran yang diterima menjadi lebih stabil, dengan berkurangnya gangguan seperti gambar terputus atau hilangnya sinyal. Hasil pengujian ini membuktikan bahwa antena array linier vertikal yang dirancang tidak hanya memenuhi parameter teknis secara simulasi, tetapi juga efektif ketika diaplikasikan pada kondisi nyata di wilayah pedesaan.

### **Return Loss**

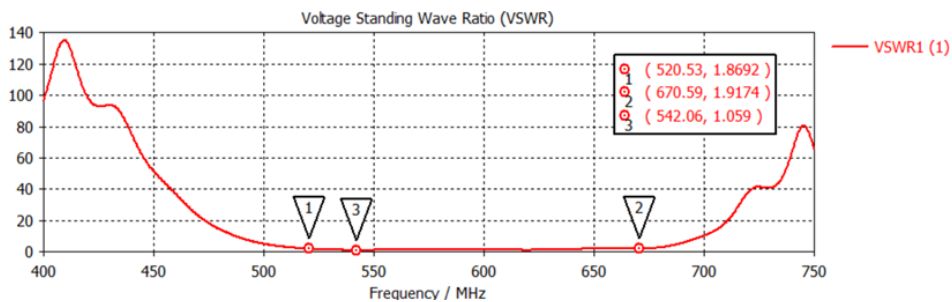
Hasil simulasi antena array di dapatkan pada frekuensi kerja 520,57 – 670,49 dengan hasil nilai return loss dibawah  $-10$  dB yang dapat di lihat pada Gambar 4.1 dibawah. Nilai return loss terkecil  $-30,843$  dB pada frekuensi 542,1 dB. Berdasarkan hasil simulasi yang diperoleh nilai return loss menunjukkan kemampuan antenna untuk seberapa banyak daya yang hilang pada beban dan tidak kembali sebagai pantulan. Nilai return loss yang diperoleh dari rentang frekuensi kerja 520,57 – 670,49 merupakan nilai terbaik dan antenna mampu bekerja dengan efisien pada frekuensi tersebut.



Gambar 2. Return Loss

### VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

Hasil VSWR antenna simulasi menunjukkan performa yang optimal dengan nilai  $1 < VSWR < 2$  di seluruh frekuensi kerja dari 520,53 – 670,59 MHz dengan VSWR yang paling mendekati 1 yaitu 1,059 pada frekuensi kerja 542,06 MHz. Gambar 4.2 menunjukkan hasil simulasi nilai VSWR dibawah ini. Dari hasil simulasi tersebut menunjukkan bahwa antenna memiliki efisiensi yang tinggi dan rendahnya energi yang di pandulkan kembali terutama pada frekuensi 542,06 MHz.



Gambar 3. VSWR

### Gain Antena

Hasil parameter Gain antenna di tunjukan pada Gambar 4.3. Dimana di sepanjang frekuensi kerja memiliki Gain di atas 10 dBi, gain maksimal di peroleh yaitu 13,60 dBi pada frekuensi 642 MHz. Hasil parameter gain simulasi sudah sesuai dengan spesifikasi antenna yang diinginkan, dimana peningkatan nilai gain ini dari frekuensi 475 – 675 MHz dengan nilai maksimumnya mencapai 13 dBi.

farfield (f=642) [1]	
Type	Farfield
Approximation	enabled (kR >> 1)
Component	Abs
Output	Gain
Frequency	642 MHz
Rad. Effic.	-0.01302 dB
Tot. Effic.	-0.3257 dB
Gain	13.60 dBi

Gambar 4. Gain Antena

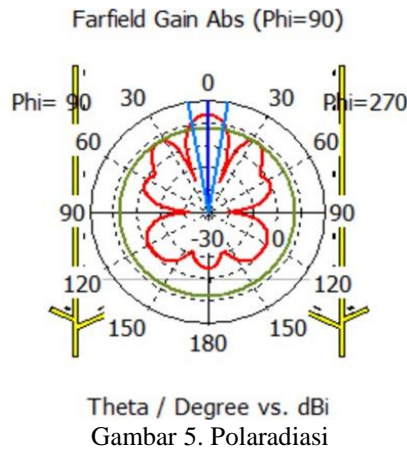
### Bandwidth

Hasil band frekuensi 520,57 – 670,49 MHz dengan semua band frekuensi memiliki return loss dibawah -10 dB yang dapat dilihat pada Gambar 4.1. Sehingga bandwidth yang mampu bekerja yaitu sebesar 149,92 MHz yang diketahui dengan persamaan (2.6).

$$\begin{aligned} \text{Bandwidth (MHz)} &= 670,49 - 520,57 \text{ MHz} \\ &= 149,92 \text{ MHz} \end{aligned}$$

### Polaradiasi

Pada antenna ini menghasilkan pola radiasi yang bersifat unidirectional, dimana arah transmisi sinyal bersifat searah dan sesuai dengan karakteristik antenna yagi. Gambar 4.4 berikut menyajikan polaradiasi antenna pada bidang pola.



### Hasil Pengujian Antena Terhadap Penerimaan Sinyal Televisi Digital

Untuk membuktikan kinerja antena yang telah dipabrikasi dalam kondisi nyata, pengujian langsung terhadap penerimaan sinyal televisi digital dilakukan. Pengujian ini bertujuan memastikan bahwa antena mampu menangkap sinyal Ultra High Frequency (UHF) dengan baik dan menghasilkan kualitas gambar serta suara yang stabil pada perangkat televisi digital.

Antena mikrostip Array yang telah dipabrikasi dihubungkan ke set top box DVB-T2, yang kemudian dihubungkan ke televisi. Pengujian dilakukan di lokasi yang sama dengan pengukuran parameter antena. Pada saat dilakukan pengujian, kondisi cuaca sedang cerah. Kualitas penerimaan sinyal dievaluasi berdasarkan saluran yang berhasil ditayangkan, kejernihan gambar dan stabilitas suara.

Tabel 1. Hasil Pengujian Antena Terhadap Penerimaan Sinyal TV Digital

No	Stasiun TV	Kanal UHF	Frekuensi (MHz)	Kondisi Siaran
1	TVRI Nasional	30	546	Buruk
2	TVRI Sport	30	546	Buruk
3	RTV	30	546	Buruk
4	Padang TV	30	546	Buruk
5	RCTI	40	626	Sedang
6	MNC TV	40	626	Sedang
7	VTV	40	626	Sedang
8	iNews	40	626	Sedang
9	ANTV	40	626	Sedang
10	Trans TV	40	626	Sedang
11	Trans7	40	626	Sedang
12	tvOne	40	626	Sedang
13	SCTV	42	642	Bagus
14	Indosiar	42	642	Bagus
15	Metro TV	42	642	Bagus
16	Magna Channel	42	642	Bagus
17	BN Channel	42	642	Bagus
18	RCTI	45	666	Bagus
19	MNC TV	45	666	Bagus

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, simulasi, optimasi, pabrikasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa antena array linier vertikal dengan konfigurasi stacking berhasil dirancang dan bekerja dengan baik pada band Ultra High Frequency (UHF) untuk penerimaan siaran televisi digital. Antena yang dirancang menunjukkan kinerja yang memenuhi spesifikasi perancangan, ditunjukkan oleh nilai return loss di bawah  $-10$  dB dan nilai Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) kurang dari 2, yang menandakan pencocokan impedansi antena berada pada kondisi yang optimal.

Konfigurasi antena array linier vertikal terbukti mampu meningkatkan nilai gain antena hingga di atas 10 dBi serta menghasilkan pola radiasi yang bersifat unidirectional. Karakteristik ini memungkinkan antena untuk memfokuskan penerimaan sinyal ke arah pemancar, sehingga meningkatkan daya terima sinyal televisi digital,

khususnya pada wilayah pedesaan yang memiliki jarak cukup jauh dari stasiun pemancar dan kondisi topografi yang kurang mendukung.

Hasil pengujian secara langsung menunjukkan bahwa antena hasil perancangan mampu meningkatkan kualitas penerimaan siaran televisi digital dibandingkan dengan antena konvensional, ditandai dengan gambar dan suara yang lebih stabil serta berkurangnya gangguan sinyal. Dengan demikian, antena array linier vertikal yang dirancang dapat dijadikan sebagai solusi alternatif yang efektif untuk meningkatkan kualitas penerimaan televisi digital pada wilayah pedesaan.

#### **REFERENSI**

- Balanis, C. A. (2016). *Antenna Theory: Analysis and Design* (4th ed.). Wiley.
- G. A. Siagian, L. and S. Soim, "Rancang Bangun Antena Yagi 2400 MHz 15 elemen untuk Receiver komunikasi WIFI," *Jurnal ECOTIPE*, vol. Vol.8, pp. 75-83, 2021.
- Kraus, J. D., & Marhefka, R. J. (2002). *Antennas for All Applications* (3rd ed.). McGraw-Hill.
- Martripagelardo Dedy Suryadi, 2022, Identifikasi penerimaan sinyal antena digital untuk televisi menggunakan metode SINPO, *Jurnal Untan*, Pontianak
- Stutzman, W. L., & Thiele, G. A. (2013). *Antenna Theory and Design* (3rd ed.). Wiley.