

## Pemantauan Spektrum dan DoA Sinyal Televisi Digital Berbasis *Software Defined Radio*

Hasbi Nur Prasetyo Wisudawan<sup>#1</sup>, Muhammad Fajar Anshori<sup>2</sup>, Muhammad Syawal Exalted A<sup>3</sup>

<sup>#1</sup>*Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang KM 14.5, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia*

<sup>#1</sup>hasbi.wisudawan@uii.ac.id

<sup>2</sup>18524039@students.uui.ac.id

<sup>3</sup>18524114@students.uui.ac.id

Dikirim pada 14-11-2024, Direvisi pada 20-11-2024, Diterima pada 28-11-2024

### Abstrak

Proses migrasi siaran televisi (TV) analog ke digital pada pita *Ultra High Frequency* (UHF) 478 – 806 MHz telah berlangsung secara bertahap. Pemantauan spektrum selama migrasi sangat diperlukan guna menghindari terjadinya interferensi akibat penyalahgunaan frekuensi berlisensi. Selain itu, pencarian arah (*Direction Finding*) datang sinyal menjadi sangat penting untuk menentukan arah sinyal frekuensi berlisensi tersebut. Pada penelitian ini diusulkan sistem monitoring dan pencari arah-datang sinyal TV digital berbasis *Software Defined Radio*. Perangkat keras yang digunakan adalah HackRF One. Pengujian dilakukan dengan dua skenario. Pertama, pemantauan stasiun TV yang dapat ditangkap oleh sistem. Kedua, pencarian arah-datang sinyal dengan menggunakan antenna Omnidirectional dan Directional. Sumber sinyal yang digunakan adalah perangkat *Handy Talkie* yang diatur sesuai spesifikasi rentang frekuensi TV digital. Sistem pemrosesan sinyal penerima dirancang dengan menggunakan GNU Radio untuk menerima sinyal baik dari HT maupun TV secara langsung. Berdasarkan hasil pengujian, antenna *directional* memiliki keakuratan yang lebih baik dibandingkan antenna *omnidirectional* dengan nilai *Probability of Detection* ( $P_d$ ) yang tinggi yaitu berturut-turut 1, 1, dan 0,8 serta *Probability of False Alarm* ( $P_{fa}$ ) berturut-turut 0, 0, dan 0,2 pada Lokasi I, II, dan III.

**Kata Kunci:** DoA, GNU Radio, HackRF One, monitoring spektrum, SDR, TV Digital

*Ini adalah artikel akses terbuka di bawah lisensi [CC BY-SA](#).*



---

#### Penulis Koresponden:

Hasbi Nur Prasetyo Wisudawan

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang KM 14.5, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia

Email: hasbi.wisudawan@uui.ac.id

---

### I. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu media komunikasi, spektrum frekuensi radio merupakan sumber daya alam yang terbatas, yang memiliki nilai strategis dalam penyelenggaraan telekomunikasi dan juga memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Oleh karena itu, pemanfaatannya perlu dilakukan secara tertib, efisien dan harus patuh terhadap hukum nasional dan internasional. Di Indonesia pada dasarnya, spektrum frekuensi radio adalah milik Pemerintah Republik Indonesia. Indonesia menganut sistem pengelolaan frekuensi yang terpusat, tetapi sebagian pengelolaan telah mengikuti mekanisme pasar, misalnya diberlakukannya lelang dalam pemberian lisensi. Penggunaan spektrum frekuensi radio hanya dapat dilakukan atas izin Menteri Komunikasi dan Informatika, dalam bentuk izin stasiun radio [1].

Semua negara khususnya negara maju telah menetapkan tahun migrasi dari analog ke digital. Dengan siaran televisi digital, kualitas gambar dan suara yang diterima pemirsa jauh lebih baik dibandingkan siaran televisi analog. Pemerintah Indonesia sudah menetapkan tahun 2014 seluruh kota besar sudah beralih ke televisi digital dan tahun 2017 seluruh Indonesia sudah bermigrasi ke sistem digital. Keberadaan siaran televisi digital ini didukung dengan terbitnya Peraturan Menteri No. 07/P/M. KOMINFO/3/2007 tentang

Standar Penyiaran Digital Terrestrial untuk televisi tidak bergerak di Indonesia, guna mengantisipasi proses migrasi dari sistem analog ke digital [2] dan Peraturan Menteri No. 23/PER/M.KOMINFO/11/2011 tentang Rencana Induk (*Master Plan*) Frekuensi Radio untuk Keperluan Televisi Siaran Digital Terrestrial pada Pita Frekuensi Radio 478 - 694 MHz [3].

Di Indonesia alokasi frekuensi untuk siaran televisi swasta berada pada band UHF (*Ultra High Frequency*) dengan rentang frekuensi mulai dari 478 MHz hingga 806 MHz. Sementara itu hanya dibutuhkan lebar-bidang (*bandwidth*) sebesar 8 MHz saja untuk satu kanal siaran televisi analog. Jadi, dalam rentang frekuensi itu seharusnya ada 40 kanal yang bisa digunakan untuk siaran televisi tetapi kenyataannya hanya 20 kanal saja yang bisa dimanfaatkan [4]. Sebab kanal yang bersebelahan (*adjacent channel*) harus dikosongkan. Kalau tidak, maka kedua kanal yang bersebelahan akan saling mengganggu. Akibat dari sifatnya inilah yang akhirnya membuat banyak calon penyelenggara siaran televisi tidak mendapatkan frekuensi.

Teknologi siaran digital dapat menyelesaikan masalah *adjacent channel*. Dengan kata lain dapat menduduki 40 kanal tersebut. Satu kanal pemancar televisi butuh 8 MHz untuk beroperasi. Pada kanal di sebelahnya boleh diduduki oleh pemancar digital lainnya tanpa keduanya saling mengganggu. Dengan catatan, dua pemancar tersebut dilengkapi dengan filter sesuai standar yang telah ditetapkan. Pada siaran digital ini satu kanal dapat menyiarkan 12 program sekaligus, sehingga apabila ada 40 kanal yang tersedia maka dengan menggunakan siaran digital dapat menyiarkan 480 program yang berbeda secara bersamaan. Namun, pemerintah membatasi 72 program saja yang dapat disiarkan di satu zona tertentu untuk siaran komersial. Sementara sisa frekuensi akan digunakan untuk keperluan yang lebih bermanfaat dan bernilai ekonomis. Selain itu, transmisi digital kebal terhadap derau karena penerima diperintahkan untuk mengenali dua kondisi yaitu "1" dan "0"[4].

Penggunaan pada rentang frekuensi 478 - 694 MHz diperlukan pengawasan sehingga frekuensi tersebut dapat digunakan secara efektif. Sesuai dengan Undang-undang No. 36 Tahun 1999 tentang Telekomunikasi, pasal 33 ayat 2 mengatakan bahwa "penggunaan spektrum frekuensi radio dan orbit satelit harus sesuai dengan peruntukannya dan tidak saling mengganggu", kemudian pada ayat 3 mengatakan "pemerintah melakukan pengawasan dan pengendalian penggunaan spektrum frekuensi radio dan orbit satelit". Kemudian turunan dari undang-undang tersebut diatur dalam Peraturan Pemerintah No. 53 Tahun 2000 tentang Penggunaan spektrum frekuensi radio dan orbit satelit, bahwasanya pada pasal 36 ayat 2 mengatakan "Pengawasan dan pengendalian sebagaimana dimaksud ayat (1) dilakukan dengan kegiatan observasi, monitoring, dan penertiban". Dari beberapa aturan tersebut pada rentang frekuensi 478 - 694 MHz digunakan sebagai batasan masalah dalam perancangan *Spectrum Monitoring* dan *Direction Finding* atau *Direction-of-Arrival* (DoA) Televisi Digital Berbasis *Software Defined Radio* (SDR) dengan Menggunakan HackRF One. DoA merupakan teknik untuk mengetahui arah-datang sinyal yang biasanya dilakukan dengan menggunakan antena larik sebagai penerima isyarat. Teknik ini sering digunakan pada sistem radio kognitif untuk penginderaan spektrum (*spectrum sensing*) [5].

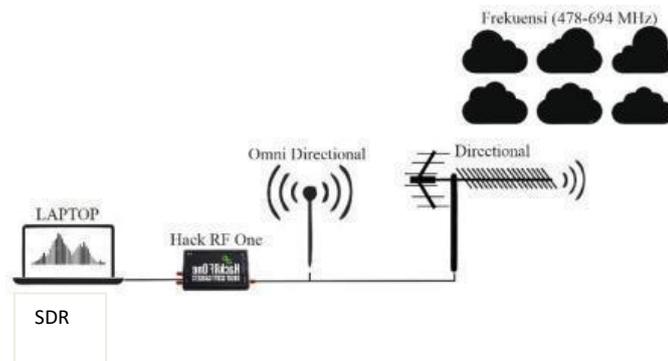
SDR didefinisikan sebagai suatu sistem radio yang sebagian atau seluruh fungsi lapisan fisiknya ditentukan dengan perangkat lunak. Pada SDR, piranti *Radio Frequency* (RF) berupa perangkat keras (*hardware*) sedangkan pengolahan isyarat selanjutnya dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak seperti GNU Radio [6]. Keuntungan terbesar yang didapat dengan SDR adalah pengolahan isyarat yang dilakukan pada perangkat lunak, sehingga memiliki fleksibilitas yang tinggi. Selain itu, pengujian DoA dilakukan dengan menggunakan pemancar HT (*Handy Talky*) yang diatur pada rentang frekuensi yang sama dengan frekuensi televisi. Penelitian tentang DoA yang pernah dilakukan adalah dengan menggunakan algoritma *Multiple Signal Classification* (MUSIC) [7]. Meskipun resolusi hasil estimasi yang dihasilkan sangat tinggi, algoritma MUSIC belum diterapkan dengan menggunakan SDR atau perangkat *radio frequency* (RF) seperti Hack RF One. Metode DoA yang lebih ringan diterapkan dengan menggunakan algoritma *Classical Beamforming* (CBF) [8].

Berdasarkan permasalahan dan peraturan yang telah dibahas sebelumnya, diperlukan sebuah alat atau sistem yang dapat melakukan monitoring spektrum frekuensi, mengetahui arah datang isyarat, dan dapat diterapkan pada pengujian yang sesungguhnya. Kebaruan pada penelitian ini adalah hasil rancangan sistem monitoring spektrum frekuensi berbasis SDR yang dapat menangkap dan mengetahui arah datang sinyal TV maupun alat yang bekerja pada kanal frekuensi UHF (*Ultra High Frequency*) yaitu 478-694 MHz. Alat ini diharapkan dapat menampilkan hasil pemantauan yang akurat serta mengetahui datang arah sinyal secara presisi. Selain itu, alat tersebut dapat bekerja dengan baik ketika digunakan untuk pengukuran di luar ruang (*outdoor*). Tujuan alat ini adalah selain mempermudah dalam melakukan monitoring frekuensi serta

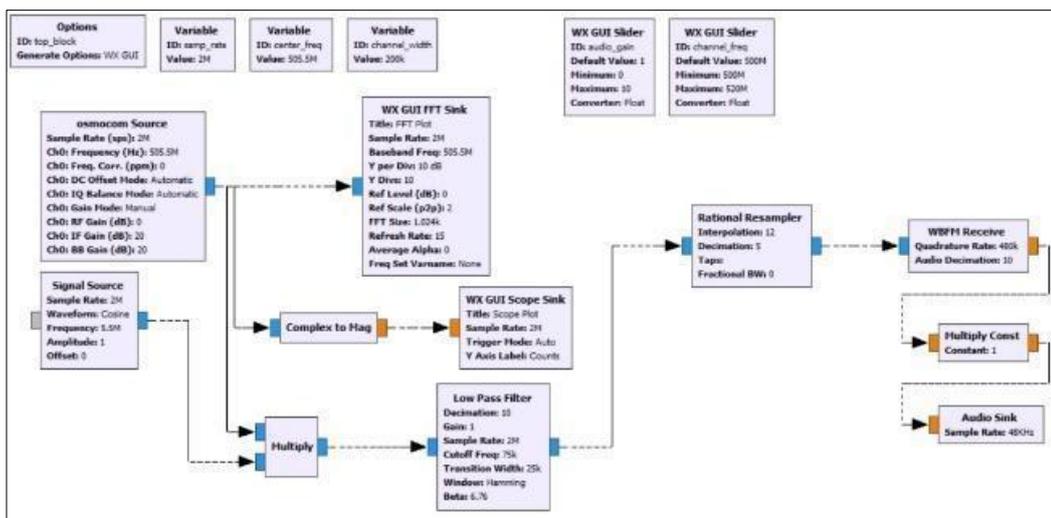
mengetahui arah datangnya sinyal, juga berguna untuk memantau pelanggaran penyiaran televisi digital secara ilegal.

## II. METODE PENELITIAN

Pemantauan spektrum dan pencari-arah datang sinyal diterapkan dengan dua skenario. Pertama, sistem yang diusulkan digunakan untuk memantau frekuensi stasiun televisi analog. Pemantauan ini dilakukan untuk memastikan frekuensi tersebut tidak digunakan oleh pengguna lain ketika migrasi telah diterapkan secara menyeluruh. Skenario kedua digunakan untuk mencari arah-datang sinyal sumber. Sinyal sumber yang digunakan adalah sinyal yang berasal dari *Handy-Talkie* (HT) dengan frekuensi diatur sesuai standar frekuensi TV digital (478- 694 MHz). Realisasi perancangan perangkat keras sistem penerima untuk *monitoring* dan pencari arah-datang sinyal ditunjukkan pada Gambar 1. Sistem penerima pada Gambar 1 terdiri SDR yang terinstal pada PC/Laptop, *HackRF One*, antenna *omni* dan *directional*. SDR diimplementasikan dengan GNU Radio. *HackRF One* berfungsi sebagai sistem pemroses sinyal ke GNU Radio dan antenna berfungsi untuk menerima sinyal dari sumber. Diagram blok GNU radio sebagai implementasi dari SDR ditunjukkan pada Gambar 2. Sinyal yang berasal dari TV atau HT ditangkap oleh antenna dan diubah ke digital oleh *Osmocom Source*. Pada blok *Multiply*, sinyal kompleks tersebut kemudian dikalikan dengan *Cosinus complex* dengan frekuensi  $5,5 \times 10^6$  Hz dengan tujuan untuk menggeser frekuensi sinyal terima. Sinyal hasil perkalian, atau yang telah digeser kemudian difilter dengan menggunakan *low pass filter* sehingga diperoleh sinyal *baseband*.



Gambar 1. Sistem Penerima Sinyal TV dengan Menggunakan Antenna *Directional* dan *Omni-directional*



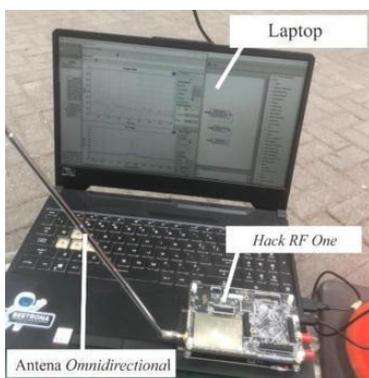
Gambar 2. Diagram Blok SDR Sistem Penerima Sinyal TV

Sinyal hasil demodulasi diperoleh dari luaran *Wideband Frequency Modulation* (WBFM) *Receive*. Penguatan dilakukan dengan menggunakan *Multiply Const* untuk menguatkan amplitude, dan suara dapat didengarkan melalui *Audio Sink*. Fungsi dari setiap blok pada Gambar 2 ditunjukkan pada Tabel I.

Table I. NAMA BLOK PADA GNU RADIO SISTEM PENERIMA DAN FUNGSINYA

No	Nama Blok	Fungsi
1	<i>Options</i>	memilih mode kerja dari diagram yang dibuat dan memberikan identitas (identity, ID) blok diagram yang dibuat
2	<i>Variable</i>	sebagai pengatur flow rate pada blok diagram yang dibuat
3	<i>WX GUI Slider</i>	mengubah nilai parameter ID secara langsung ketika program dijalankan
4	<i>Osmocom Source</i>	menerima sinyal yang ditangkap oleh Hack RF One dan mengubah dari sinyal analog menjadi digital.
5	<i>Signal Source</i>	untuk membuat sinyal dengan frekuensi dan magnitudo tertentu
6	<i>Multiply</i>	untuk mengalikan dua nilai menjadi satu
7	<i>Complex-to-Mag</i>	untuk menghitung nilai absolut dari bilangan atau nilai kompleks
8	<i>WX GUI FFT Sink</i>	untuk memonitor sinyal yang masuk dalam domain frekuensi
9	<i>WX GUI Scope Sink</i>	untuk memonitor sinyal yang masuk dalam domain waktu
10	<i>Low-Pass Filter</i>	meloloskan frekuensi rendah dan memblok frekuensi tinggi. Parameter window Hamming dengan Beta=6,76
11	<i>Rational Resampler</i>	untuk mengubah sinyal yang diterima dan mengatur <i>interpolation</i> serta <i>decimation</i>
12	<i>WBFM Receiver</i>	memodulasikan sinyal pembawa dan sinyal informasi
13	<i>Multiply Const</i>	mengalikan amplitudo sinyal yang masuk secara konstan agar pada blok audio sink terbaca dengan jelas
14	<i>Audio Sink</i>	untuk menghubungkan hasil suara ke audio laptop

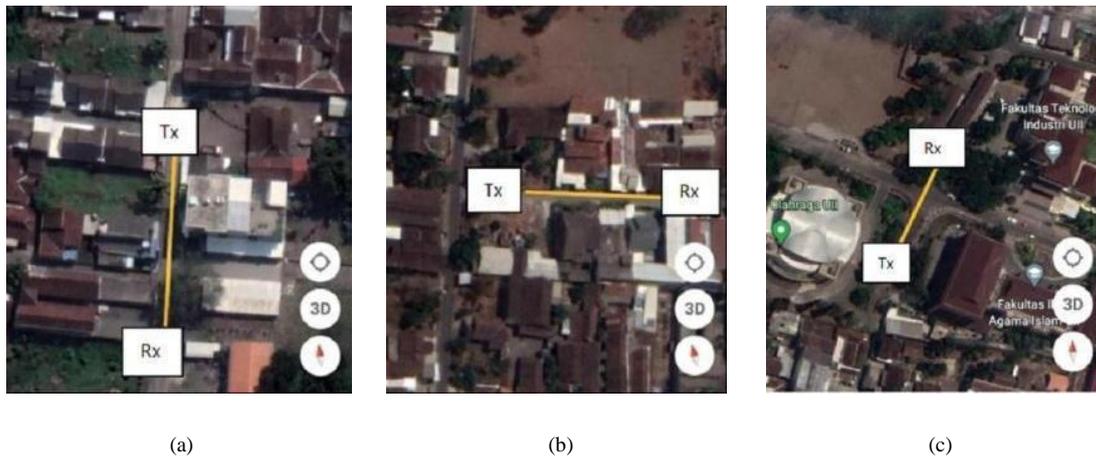
Komponen utama pada diagram tersebut adalah *Osmocom Source*, *Complex-to-Mag*, *Low Pass Filter*, *Rational Resampler*, *WBFM Receiver*, *WX GUI FFT Sink* dan *WX GUI Scope Sink*.



(a)

(b)

Gambar 3. (a) Implementasi sistem monitoring dengan menggunakan antenna *omni-directional*; (b) Implementasi sistem pencari arah-datang sinyal. Terdapat HT sebagai pemancar dan sistem penerima dengan antenna *directional* (Antena TV outdoor PF 5000)



(a)

(b)

(c)

Gambar 4. (a) Lokasi I: Jl. Anyelir No. 57, Besi, Sleman, Yogyakarta; (b) Lokasi II: Gg. Matoa No. 6, Candirejo, Sleman, Yogyakarta; (c) Lokasi III: GOR Ki Bagos Hadikoesomeo, Universitas Islam Indonesia (UII), Sleman, DIY

Lokasi pengamatan dilakukan di kompleks kampus terpadu Universitas Islam Indonesia (UII), Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia. Pada skenario pertama, sistem penerima pada Gambar 1 dan 2 menerima sinyal dari stasiun pemancar TV yang ada pada lokasi pengamatan. Terdapat sembilan stasiun TV yang dijadikan objek pengamatan/pengukuran yakni Trans TV, TVRI, Indosiar, RBTv Yogyakarta, TV One, Metro TV, Trans 7, SCTV, dan GTV. Pada skenario 2, perangkat HT digunakan sebagai pemancar dengan frekuensi diatur sesuai dengan frekuensi TV digital. Implementasi perangkat keras untuk skenario 1 dan 2 berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 3a dan Gambar 3b. Spesifikasi antenna *omni-directional*, *directional*, HT, dan *HackRF One* ditunjukkan oleh Tabel II. Antena *omnidirectional* digunakan untuk *monitoring* stasiun televisi sedangkan antenna *directional* digunakan untuk pencari arah-datang sinyal. HT dalam pengujian ini digunakan sebagai pemancar uji dengan daya 5 Watt pada rentang frekuensi uji 136 – 174 MHz atau 400 – 520 MHz. Pada pengujian skenario 2, pengujian dilakukan di luar ruangan (*outdoor*) dengan memilih tiga lokasi yang berbeda. Lokasi tersebut selanjutnya disebut Lokasi I, II dan III. Gambar ketiga lokasi tersebut beserta alamat lokasi berturut-turut ditunjukkan pada Gambar 4a, 4b, dan 4c. Kondisi antara pengirim (HT) dengan penerima adalah *line-of-sight* (LOS) dengan bervariasi jarak antara pengirim dan penerima yakni 10, 20, 30, 40, dan 50 m. Daya yang dipancarkan oleh HT diterima oleh sistem penerima yang telah dirancang.

Table II. KOMPONEN SISTEM PENERIMA DAN SPESIFIKASI

No	Nama Alat	Spesifikasi
1	HackRF One	Frekuensi operasi 1-6 GHz, <i>Transceiver</i> setengah duplex, 20 juta sampel per detik. <i>Sample quadrature 8bit</i> <i>daya port antenna 50mA pada 3.3V</i> <i>USB 2.0</i>
2	Antena <i>Omnidirectional</i>	<i>Material antena: metal</i> <i>Color Silver</i> <i>Collapsed length: 95 mm</i>

---

		Stretched length: 270 mm Rentang Frekuensi: 40MHz-6GHz
3	Antena Directional	Antena TV outdoor PF 5000 Channels 21-69 Gain 12-16 dB Impedansi 75 ohms
4	HT	Pancaran daya 5 Watt Rentang Frekuensi: 136-174 / 400-520 MHz Dual Band Display, Dual Freq. Display, Dual-Standby 128 Channels 50 CTCSS and 104 CDCSS Built in VOX Function 1750Hz Burst Tone FM Radio Receiver (65.0MHz-108.0MHz) LED Flashlight High /Low RF Power Wide/ Narrow FM mode: 25KHz/12.5KHz Emergency Alert

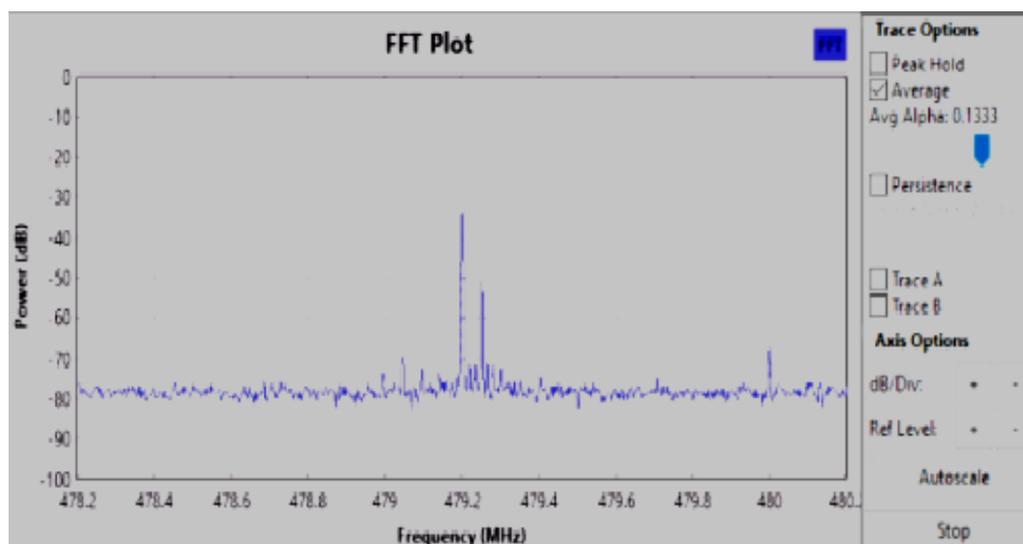
---

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada sub bab ini, pembahasan meliputi hasil monitoring frekuensi televisi (TV) yang ada di Yogyakarta dengan menggunakan Software Defined Radio (SDR). Selanjutnya, hasil pengukuran DoA dengan menggunakan SDR dibahas secara detail disertai analisis perhitungan *probability of detection* ( $P_d$ ) dan *false alarm* ( $P_{fa}$ ).

#### A. Hasil Monitoring Frekuensi TV di Yogyakarta dengan SDR

Hasil pengujian skenario pertama berupa data hasil pengukuran daya terima (*power spectral density*, PSD) sebagai fungsi frekuensi tengah (*center frequency*) dari sembilan stasiun televisi yang berada di kanal UHF. Hasil pengukuran daya dari salah satu stasiun TV (TVRI) ditampilkan dengan blok *Fast Fourier Transform* (FFT) plot seperti pada Gambar 5. Pada Gambar 5, tampak spektrum dengan titik puncak sekitar -50 dB merupakan frekuensi 479,25 MHz yang digunakan oleh stasiun TVRI. Hasil pengukuran kesembilan frekuensi tengah stasiun TV di wilayah Yogyakarta ditunjukkan oleh Tabel III. Berdasarkan hasil tersebut, sistem yang digunakan dapat digunakan untuk monitoring spektrum TV analog. Pengetahuan terhadap frekuensi TV analog ini sangat penting ketika migrasi ke frekuensi TV digital telah dilakukan secara penuh sehingga frekuensi berlisensi tetap terpantau.



Gambar 5. Hasil monitoring frekuensi tengah stasiun TVRI di kanal 479,25 MHz

Table III. HASIL MONITORING SEMBILAN STASIUN TV DI YOGYAKARTA

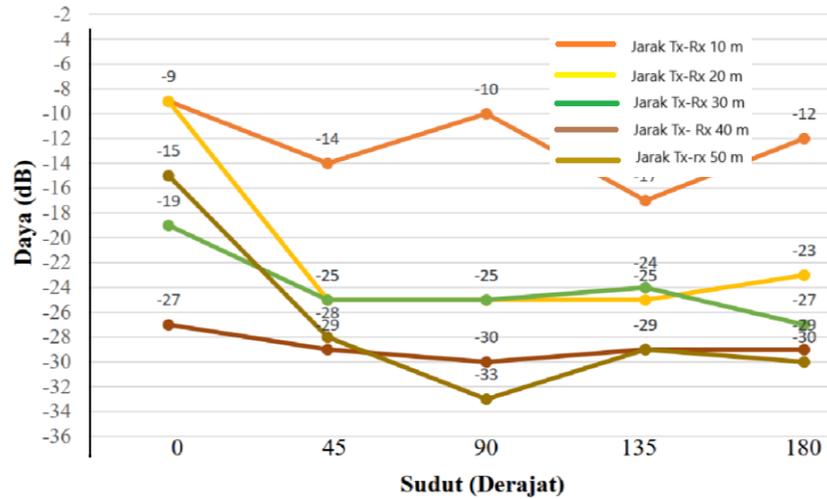
No	Hasil Pengukuran SDR (MHz)	Frekuensi Referensi (MHz) [9]	Stasiun TV	Daya (dB)
1	495,25	495,25	Trans TV	-57
2	479,25	479,25	TVRI	-53
3	527,25	527,25	Indosiar	-51
4	623,25	623,25	RBTV Yogyakarta	-61
5	607,25	607,25	TV One	-52
6	639,25	639,25	Metro TV	-62
7	671,25	671,25	Trans 7	-56
8	575,25	575,25	SCTV	-56
9	591,25	591,25	GTV	-52

### B. Hasil Pengujian DoA dengan SDR

Pengujian dilakukan dengan mengatur frekuensi HT sesuai dengan TV Digital yakni pada rentang 478-694 MHz. Frekuensi yang digunakan adalah 505,5 MHz. Pengujian dilakukan di Lokasi 1, 2, dan 3 dengan bervariasi jarak pengirim (Tx) dan penerima (Rx). Hasil pengujian berupa daya sinyal sebagai fungsi sudut. Rentang sudut yang diamati adalah dari  $0^0$  hingga  $360^0$ . Pada skenario ini, posisi Tx berada di sebelah utara dan Rx berada di sebelah selatan. Meskipun kondisi LOS, diasumsikan bahwa penerima tidak mengetahui arah pemancar. Antena penerima diputar untuk mencari titik di mana sinyal dengan daya tertinggi dapat ditangkap oleh antena. Hasil pengukuran pada Lokasi I ditunjukkan pada Tabel IV.

Table IV. HASIL DOA SINYAL PADA SUDUT SUMBER  $0^0$  DI LOKASI I

Jarak Rx-Tx (m)	Arah Rx				
	$0^0$	$45^0$	$90^0$	$135^0$	$180^0$
	Daya hasil pengukuran (dB)				
10	-9	-14	-10	-17	-12
20	-9	-25	-25	-25	-23
30	-19	-25	-25	-24	-27
40	-27	-29	-30	-29	-29
50	-15	-28	-33	-29	-30

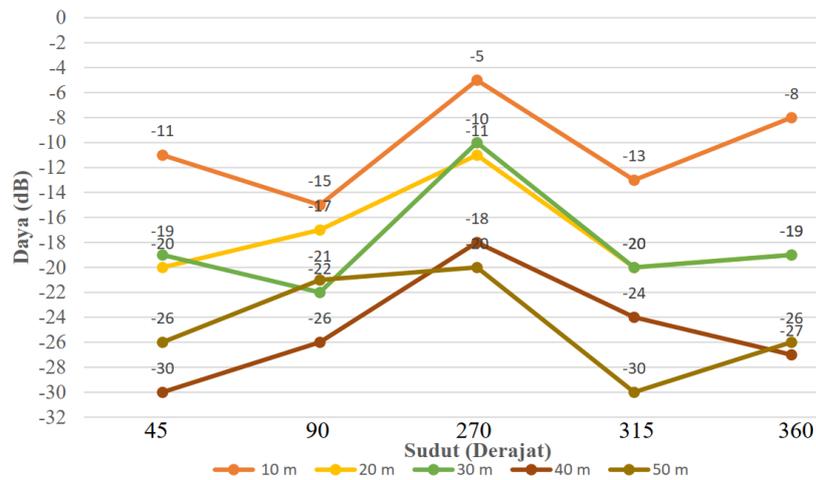


Gambar 6. Plot DoA pada Lokasi I sesuai Tabel IV dengan Sudut Sumber  $0^{\circ}$

Pada Lokasi I, jarak terjauh yang masih dapat dideteksi adalah 50 m. Berdasarkan hasil pengukuran, daya tertinggi ditunjukkan oleh sudut  $0^{\circ}$ . Sudut  $45^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $135^{\circ}$ , dan  $180^{\circ}$  adalah sudut yang menunjukkan pantulan-pantulan sinyal dari pemancar masih dapat ditangkap oleh antena tetapi dengan daya yang lebih kecil. Untuk lebih jelas, hasil plot magnitudo sinyal sebagai fungsi DoA pada Tabel IV ditunjukkan oleh Gambar 6.

Table V. HASIL DOA SINYAL PADA SUDUT SUMBER  $270^{\circ}$  DI LOKASI II

Jarak Rx-Tx (m)	Arah Rx				
	$270^{\circ}$	$315^{\circ}$	$360^{\circ}$	$45^{\circ}$	$90^{\circ}$
	Daya hasil pengukuran (dB)				
10	-5	-13	-8	-11	-15
20	-11	-20	-19	-20	-17
30	-10	-20	-19	-19	-22
40	-18	-24	-27	-30	-26
50	-20	-30	-26	-26	-21

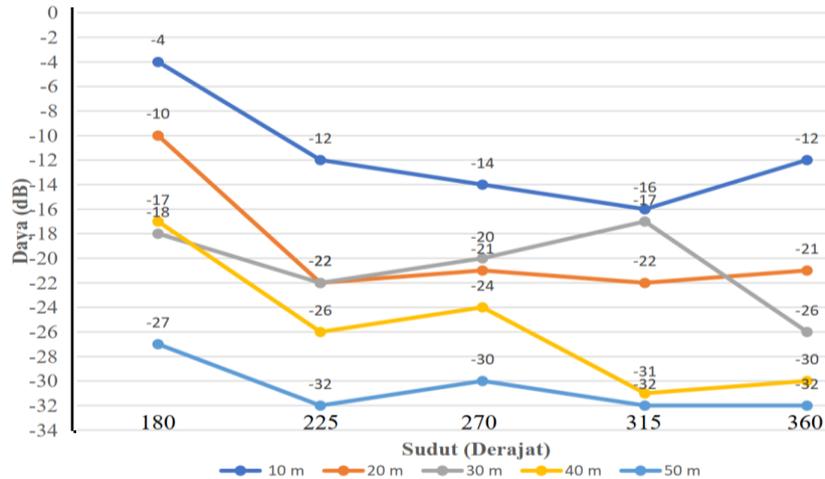


Gambar 7. Plot DoA pada Lokasi II sesuai Tabel V dengan sudut sumber 270<sup>0</sup>

Hasil pengukuran DoA pada Lokasi II ditunjukkan pada Tabel V. Sinyal sumber atau dalam hal ini pemancar ditempatkan pada arah 270<sup>0</sup> relatif dengan penerima. Berdasarkan tabel tersebut, daya terbesar yang diterima oleh penerima berjarak 10, 20, 30, 40, dan 50 m berturut-turut sebesar -5, -11, -10, -18, dan -20 dB. Hasil plot dari Tabel V ditunjukkan oleh Gambar 7.

Table VI. HASIL HASIL DOA SINYAL PADA SUDUT SUMBER 180<sup>0</sup> DI LOKASI III

Jarak Rx-Tx (m)	Arah Rx				
	180 <sup>0</sup>	225 <sup>0</sup>	270 <sup>0</sup>	315 <sup>0</sup>	360 <sup>0</sup>
	Daya hasil pengukuran (dB)				
10	-4	-12	-14	-16	-12
20	-10	-22	-21	-22	-21
30	-18	-22	-20	-17	-26
40	-17	-26	-24	-31	-30
50	-27	-32	-30	-32	-32



Gambar 8. Plot DoA pada Lokasi III sesuai Tabel VI dengan Sudut Sumber  $180^0$

Pengujian selanjutnya dilakukan pada Lokasi III dengan sinyal sumber diterima oleh penerima pada arah  $180^0$ . Tabel VI menunjukkan daya sinyal yang diterima oleh penerima pada jarak yang bervariasi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sinyal dengan daya terbesar, yakni -4, -10, -18, -17, dan -27 dB pada jarak yang bervariasi, berada pada sudut  $180^0$ . Hasil plot kurva DoA berdasarkan Tabel VI ditunjukkan oleh Gambar 8. Berdasarkan hasil pada Gambar 6, 7, dan 8 menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan dapat menunjukkan lokasi DoA dengan benar sesuai dengan sudut yang sebenarnya.

### C. Hasil Perhitungan $P_d$ dan $P_{fa}$

Salah satu ukuran performa sistem estimasi DoA adalah berdasarkan parameter probabilitas-deteksi (*probability of detection*,  $P_d$ ) dan probabilitas *false-alarm* (*probability of false alarm*,  $P_{fa}$ ). Pengujian  $P_d$  dan  $P_{fa}$  diuji dengan menggunakan tiga jenis antenna penerima yang berbeda, yakni antenna *omnidirectional*, antenna *directional* GV 45, dan antenna *directional* PF 5000. Percobaan juga dilakukan dengan memvariasikan jarak dan sudut datang sinyal. Probabilitas deteksi dan *false alarm* dari hasil percobaan dengan menggunakan tiga jenis antenna yang berbeda berturut-turut ditunjukkan pada Tabel VII, VIII, dan IX.

Table VII. HASIL PENGUJIAN  $P_d$  DAN  $P_{fa}$  DENGAN MENGGUNAKAN ANTENA *OMNIDIRECTIONAL*

Lokasi	$P_d$	$P_{fa}$
Lokasi I	0,4	0,6
Lokasi II	0	1
Lokasi III	0,2	0,8

Table VIII. HASIL PENGUJIAN  $P_d$  DAN  $P_{fa}$  DENGAN MENGGUNAKAN ANTENA *DIRECTIONAL* GV 45

Lokasi	$P_d$	$P_{fa}$
Lokasi I	0,6	0,4
Lokasi II	0,6	0,4
Lokasi III	0,4	0,6

Table IX. HASIL PENGUJIAN  $P_d$  DAN  $P_{fa}$  DENGAN MENGGUNAKAN ANTENA *OMNIDIRECTIONAL* PF 5000

Lokasi	$P_d$	$P_{fa}$
Lokasi 1	1	0
Lokasi 2	1	0
Lokasi 3	0,8	0,2

Tabel VII merupakan hasil perhitungan  $P_d$  dan  $P_{fa}$  dari sinyal yang diterima dengan menggunakan antena Omnidirectional. Penggunaan antena *Omnidirectional* tanpa menggunakan algoritma estimasi DoA seperti pada [10]. Berdasarkan hasil perhitungan dari lima belas kali pengukuran DoA dengan menggunakan antena *Omnidirectional* diperoleh bahwa  $P_d$  masih di bawah 0.5 sedangkan  $P_{fa}$  sangat tinggi untuk Lokasi I, II, dan III. Hal ini menunjukkan bahwa antena Omnidirectional tidak dapat digunakan tanpa menggunakan algoritma estimasi DoA seperti *Multiple Signal Classification* (MUSIC) [10], *Beamforming* [11], atau *Estimation of Signal Parameters via Rotational Invariant Techniques* (ESPRIT) [12]. Selanjutnya, pengujian  $P_d$  dan  $P_{fa}$  dilakukan dengan menggunakan antena penerima Directional GV 45. Antena ini merupakan jenis antena directional yang digunakan untuk menangkap siaran TV analog dan digital (DVBT2) untuk penggunaan baik dalam ruangan maupun luar ruangan. Tabel 8 menunjukkan hasil perhitungan  $P_d$  dan  $P_{fa}$  dengan menggunakan perangkat penerima yang dilengkapi dengan antenna GV 45. Berdasarkan tabel tersebut, terukur performa  $P_d$  untuk Lokasi I dan II sebesar 0,6 dan 0,4 untuk Lokasi II. Hal ini disebabkan daya yang dipancarkan oleh pemancar di Lokasi III semakin berkurang sehingga antena directional tidak bisa menangkap sinyal dengan baik. Salah satu solusi yang dilakukan adalah dengan menggunakan antena yang memiliki gain yang lebih besar. Jenis antena yang digunakan adalah antena PF5000 dengan gain 12 – 16 dB dan impedansi 75 Ohm. Hasil pengujian dan perhitungan  $P_d$  dan  $P_{fa}$  pada Tabel IX menunjukkan hasil yang konsisten dengan  $P_d$  yang tinggi dan  $P_{fa}$  rendah yakni sebesar 0,2. Berdasarkan hasil pengujian ini, penggunaan jenis antena sangat mempengaruhi performa sistem pencari DoA sinyal ketika tidak menggunakan algoritma estimasi DoA. Pada pengujian ini, sinyal yang diterima dominan *Line-of-Sight* (LOS).

#### IV. KESIMPULAN

Sistem Spektrum Monitoring dan *Direction Finding* Televisi Digital Berbasis *Software Defined Radio* dengan menggunakan HackRF *One* dapat melakukan *monitoring* frekuensi sinyal televisi dan menunjukkan arah-datang sinyal. Sebanyak sembilan stasiun TV yang ada di Daerah Istimewa Yogyakarta dapat dipantau dengan baik berdasarkan hasil pengukuran sinyal terima dengan menggunakan antena *omnidirectional*. Sistem penerima TV berbasis SDR juga dapat menunjukkan lokasi sumber isyarat dengan benar berdasarkan daya yang diterima dengan menggunakan antena *directional* PF5000. Hal ini ditunjukkan dengan hasil plot kurva DoA yang dapat menunjukkan lokasi sumber isyarat pada berbagai skenario pengujian. Selain itu, hasil pengukuran dan perhitungan  $P_d$  dan  $P_{fa}$  pada lima belas kali pengujian di tiga lokasi yang berbeda menunjukkan bahwa sistem penerima memiliki akurasi yang baik.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Anggorosesar, R. Wijaya 2013., Potensi pasar sekunder spektrum frekuensi radio di Indonesia, *Bul. Pos dan Telekomun.*, 11 (4), pp. 319-334.
- [2] Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia, “Peraturan Menteri Nomor 07/P.M.KOMINFO/3/2007 tentang Standar Penyiaran Digital Terrestrial Untuk Televisi Tidak Bergerak Di Indonesia”, Jakarta, (2007).
- [3] Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia., “Peraturan Menteri Nomor 23/PER.M.KOMINFO/11/2011 tentang Rencana Induk (*Masterplan*) Frekuensi Radio Untuk Keperluan Televisi Siaran Digital Terrestrial Pada Pita Frekuensi Radio 478- 694 Mhz”, Jakarta, (2011).
- [4] Marwiyati, A. Wahyudin, D. Kristiadi 2022., Penerapan teknologi siaran digital bagi lpp TVRI Jawa Timur, *J. Herit.*, 10 (1), pp. 58–59.

- 
- [5] H. N. P. Wisudawan, D. D. Ariananda, R. Hidayat, "Review pada Estimasi Spektral Daya pada Kawasan Frekuensi dan Arah Kedatangan Isyarat berbasis Pencuplikan Terkompresi," *Proceeding The 10th National Conference on Information Technology and Electrical Engineering*, (2018).
- [6] R. Aguayo González et al., 2009., Open-source SCA-based core framework and rapid development tools enable software-defined radio education and research, *IEEE Commun. Mag.*, 47, p.48–55.
- [7] H. N. P. Wisudawan, D. D. Ariananda, R. Hidayat, 2020., Compressive Joint Angular and Frequency Spectrum Sensing Based on MUSIC Spectrum Reconstruction, *Wireless Pers Commun*, 111 (1), pp. 513–540.
- [8] H. N. P. Wisudawan, A. R. Ramadhani, N. V. Dwicahyo, D. D. Ariananda, R. Hidayat, W. Dewanto, "Two-Dimensional Direction-of-Arrival Estimation for More Sources Than Sensors," *The 2022 5th International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI)*, Yogyakarta, Indonesia: IEEE, 2022: pp. 248–253.
- [9] Universitas Stekom Pusat. "Daftar Stasiun Televisi di Daerah Istimewa Yogyakarta." [https://p2k.stekom.ac.id/ensiklopedia/Daftar\\_stasiun\\_televisi\\_di\\_Daerah\\_Istimewa\\_Yogyakarta](https://p2k.stekom.ac.id/ensiklopedia/Daftar_stasiun_televisi_di_Daerah_Istimewa_Yogyakarta) (accessed Oct. 18, 2022).
- [10] H. N. P. Wisudawan, D. D. Ariananda, R. Hidayat, "Joint DoA and Frequency Band Estimation Based on MUSIC for Unknown Number of Sources," *Int. Symp. Wirel. Pers. Multimed. Commun. WPMC*, Okayama, Japan, (2020).
- [11] Romer, Michael, "Beamforming adaptive arrays with graphics processing units," Honor Thesis, 1 (3), pp. 1–12, (2008).
- [12] W. Xudong, 2010., Joint angle and frequency estimation using multiple-delay output based on ESPRIT, *EURASIP J. Adv. Signal Process.*, (1), pp. 1–6.