

Klasifikasi Kualitas Sinyal Radio FM Berbasis Pengolahan Citra Spektrum pada Berbagai Titik Observasi

Classification of FM Radio Signal Quality Based on Spectrum Image processing at Various Observation Points

Adinda Kamilasari¹, Ciksadan*², Mohammad Fadhli³
^{1,2,3}Program Studi D4 Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Sriwijaya
E-mail: ¹adindakamilasari10@gmail.com, ²ciksadanc@gmail.com,
³mohammad.fadhli@polsri.ac.id

Abstrak

Kualitas penerimaan siaran radio FM sangat dipengaruhi oleh karakteristik propagasi gelombang radio, seperti jarak, kontur geografis, kepadatan bangunan, dan vegetasi, sementara metode evaluasi konvensional menggunakan spectrum analyzer relatif mahal dan kurang fleksibel. Penelitian ini bertujuan mengembangkan metode evaluasi kualitas sinyal radio FM yang sederhana dan ekonomis berbasis pengolahan citra spektrum yang ditangkap melalui perangkat lunak GQRX dan modul Software defined radio RTL-SDR. Pengumpulan data dilakukan pada 20 titik observasi yang tersebar pada empat arah mata angin (Utara, Timur, Selatan, Barat) dengan lima variasi jarak (2, 4, 6, 8, dan 10 km) dari titik pusat Masjid Agung Palembang, menghasilkan 1.424 citra spektrum. Setiap citra diolah melalui deteksi panel spektrum, pembacaan skala sumbu daya dengan Optical Character Recognition (OCR), ekstraksi kurva sinyal, penghalusan dengan filter Gaussian, dan deteksi puncak sinyal untuk menghitung nilai Signal-to-Noise Ratio (SNR), yang selanjutnya diklasifikasikan berdasarkan standar TIPHON. Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata SNR berkisar antara 27,06–36,90 dB dengan pola distribusi yang fluktuatif dan tidak linier terhadap jarak. Dari 20 titik observasi, 18 titik memperoleh kategori dominan Outstanding dan 2 titik memperoleh kategori Excellent, tanpa ada titik berkategori Good, Fair, maupun Bad. Hasil ini menunjukkan bahwa pendekatan pengolahan citra spektrum berbasis RTL-SDR dan GQRX efektif, ekonomis, dan dapat direplikasi sebagai metode evaluasi kualitas sinyal radio FM.

Kata kunci: radio FM, SNR, RTL-SDR, GQRX, pengolahan citra spektrum

Abstract

The quality of FM radio broadcast reception is strongly affected by radio wave propagation characteristics, such as distance, geographical contour, building density, and vegetation, while conventional evaluation methods using a spectrum analyzer are relatively expensive and inflexible. This study aims to develop a simple and economical method for evaluating FM radio signal quality based on spectrum image processing captured through GQRX software and an RTL-SDR Software defined radio module. Data were collected at 20 observation points spread across four cardinal directions (North, East, South, West) with five distance variations (2, 4, 6, 8, and 10 km) from the central reference point at the Great Mosque of Palembang, producing 1,424 spectrum images. Each image was processed through spectrum panel detection, power-axis scale reading using Optical Character Recognition (OCR), signal curve extraction, Gaussian filter smoothing, and signal peak detection to calculate the Signal-to-Noise Ratio (SNR), which was then classified according to the TIPHON standard. The results show that the average SNR ranged from 27.06–36.90 dB, with a fluctuating and non-linear distribution

pattern with respect to distance. Of the 20 observation points, 18 points obtained a dominant Outstanding category and 2 points obtained an Excellent category, with none falling into the Good, Fair, or Bad categories. These results demonstrate that the RTL-SDR and GQRX-based spectrum image processing approach is effective, economical, and replicable as an FM radio signal quality evaluation method.

Keywords: FM radio, SNR, RTL-SDR, GQRX, spectrum image processing

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi nirkabel, khususnya siaran radio FM (*Frequency Modulation*), masih memegang peranan penting dalam sistem informasi dan hiburan masyarakat hingga saat ini. Meskipun telah muncul berbagai platform digital, radio FM tetap menjadi media yang relevan karena jangkauannya yang luas, biaya operasional yang relatif rendah, dan kemudahan akses bagi masyarakat. Namun, kualitas penerimaan siaran FM sangat dipengaruhi oleh karakteristik propagasi gelombang radio dari pemancar menuju penerima. Faktor-faktor seperti jarak, kontur geografis, kepadatan bangunan, serta vegetasi dapat menyebabkan redaman lintasan (*path loss*) yang berdampak pada penurunan kualitas sinyal [1], [2]. Variasi kondisi lingkungan tersebut menjadikan evaluasi kualitas penerimaan sinyal penting untuk memahami performa distribusi siaran radio pada suatu wilayah.

Software defined radio (SDR) menjadi solusi alternatif dalam pengamatan spektrum frekuensi seiring dengan perkembangan teknologi, karena menawarkan fleksibilitas tinggi, biaya yang relatif rendah, dan kemudahan implementasi dibandingkan perangkat pengukuran konvensional seperti *spectrum analyzer*. Salah satu perangkat SDR yang banyak digunakan adalah RTL-SDR, yang terbukti mampu melakukan pengukuran daya sinyal secara *real-time* dengan akurasi yang memadai ketika dipasangkan dengan perangkat lunak seperti GNU Radio [3]. Selain untuk pengukuran daya, keluaran visual SDR juga semakin banyak dimanfaatkan untuk deteksi dan klasifikasi sinyal otomatis, di mana teknik berbasis *computer vision* terbukti mampu mengidentifikasi sinyal komunikasi maupun radar pada lingkungan spektrum yang padat dan kompleks [4], [5]. Tren riset pemantauan RF berbasis *machine learning* dan deteksi *context-aware* juga terus berkembang untuk mendukung ekstraksi fitur sinyal secara otomatis [6].

Representasi waktu-frekuensi seperti spektrogram dan *scalogram* banyak digunakan untuk mengekstraksi parameter sinyal secara kuantitatif dari data citra spektrum, karena mampu menangkap karakteristik sinyal baik yang bersifat stasioner maupun non-stasioner [7]. Pendekatan *fusion* yang menggabungkan kedua representasi tersebut terbukti dapat meningkatkan akurasi klasifikasi sinyal dibandingkan penggunaan salah satu representasi saja [8]. Pendekatan ini menjadi penting khususnya ketika volume data citra yang dihasilkan sangat besar, sehingga parameter sinyal perlu diekstraksi secara konsisten dan akurat dari setiap citra yang terekam.

Salah satu parameter utama dalam evaluasi kualitas sinyal adalah *Signal-to-Noise Ratio* (SNR), yaitu rasio antara daya sinyal yang diterima terhadap tingkat derau (*noise floor*). Nilai SNR menjadi indikator penting dalam menentukan kualitas penerimaan, karena berhubungan langsung dengan kejelasan informasi yang

diterima serta keandalan sistem komunikasi nirkabel. Standar *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks* (TIPHON) dapat digunakan sebagai acuan untuk mempermudah interpretasi hasil pengukuran, dengan mengklasifikasikan kualitas sinyal ke dalam beberapa kategori berdasarkan rentang nilai SNR tertentu [9].

Penelitian terdahulu mengenai propagasi sinyal radio telah mengembangkan berbagai metode untuk memetakan dan menganalisis distribusi parameter RF berdasarkan lokasi geografis[10]. Kajian serupa umumnya masih terbatas pada titik observasi tunggal atau menggunakan perangkat pengukuran konvensional dengan biaya yang relatif tinggi. Penelitian sebelumnya umumnya memperoleh parameter RF secara langsung dari perangkat pengukuran atau SDR melalui data numerik atau IQ, sedangkan penelitian ini menggunakan citra antarmuka GQRX sebagai sumber data dan mengotomatisasi ekstraksi nilai power melalui teknik *computer vision* dan *Optical Character Recognition* (OCR). Pada penelitian ini, tampilan spektrum GQRX digunakan sebagai representasi visual untuk mengamati tingkat kekuatan sinyal dan derau (*noise floor*) yang diterima oleh RTL-SDR. Informasi tersebut dimanfaatkan sebagai dasar untuk menghitung nilai SNR dan mengklasifikasikan kualitas sinyal radio FM. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi alternatif metode evaluasi kualitas sinyal yang lebih sederhana, ekonomis, dan mudah direplikasi pada berbagai kondisi lingkungan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Lokasi Observasi

Pengambilan data dilakukan dengan pendekatan pengukuran berbasis lokasi pada rentang frekuensi siaran radio FM 88–108 MHz. Titik pusat yang digunakan sebagai acuan referensi dalam penelitian ini adalah Masjid Agung Palembang, yang dipilih karena posisinya yang relatif strategis dan berada di kawasan pusat Kota Palembang. Penentuan titik pusat tersebut menjadi dasar dalam menentukan seluruh titik observasi lainnya, sehingga konsistensi jarak dan arah pengukuran dapat dijaga sepanjang proses pengumpulan data.

Dari titik pusat tersebut, area pengamatan dibagi ke dalam empat arah mata angin, yakni Timur, Utara, Barat, dan Selatan. Pada masing-masing arah, dilakukan pengukuran dengan lima variasi jarak, yaitu 2 km, 4 km, 6 km, 8 km, dan 10 km, sehingga secara keseluruhan diperoleh 20 titik observasi yang tersebar di sekitar Kota Palembang. Pengambilan data dilaksanakan pada periode 13 Mei–13 Juni 2026, hanya pada kondisi cuaca cerah atau berawan, sehingga durasinya tidak genap satu bulan. Setiap titik observasi diukur pada hari yang berbeda, dengan tiga sesi perekaman per hari yaitu pukul 08.00–10.00, 11.00–12.00, dan 13.00–14.00, masing-masing berdurasi sekitar 3–4 menit. Pada seluruh sesi dan titik pengukuran, frekuensi yang direkam selalu mencakup rentang siaran radio FM 88–108 MHz secara konsisten. Variasi arah dan jarak ini dirancang untuk merepresentasikan kondisi lingkungan yang berbeda-beda, mengingat setiap arah memiliki karakteristik kontur geografis, kepadatan bangunan, dan vegetasi yang berbeda.

Pada setiap titik observasi, perangkat penerima difungsikan secara pasif untuk menangkap sinyal siaran radio FM yang dipancarkan oleh berbagai stasiun

pemancar di sekitar wilayah pengamatan, tanpa adanya pemancar khusus yang ditempatkan pada titik pusat. Dengan demikian, sinyal yang diterima pada setiap titik merupakan representasi kondisi nyata penerimaan siaran FM oleh masyarakat di wilayah tersebut, sehingga hasil pengukuran dapat menggambarkan performa distribusi siaran radio secara lebih objektif.

2.2. Kebutuhan Sistem

Penelitian ini menggunakan kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak yang saling terintegrasi, mulai dari tahap pengumpulan data di lapangan hingga tahap pengolahan data dan analisis di lingkungan komputasi. Perangkat keras utama yang digunakan adalah modul RTL-SDR sebagai penerima sinyal radio frekuensi, sedangkan perangkat lunak digunakan untuk merekam tampilan spektrum serta mengolah citra hasil rekaman menjadi data numerik yang dapat dianalisis. Rincian kebutuhan sistem yang digunakan pada penelitian ini disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan Sistem

No.	Nama Komponen	Kategori	Fungsi/Keterangan
1	RTL-SDR (RTL2832U)	Perangkat Keras	Modul <i>Software defined radio</i> sebagai penerima sinyal radio FM
2	Antena FM	Perangkat Keras	Menangkap sinyal radio pada rentang frekuensi 88–108 MHz
3	Laptop/Komputer	Perangkat Keras	Menjalankan perangkat lunak GQRX
4	GQRX	Perangkat Lunak	Menampilkan dan merekam spektrum serta tampilan waterfall sinyal FM
5	Google Colaboratory	Perangkat Lunak	Lingkungan komputasi berbasis cloud untuk menjalankan kode pengolahan data
6	OpenCV, Pillow	Pustaka Python	Pengolahan dan analisis citra spektrum
7	Tesseract OCR	Pustaka Python	Pembacaan nilai skala sumbu pada citra spektrum
8	NumPy, SciPy	Pustaka Python	Pengolahan data numerik dan deteksi puncak sinyal
9	Pandas, OpenPyXL	Pustaka Python	Manajemen dan penyimpanan data tabular hasil ekstraksi
10	Matplotlib, Seaborn	Pustaka Python	Visualisasi hasil analisis statistik

Seluruh kebutuhan sistem tersebut dipilih dengan mempertimbangkan kemudahan implementasi, biaya yang relatif rendah, serta ketersediaan dukungan komunitas yang luas, baik untuk perangkat keras RTL-SDR maupun pustaka-pustaka Python yang digunakan. Kombinasi perangkat tersebut memungkinkan proses pengumpulan dan pengolahan data dilakukan secara efisien tanpa memerlukan perangkat pengukuran konvensional yang umumnya memiliki biaya operasional jauh lebih tinggi.

2.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan Data dilakukan dengan merekam tampilan antarmuka GQRX secara penuh dalam bentuk video selama proses pengamatan berlangsung di setiap titik observasi, sehingga seluruh elemen tampilan seperti grafik spektrum, waterfall, pengaturan penerima serta indikator frekuensi turut terekam secara utuh. Pendekatan perekaman tampilan secara penuh ini dipilih agar informasi kontekstual seperti frekuensi yang sedang diamati, squelch, serta parameter penerimaan lainnya tetap dapat diverifikasi pada tahap pengolahan data selanjutnya. Pendekatan berbasis citra ini dipilih sebagai alternatif terhadap pengambilan data IQ atau nilai spektrum secara langsung dari GQRX, karena tujuan penelitian ini memang mengembangkan metode evaluasi kualitas sinyal yang murah, sederhana, dan mudah direplikasi menggunakan perangkat SDR entry-level tanpa memerlukan akses maupun kemampuan pemrograman untuk mengekstraksi data IQ secara langsung. Contoh tampilan antarmuka GQRX yang direkam pada salah satu titik observasi ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampilan antarmuka GQRX

Hasil rekaman video tersebut selanjutnya diekstraksi menjadi kumpulan citra statis dengan interval waktu pengambilan setiap 3 detik. Proses ekstraksi ini menghasilkan kumpulan data citra dalam jumlah besar yang merepresentasikan kondisi tampilan GQRX secara berkala pada masing-masing titik pengukuran, sehingga variasi kondisi sinyal dari waktu ke waktu dapat tertangkap dengan baik. Seluruh citra hasil ekstraksi kemudian dikelompokkan berdasarkan arah dan jarak pengukuran, sehingga struktur dataset tersusun dalam format folder sesuai kombinasi arah Utara, Timur, Selatan, Barat dan jarak 2 km, 4 km, 6 km, 8 km, dan 10 km, guna mempermudah proses pengolahan data pada tahap berikutnya.

2.4. Pengolahan Citra Spektrum

Citra hasil pengumpulan data kemudian diolah menggunakan teknik *image processing* untuk mengekstraksi informasi numerik dari tampilan grafis spektrum yang terekam pada setiap citra. Pengolahan ini diperlukan karena informasi sinyal yang ditampilkan oleh GQRX berbentuk visual, sehingga perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi data kuantitatif sebelum dapat dianalisis lebih lanjut. Tahapan pengolahan citra spektrum dilakukan secara berurutan melalui beberapa langkah sebagai berikut.

1. Deteksi panel spektrum. Citra dikonversi terlebih dahulu ke dalam skala keabuan (grayscale), kemudian dilakukan analisis intensitas piksel pada setiap baris dan kolom citra untuk mengidentifikasi wilayah dengan intensitas rendah secara konsisten sebagai batas area grafik spektrum. Hasil dari tahap ini berupa koordinat panel yang membatasi area kurva spektrum dari elemen antarmuka lainnya pada citra.
2. Pembacaan skala sumbu daya. Nilai batas atas dan batas bawah sumbu daya (dB) pada citra dibaca secara otomatis menggunakan teknik *Optical Character Recognition* (OCR) dengan pustaka Tesseract. Apabila proses OCR tidak berhasil membaca nilai skala secara akurat, digunakan nilai skala bawaan (default) sebagai cadangan agar proses pengolahan tetap dapat dilanjutkan.
3. Ekstraksi kurva sinyal. Posisi piksel pada setiap kolom di dalam area panel spektrum ditelusuri untuk menentukan posisi vertikal kurva sinyal, kemudian posisi tersebut dikonversi ke dalam nilai daya (dB) berdasarkan skala sumbu yang telah didapatkan di tahap sebelumnya. Proses ini menghasilkan deret nilai daya sinyal yang merepresentasikan bentuk kurva spektrum secara utuh sepanjang rentang frekuensi yang teramati.
4. Penghalusan kurva. Deret nilai daya hasil ekstraksi dihaluskan menggunakan filter Gaussian untuk mengurangi derau piksel yang tidak relevan akibat kualitas citra maupun proses kompresi video. Penghalusan ini bertujuan agar pola puncak sinyal dapat dikenali secara lebih jelas dan stabil pada tahap deteksi sinyal selanjutnya.
5. Validasi hasil ekstraksi. Kurva yang telah dihaluskan diperiksa kembali untuk memastikan jumlah titik data yang valid mencukupi sebelum dilanjutkan ke tahap deteksi puncak sinyal. Citra yang tidak memenuhi kriteria validasi, misalnya akibat panel spektrum yang gagal terdeteksi, dicatat sebagai data dengan keterangan kesalahan agar tidak memengaruhi hasil analisis secara keseluruhan.

2.5. Perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR)

Identifikasi puncak sinyal pada kurva spektrum yang telah dihaluskan dilakukan menggunakan metode deteksi puncak berdasarkan tiga kriteria utama, yaitu ketinggian puncak terhadap level derau, tingkat keterlihatan puncak terhadap kurva di sekitarnya, serta jarak minimum antar-puncak. Pada setiap puncak yang terdeteksi, ditentukan lebar pita sinyal dengan menelusuri titik di sisi kiri dan kanan puncak hingga nilai daya turun mendekati level derau latar. Nilai level derau latar tersebut diperoleh dengan menghitung persentil ke-25 dari distribusi nilai daya pada kurva spektrum, kemudian dijadikan dasar perhitungan SNR sebagaimana dirumuskan persamaan berikut.

$$SNR = \frac{P_{sinyal}}{P_{derau}} \quad (1)$$

Pada persamaan tersebut, P_{sinyal} menyatakan nilai puncak daya sinyal yang terdeteksi, sedangkan P_{derau} menyatakan nilai level derau latar di sekitar sinyal tersebut. Semakin besar nilai SNR yang dihasilkan, semakin baik pula kualitas

penerimaan sinyal yang bersangkutan. Sinyal dengan nilai SNR di bawah ambang batas minimum yang telah ditetapkan tidak diikutsertakan dalam analisis, agar tidak memengaruhi hasil perhitungan pada tahap klasifikasi berikutnya.

2.6. Klasifikasi Kualitas Sinyal

Nilai SNR yang telah diperoleh dari setiap citra selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk mengklasifikasikan kualitas penerimaan sinyal radio FM. Klasifikasi dilakukan berdasarkan standar *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks* (TIPHON), yang mengelompokkan kualitas sinyal ke dalam lima kategori berdasarkan rentang nilai SNR tertentu, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Standar SNR TIPHON

Kategori	SNR (dB)
<i>Outstanding</i>	> 29
<i>Excellent</i>	20.0 s/d 28.9
<i>Good</i>	11.0 s/d 19.9
<i>Fair</i>	7.0 s/d 10.9
<i>Bad</i>	< 6.9

Kategori *Outstanding* dan *Excellent* menunjukkan kualitas penerimaan sinyal yang sangat baik, kategori *Good* masih cukup baik untuk didengarkan secara normal, sedangkan kategori *Fair* dan *Bad* menandakan kualitas penerimaan yang mulai menurun hingga buruk. Proses klasifikasi ini diterapkan secara otomatis terhadap seluruh data SNR dari setiap citra, kemudian dikelompokkan berdasarkan arah dan jarak pengukuran sebagai dasar bagi tahap analisis statistik dan visualisasi data pada bagian Hasil dan Pembahasan.

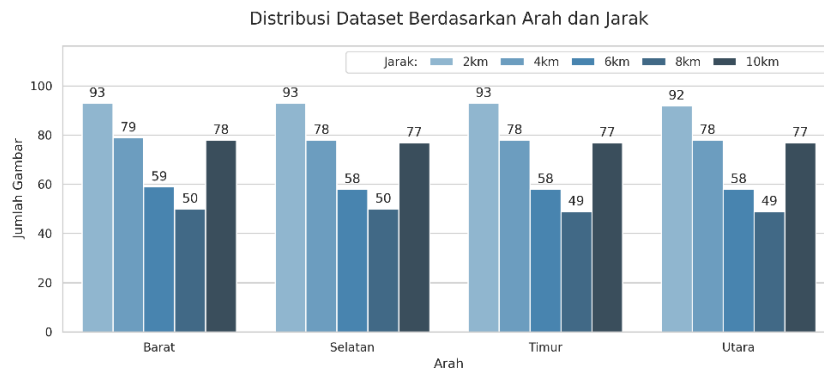
2. 7 Analisis Peta Literatur

Pemetaan perkembangan penelitian yang relevan dengan topik ini dilakukan melalui kajian literatur berbasis analisis bibliometrik menggunakan peta jaringan kata kunci (*keyword network map*). Pencarian literatur dilakukan pada tanggal 18–20 Juni 2026 melalui *database* Google Scholar dan IEEE Xplore, dengan rentang tahun publikasi 2015–2026, menghasilkan 140 dokumen yang selanjutnya dianalisis menggunakan perangkat lunak VOSviewer dengan threshold minimum occurrence sebesar 6. Dari seluruh istilah yang teridentifikasi, dilakukan seleksi manual untuk mempertahankan istilah yang secara tematik relevan dengan topik penelitian seperti *sdr*, *sensing*, *computer vision*, dan *snr*, sementara istilah umum yang tidak spesifik terhadap domain penelitian seperti *issue*, *trend*, dan *methodology* dikeluarkan dari visualisasi akhir. Visualisasi jaringan pada Gambar 2 menggambarkan keterkaitan antar konsep kunci yang dominan muncul dalam literatur terkait evaluasi kualitas sinyal, pengolahan citra spektrum, *spectrum sensing*, serta pemanfaatan perangkat *Software defined radio*. Setiap simpul pada peta jaringan merepresentasikan sebuah kata kunci, sedangkan ukuran simpul mencerminkan frekuensi kemunculannya dalam literatur, dan garis penghubung menunjukkan tingkat kekuatan asosiasi antar kata kunci tersebut.



3.1 Dataset Observasi

890



Gambar 3. Distribusi Dataset Berdasarkan Arah dan Jarak

Berdasarkan Gambar 3, total keseluruhan dataset yang berhasil dikumpulkan berjumlah 1.424 citra dari 20 titik observasi. Perlu ditegaskan bahwa unit analisis spasial dalam penelitian ini adalah 20 titik observasi tersebut, sedangkan 1.424 citra merupakan *repeated observations* pada masing-masing titik akibat proses ekstraksi video dengan interval waktu 3 detik, sehingga citra-citra tersebut tidak dapat diperlakukan sebagai 1.424 observasi lapangan yang independen secara statistik. Jumlah citra terbanyak terdapat pada jarak 2 km di seluruh arah pengukuran dengan kisaran 92–93 citra per titik, sedangkan jumlah paling sedikit terdapat pada jarak 8 km dengan kisaran 49–50 citra per titik. Distribusi jumlah citra yang relatif merata antar arah menunjukkan bahwa proses pengumpulan data telah dilaksanakan secara konsisten di seluruh titik observasi, sehingga perbandingan hasil analisis antar arah maupun antar jarak dapat dilakukan secara objektif tanpa bias yang signifikan akibat ketidakseimbangan jumlah sampel.

3.2 Ekstraksi Parameter Sinyal

Setiap citra spektrum diproses secara otomatis melalui serangkaian tahapan pengolahan citra guna mengekstraksi parameter sinyal yang diperlukan dalam perhitungan nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR). Sistem secara berurutan menjalankan proses deteksi area panel spektrum, pembacaan skala sumbu daya melalui *Optical Character Recognition* (OCR), ekstraksi kurva sinyal berdasarkan posisi piksel, penghalusan kurva menggunakan filter Gaussian, hingga identifikasi puncak-puncak sinyal yang memenuhi ambang batas deteksi yang telah ditetapkan. Nilai skala daya yang terbaca melalui OCR digunakan sebagai acuan untuk mengonversi posisi piksel pada sumbu vertikal citra menjadi nilai daya dalam satuan dBFS, sehingga setiap titik pada kurva sinyal hasil ekstraksi dapat dipetakan secara proporsional terhadap rentang skala aktual yang ditampilkan pada panel spektrum GQRX. Keluaran dari proses tersebut berupa nilai *peak signal* (dBFS), nilai *peak noise* (dBFS), dan nilai SNR (dB) beserta kategori kualitasnya untuk setiap sinyal yang terdeteksi dalam satu citra. Contoh hasil anotasi proses deteksi sinyal pada salah satu citra ditampilkan pada Gambar 4.

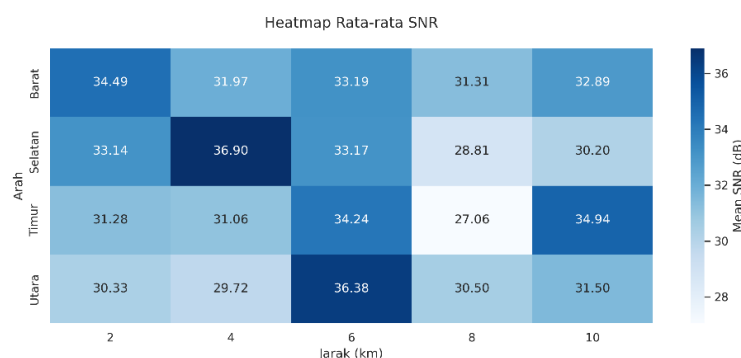


Gambar 4. Hasil Anotasi Deteksi Sinyal

Gambar 4 menampilkan hasil deteksi pada citra yang diperoleh dari titik observasi Timur-2 km, di mana sistem berhasil mengidentifikasi dua puncak sinyal secara simultan dalam satu citra. Sinyal pertama (#1) terdeteksi pada frekuensi 104,0 MHz dengan nilai *peak signal* -35,27 dBFS, *peak noise* -65,33 dBFS, dan SNR 30,06 dB sehingga diklasifikasikan ke dalam kategori *Outstanding*. Sinyal kedua (#2) terdeteksi pada frekuensi 104,8 MHz dengan nilai *peak signal* -36,40 dBFS, *peak noise* -65,33 dBFS, dan SNR 28,93 dB yang diklasifikasikan ke dalam kategori *Excellent*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pendekatan pengolahan citra yang diterapkan mampu mengekstraksi parameter sinyal secara akurat dari satu citra sekaligus, sehingga seluruh sinyal FM yang aktif dalam rentang frekuensi pengamatan dapat teridentifikasi tanpa pemilihan frekuensi secara manual.

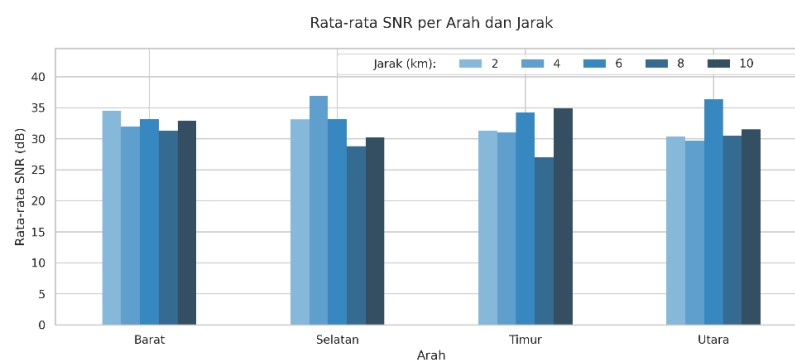
3.3 Karakteristik SNR

Analisis karakteristik SNR dilakukan untuk mengidentifikasi pola distribusi kualitas sinyal secara spasial berdasarkan kombinasi variabel arah dan jarak pengukuran dari titik pusat observasi. Nilai rata-rata SNR dihitung dari seluruh sinyal yang terdeteksi pada setiap titik observasi selama periode pengamatan, kemudian dipetakan secara visual untuk memudahkan identifikasi pola distribusi yang terjadi. Pendekatan analisis spasial ini dipilih agar pengaruh faktor arah dan jarak terhadap kualitas penerimaan sinyal dapat diamati secara komprehensif dan terstruktur. Gambaran menyeluruh mengenai nilai rata-rata SNR pada setiap kombinasi arah dan jarak ditampilkan dalam bentuk heatmap pada Gambar 5.



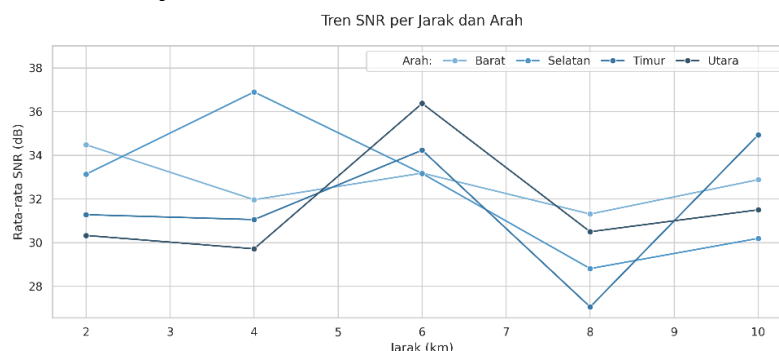
Gambar 5. Heatmap Rata-rata SNR

Berdasarkan Gambar 5, nilai rata-rata SNR dari seluruh titik observasi berada pada rentang 27,06 dB hingga 36,90 dB, dengan nilai terendah diperoleh pada titik Timur-8 km dan nilai tertinggi pada titik Selatan-4 km. Pola distribusi yang tampak pada heatmap memperlihatkan bahwa penurunan nilai SNR tidak terjadi secara linier dan seragam seiring pertambahan jarak, melainkan bervariasi secara signifikan bergantung pada arah pengukuran yang diamati. Variasi spasial tersebut mengindikasikan bahwa kondisi lingkungan pada masing-masing arah, seperti kontur geografis, kepadatan bangunan, dan karakteristik vegetasi, memberikan pengaruh yang berbeda-beda terhadap nilai SNR yang diperoleh. Perbandingan nilai rata-rata SNR antar arah dan jarak secara lebih terperinci selanjutnya ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Rata-rata SNR per Arah dan Jarak

Berdasarkan Gambar 6, arah Barat menunjukkan profil SNR yang paling stabil di antara keempat arah pengukuran, dengan nilai berkisar antara 31,31–34,49 dB tanpa fluktuasi yang ekstrem pada jarak mana pun. Arah Selatan mencatat nilai SNR tertinggi secara keseluruhan pada jarak 4 km sebesar 36,90 dB, namun mengalami penurunan paling tajam pada jarak 8 km menjadi 28,81 dB, yang diduga dipengaruhi oleh kepadatan bangunan atau penghalang fisik pada kawasan tersebut. Arah Timur memperlihatkan fluktuasi paling besar, yakni dari nilai minimum 27,06 dB pada jarak 8 km hingga nilai maksimum 34,94 dB pada jarak 10 km, sementara arah Utara secara umum menunjukkan nilai rata-rata paling rendah pada jarak-jarak dekat namun mencapai puncaknya sebesar 36,38 dB pada jarak 6 km. Dinamika variasi SNR antar titik observasi tersebut ditampilkan lebih lanjut melalui visualisasi tren pada Gambar 7.



Gambar 7. Tren SNR per Jarak dan Arah

Gambar 7 mempertegas bahwa tren nilai SNR pada seluruh arah pengukuran bersifat fluktuatif dan tidak monoton terhadap pertambahan jarak dari 2 km hingga 10 km. Tidak terdapat satu pun arah yang secara konsisten memperlihatkan penurunan nilai SNR yang berkelanjutan seiring bertambahnya jarak dari titik pusat observasi. Kondisi ini sejalan dengan karakteristik propagasi gelombang radio FM di lingkungan perkotaan, di mana fenomena multipath propagation, refleksi sinyal dari permukaan gedung, serta variasi ketinggian kontur wilayah dapat menyebabkan fluktuasi level sinyal yang tidak beraturan pada berbagai titik penerimaan. Temuan ini mengindikasikan bahwa faktor karakteristik lingkungan memberikan pengaruh yang lebih dominan terhadap variasi nilai SNR dibandingkan faktor jarak semata dalam konteks wilayah pengamatan penelitian ini.

3.4 Klasifikasi Kualitas Sinyal

Nilai rata-rata SNR yang diperoleh dari setiap titik observasi selanjutnya diklasifikasikan ke dalam kategori kualitas sinyal sesuai dengan standar *Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks* (TIPHON). Penentuan kategori dominan pada setiap titik dilakukan berdasarkan kategori dengan frekuensi kemunculan tertinggi dari keseluruhan sinyal yang terdeteksi selama periode pengamatan berlangsung pada titik yang bersangkutan. Pendekatan klasifikasi berbasis kategori dominan ini dipilih agar hasil yang diperoleh lebih merepresentasikan kondisi umum penerimaan sinyal di setiap titik, bukan sekadar kondisi sesaat. Hasil pemetaan kategori kualitas dominan pada seluruh 20 titik observasi ditampilkan pada Gambar 8.

Kategori Kualitas Sinyal

Arah	Barat	Outstanding	Outstanding	Outstanding	Outstanding	Outstanding
	Selatan	Outstanding	Outstanding	Outstanding	Excellent	Outstanding
	Timur	Outstanding	Outstanding	Outstanding	Excellent	Outstanding
	Utara	Outstanding	Outstanding	Outstanding	Outstanding	Outstanding
		2 km	4 km	6 km	8 km	10 km
		Jarak				

Gambar 8. Pemetaan Kategori Kualitas Sinyal

Berdasarkan Gambar 8, dari 20 titik observasi yang diamati, sebanyak 18 titik memperoleh kategori dominan *Outstanding* dan 2 titik memperoleh kategori *Excellent*, masing-masing pada titik Selatan-8 km dan Timur-8 km, sedangkan tidak terdapat satu pun titik yang masuk ke dalam kategori *Good*, *Fair*, maupun *Bad*. Hasil tersebut konsisten dengan temuan pada analisis karakteristik SNR sebelumnya, di mana jarak 8 km pada arah Selatan dan Timur memang mencatat nilai rata-rata SNR paling rendah di antara seluruh kombinasi arah dan jarak yang diukur. Secara keseluruhan, dominasi kategori *Outstanding* pada hampir seluruh wilayah pengamatan mengindikasikan bahwa infrastruktur pemancar radio FM di wilayah Kota Palembang dan sekitarnya memiliki kapasitas daya pancar yang memadai untuk melayani area dalam radius 10 km dari pusat kota dengan kualitas

penerimaan yang sangat baik. Hasil ini sekaligus menunjukkan bahwa efektivitas pendekatan pengolahan citra spektrum berbasis RTL-SDR dan GQRX sebagai metode evaluasi kualitas sinyal yang andal, ekonomis, dan dapat direplikasi pada berbagai kondisi lingkungan.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan metode evaluasi kualitas sinyal radio FM berbasis pengolahan citra spektrum yang ditangkap melalui perangkat lunak GQRX dan modul RTL-SDR pada 20 titik observasi yang tersebar di empat arah mata angin dan lima variasi jarak di sekitar Kota Palembang. Hasil pengolahan terhadap 1.424 citra spektrum menunjukkan bahwa nilai rata-rata SNR pada seluruh titik observasi berkisar antara 27,06 dB hingga 36,90 dB, dengan pola distribusi yang fluktuatif dan tidak menurun secara linier seiring bertambahnya jarak dari titik pusat. Variasi tersebut mengindikasikan bahwa faktor kondisi lingkungan, seperti kontur geografis, kepadatan bangunan, dan fenomena multipath propagation, memberikan pengaruh yang lebih dominan terhadap kualitas penerimaan sinyal dibandingkan faktor jarak semata. Berdasarkan klasifikasi standar TIPHON, dari 20 titik observasi yang diamati, sebanyak 18 titik memperoleh kategori dominan *Outstanding* dan 2 titik memperoleh kategori *Excellent*, yaitu pada titik Selatan-8 km dan Timur-8 km, sedangkan tidak terdapat satu pun titik yang masuk ke dalam kategori *Good*, *Fair*, maupun *Bad*. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa infrastruktur pemancar radio FM di wilayah Kota Palembang dan sekitarnya memiliki kapasitas daya pancar yang memadai untuk melayani area dalam radius 10 km dari pusat kota dengan kualitas penerimaan yang sangat baik. Secara keseluruhan, pendekatan pengolahan citra spektrum berbasis RTL-SDR dan GQRX menunjukkan hasil yang efektif, ekonomis, dan mudah direplikasi sebagai alternatif metode evaluasi kualitas sinyal radio FM dibandingkan penggunaan perangkat ukur konvensional. Penelitian lanjutan disarankan untuk menambah jumlah titik observasi, mempertimbangkan variasi waktu pengukuran, serta menerapkan pendekatan serupa pada jenis layanan komunikasi nirkabel lainnya guna memperkuat generalisasi hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. P. Fitriani, D. Sriastuti, D. Rifki, M. R. Yunara, and A. Aripin, "Analisis Pengaruh Jarak Terhadap Kekuatan dan Stabilitas Sinyal Wifi di Area Gedung Kampus," *TAMIKA: Jurnal Tugas Akhir Manajemen Informatika & Komputerisasi Akuntansi*, vol. 5, no. 2, pp. 386–393, Dec. 2025, doi: 10.46880/tamika.Vol5No2.pp386-393.
- [2] B. Nursakinah, K. Syafitri, M. A. Wijaya, and F. Fahlapi, "Analisis Pengaruh Jarak dan Transmisi Data Jaringan Nirkabel Dengan Menggunakan Metode signal To-Noise Ratio (SNR)," *JUTECH: Journal Education and Technology*, vol. 6, no. 1, pp. 183–197, Jun. 2025, doi: 10.31932/jutech.v6i1.4955.
- [3] P. Bentar Fawwaz *et al.*, "Pengembangan *Spectrum analyzer* Berbasis GNU Radio pada perangkat SDR dengan WebSocket," in *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro*, 2025.
- [4] X. Kang, G. Chen, K.-C. Chang, and T. M. Clemons, "Optimal Preprocessing for Joint Detection and Classification of Wireless Communication Signals in

- Congested Spectrum Using *Computer vision Methods*,” *arXiv preprint*, Aug. 2024, doi: 10.48550/arXiv.2408.06545.
- [5] X. Kang, G. Chen, K.-C. Chang, and T. M. Clemons, “Joint Detection and Classification of Communication and Radar Signals in Congested RF Environments Using YOLOv8,” *arXiv preprint*, Jun. 2024, doi: 10.48550/arXiv.2406.00582.
- [6] E. Casmin and R. Oliveira, “Survey on Context-Aware Radio Frequency-Based Sensing,” *Sensors*, vol. 25, no. 3, Feb. 2025, doi: 10.3390/s25030602.
- [7] D. T. Phan, T. A. Huynh, V. T. Pham, C. M. Tran, V. T. Mai, and N. Q. Tran, “Optimal Scalogram for Computational Complexity Reduction in Acoustic Recognition Using *Deep learning*,” *arXiv preprint*, Nov. 2025, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2505.13017>
- [8] H. M. Abdulhussein, M. Valizadeh, and M. Chehel Amiran, “Deep Feature Fusion from Spectrogram and Scalogram for Enhanced RFI Classification,” *JISEM: Journal of Information Systems Engineering and Management*, vol. 2025, no. 49s, pp. 2468–4376, 2024, doi: 10.52783/jisem.v10i49s.10102.
- [9] T. I. Safitri *et al.*, “Analisis QoS Menggunakan Standar TIPHON pada Jaringan Wi-Fi SMK Dharma Bahari Surabaya,” *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*, vol. 4, no. 4, pp. 2433–2443, Dec. 2025, doi: 10.31004/riggs.v4i4.3906.
- [10] B. Feng, M. Zheng, W. Liang, and L. Zhang, “A Recent Survey on Radio Map Estimation Methods for Wireless Networks,” *Electronics*, vol. 14, no. 8, Apr. 2025, doi: 10.3390/electronics14081564.