ANALISIS SPEKTRUM FREKUENSI ISYARAT TERIMA DVB-T2

Nifty Fath
Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Budi Luhur, Jakarta, 12260
e-mail : nifty.fath@budiluhur.ac.id

ABSTRACT - DVB-T2, the television broadcasting system, is one of the wireless communication systems which uses air as the transmission channel. An ideal channel communication has some characteristics, such as unlimited bandwidth and flat frequency response. However, the real channel characteristic is frequency selective fading due to multipath effect. The purpose of this research is investigate the effect of multipath toward signal frequency response of DVB-T2, by using S_{fm} (spectral frequency measurement) and signal condition as the parameters for observation. The results showed that, the signal is better when the frequency spectrum is flatter (S_{fm} value is nearer to 1). For example, in the system with 64 QAM, the BEP (Bit Error Probability) is 0.4366 for S_{fm} = 0.5544, and the BEP is 0.4366 for S_{fm} = 0.977. It also found that the frequency spectrum becomes bumpier when the numbers of multipath components increase. For example, the S_{fm} is 0.9777 for K = 40, on the other hand, S_{fm} is 0.5967 for K = 1. Lastly, the observation shows that the frequency spectrum become flatter when less obstacle exists around the receiver antenna. For example, the S_{fm} is 0.9769 when rooftop antenna was used, on the other hand, the S_{fm} is 0.7442 when indoor portable omnidirectional antenna was used.
Keywords : multipath, spectral frequency measurement, DVB-T2, Rician factor

ABSTRAK - Sistem penyiaran televisi digital DVB-T2 (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial* 2) merupakan salah satu sistem komunikasi nirkabel yang menggunakan udara sebagai kanal transmisi. Kanal komunikasi ideal memiliki beberapa sifat yaitu lebar pita yang tidak terbatas serta tanggapan frekuensi yang rata. Pada kenyatannya, kanal komunikasi di lapangan menggunakan media udara memiliki karakteristik pudaran selektif frekuensi akibat lintasan jamak. Untuk itu, penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pengaruh lintasan jamak terhadap tanggapan frekuensi sinyal DVB-T2 dengan parameter yang diamati adalah kerataan spektrum (S_{fm}) dan kondisi isyarat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, semakin rata spektrum frekuensi, maka semakin baik isyarat. Misal, pada 64 QAM, saat nilai S_{fm} = 0,5544, BEP yang dihasilkan adalah 0,4366, sedangkan saat nilai S_{fm} = 0,9777, BEP yang dihasilkan adalah 0,1955. Kemudian, semakin parah lintasan jamak, maka spektrum frekuensi semakin tidak rata. Misal, saat nilai K = 1, S_{fm} yang dihasilkan adalah 0,5967, sedangkan saat K = 40, S_{fm} yang dihasilkan adalah 0,9777. Semakin lapang kondisi lingkungan di sekitar antena penerima, maka spektrum frekuensi semakin rata. Misal, saat menggunakan antena *rooftop*, S_{fm} yang dihasilkan adalah 0,9769, sedangkan saat menggunakan antena indoor *portable omnidirectional*, Sfm yang dihasilkan adalah 0,7442.
Kata kunci : lintasan jamak, kerataan spektrum, DVB-T2, faktor Rician

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan manusia terhadap teknologi telekomunikasi saat ini sudah sangat tinggi, salah satunya di bidang penyiaran televisi. Dari tahun ke tahun, semakin banyak stasiun televisi yang didirikan sehingga menyebabkan semakin meningkatnya kebutuhan akan kanal frekuensi. Mengingat jumlah kanal frekuensi yang tersedia bersifat terbatas, maka diperlukan sebuah langkah efisiensi kanal frekuensi yaitu dengan mengembangkan teknologi penyiaran televisi secara digital. Standar DVB-T2 (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial* 2) yang dikembangkan oleh DVB (*Digital Video Broadcasting*) merupakan salah satu standar televisi digital terestrial generasi kedua setelah standar DVB-T (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial*).

Sistem penyiaran televisi DVB-T2 merupakan salah satu sistem komunikasi nirkabel yang menggunakan udara sebagai kanal transmisi, sehingga terdapat obyek-obyek yang berada di antara antena pemancar dan penerima. Sinyal yang terkirim mengalami pantulan, difraksi, dan pudaran oleh obyek-obyek tersebut. Akibatnya, sinyal informasi yang dikirim tidak menempuh lintasan tunggal, melainkan menempuh lintasan jamak sehingga sinyal mengalami penyusutan serta variasi waktu tunda. Variasi waktu tunda dapat mengakibatkan sinyal yang tiba di penerima saling menguatkan atau melemahkan.

Kanal komunikasi ideal memiliki beberapa sifat yaitu lebar pita yang tidak terbatas serta tanggapan frekuensi yang rata. Pada kenyatannya, kanal komunikasi yang menggunakan media udara memiliki karakteristik pudaran frekuensi, yaitu terdapat sinyal yang terlemahkan pada frekuensi tertentu sebagai akibat dari kanal lintasan jamak. Hal ini tentu saja akan memperburuk kualitas sinyal yang sampai di penerima.

Untuk itu, penelitian ini dilakukan guna mengetahui pengaruh lintasan jamak terhadap tanggapan frekuensi sinyal DVB-T2 menggunakan *spectrum analyzer*. Dalam penelitian ini, terdapat dua metode utama yang digunakan, yaitu simulasi dan eksperimen. Pertama, dilakukan simulasi tanggapan frekuensi kanal DVB-T2 dengan perangkat lunak. Kedua, dilakukan eksperimen untuk mengamati spektrum frekuensi DVB-T2 pada kondisi sesungguhnya dengan perangkat DVB-T2 Dongle. Dengan mengamati spektrum frekuensi, dapat diperoleh informasi mengenai kanal lintasan jamak DVB-T2.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 DVB-T2

Teknologi DVB-T (*Digital Video Broadcasting-Terrestrial*) merupakan sebuah sistem transmisi penyiaran televisi teresterial yang dikembangkan oleh DVB (*Digital Video Broadcasting*). DVB merupakan sebuah paket standar sistem televisi digital yang sudah diakui secara internasional. DVB-T pertama kali dipublikasikan pada tahun 1995. Seiring dengan bertambahnya kebutuhan akan spektrum frekuensi di bidang penyiaran, maka efisiensi spektrum semakin ditingkatkan. Oleh karena itu, sejak tahun 2006, DVB *Project* mengembangkan sebuah proyek yaitu standar DVB-T generasi kedua yang disebut DVB-T2. Standar DVB-T2 pertama kali dipublikasikan oleh ETSI dalam standar EN 302 755 [1] pada tahun 2009 [2].

Dalam sistem DVB-T2, penerima dapat bersifat tetap (*stationary*), berpindah (*portable*), atau bergerak (*mobile*). Pada posisi tetap, antena bersifat tetap, misalnya antena *rooftop.* Pada posisi berpindah, antena dapat berada di dalam maupun di luar bangunan dengan pergerakan yang sangat sedikit. Pada posisi bergerak, penerima bergerak dalam kecepatan tertentu, misal antena berada dalam mobil, bis, atau kereta [3]. Mobilitas penerima, terlebih lagi teknologi DVB yang menggunakan udara sebagai media transmisi, akan berdampak pada kondisi kanal yang juga turut berubah-ubah, sehingga akan mempengaruhi kualitas sinyal di penerima.

2.2 Pudaran Lintasan Jamak

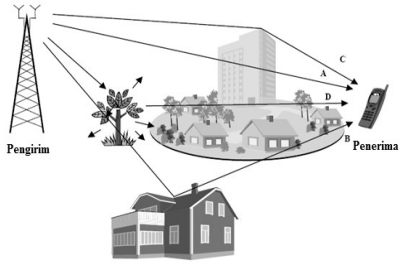
Kanal dimaksudkan sebagai medium yang berada di antara antena pemancar dan antena penerima. Karakteristik sinyal yang ditransmisikan melalui nirkabel akan berubah sampai di antena penerima, bergantung pada jarak antara kedua antena, jalur yang dilewati oleh sinyal, dan lingkungan (obyek-obyek) yang berada di jalur transmisi.

Profil sinyal yang diterima dari antena pemancar dapat diperoleh apabila tersedia sebuah model medium itu. Spektrum sinyal yang diterima, $Y(f)$, dapat diperoleh dari mengkonvolusi sinyal terkirim, $X(f)$, dengan tanggapan denyut kanal [4], yakni

$$Y(f) = H(f)X(f) + N(f) \quad (1)$$

dengan $H(f)$ adalah tanggapan frekuensi kanal dan $N(f)$ adalah sinyal derau dalam ranah frekuensi.

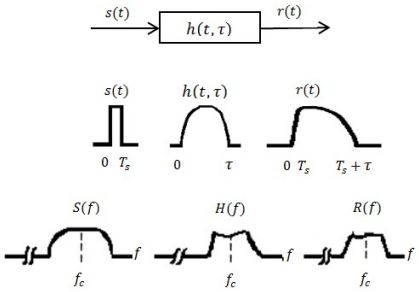
Ketika terdapat obyek-obyek (misal pepohonan dan bangunan) yang menghalangi jalur transmisi sinyal dari pemancar ke penerima, seperti yang terlihat pada Gambar 1, maka sinyal akan mengalami pantulan, lenturan, dan hamburan. Hal ini menyebabkan adanya daya terkirim yang hilang, disebut juga rugi lintasan.



Gambar 1. Ilustrasi propagasi lintasan jamak [5].

Apabila sinyal pantulan memiliki jalur yang berbeda-beda, maka sinyal yang tiba di antena penerima akan memiliki waktu tunda, perbedaan magnitude, dan perbedaan fase. Sinyal-sinyal yang sampai di penerima dapat saling menguatkan (konstruktif) atau saling mengurangkan (destruktif), bergantung pada perbedaan fasenya. Efek ini disebut pudaran lintasan jamak. Pudaran lintasan jamak berdasarkan persebaran waktu tunda dibedakan menjadi pudaran frekuensi selektif dan pudaran frekuensi rata.

Gambar 2 merupakan ilustrasi karakteristik kanal pudaran frekuensi selektif. Dalam kawasan waktu, $s(t)$ adalah sinyal yang dikirim, $h(t,\tau)$ adalah tanggapan kanal, dan $r(t)$ adalah sinyal yang diterima. Dalam kawasan frekuensi, $S(f)$ adalah spektrum frekuensi sinyal yang dikirim, $H(f)$ adalah tanggapan kanal frekuensi, dan $R(f)$ adalah spektrum frekuensi sinyal yang diterima.



Gambar 2. Karakteristik kanal pudaran frekuensi selektif [4].

Sinyal yang dikirim ($s(t)$) melewati kanal lintasan jamak. Dalam kawasan waktu, sinyal yang diterima ($r(t)$) akan mengalami persebaran waktu tunda. Waktu tunda yang memiliki nilai mendekati atau melebihi periode simbol dari simbol yang dikirimkan mampu menyebabkan dispersi waktu sehingga terjadi *intersymbol interference* (ISI). Persebaran waktu tunda juga dapat mempengaruhi nilai pesat galat bit (*Bit Error Rate,* BER). Dalam kawasan frekuensi, terlihat bahwa terdapat magnitude yang terlemahkan di komponen frekuensi tertentu pada spektrum sinyal yang diterima ($R(f)$) sebagai akibat dari kanal lintasan jamak. Hal ini disebut juga dengan pudaran frekuensi selektif [4].

Kanal pudaran frekuensi selektif akibat lintasan jamak selalu berubah setiap waktu. Oleh karena itu, dilakukan pengamatan dan pengukuran pada kanal bidang lebar lintasan jamak untuk kemudian dibuat pemodelan berdasarkan hasil pengukuran tersebut [4].

Sistem DVB-T2 merupakan salah satu sistem telekomunikasi nirkabel sehingga fenomena lintasan jamak tidak dapat ditanggulangi. Telah dilakukan beberapa penelitian terkait pengaruh lintasan jamak terhadap sistem televisi digital, baik secara simulasi maupun eksperimental [6], [7]. Analisis terhadap kualitas sinyal penerima dilakukan saat penerima berada di dalam ruangan tertutup dan lingkungan terbuka. Dalam dua kondisi tersebut, efek lintasan jamak tidak dapat dihindari, terlebih saat penerima berada di dalam ruangan tertutup.

Pada saat penerima berada di ruangan tertutup, maka kemungkinan adanya lintasan jamak akan semakin tinggi jika dibandingkan dengan penerima berada di luar ruangan. Hal ini dikarenakan, pada umumnya, di ruangan tertutup terdapat obyek-obyek di sekitar antena penerima yang sangat bervariasi, misal dinding atau jendela. Obyek-obyek tersebut menjadi penghalang antara antena pengirim dan antena penerima. Banyaknya variasi obyek-obyek di sekitar antena penerima menyebabkan analisis lintasan jamak di ruangan tertutup menjadi rumit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ada atau tidaknya orang yang berada di sekitar antena penerima juga cukup berpengaruh terhadap sinyal yang diterima. Semakin banyak orang di dekat penerima, maka akan mengakibatkan pudaran yang sangat dalam (*deep fades*) pada tanggapan frekuensi kanal [6].

Pada saat penerima berada di lingkungan terbuka, pudaran juga dapat diakibatkan oleh kendaraan yang bergerak di sekitar antena penerima. Bergeraknya kendaraan di sekitar penerima dapat mengakibatkan pudaran hingga 8 dB terhadap level median sinyal yang diterima [7]. Dari beberapa penelitian tersebut, terbukti bahwa efek lintasan jamak sangat mempengaruhi kualitas sinyal yang diterima, terlebih jika terjadi pudaran yang sangat dalam.

2.3 Pemodelan Kanal DVB-T2 Standar ETSI

Dalam kondisi lintasan jamak, kanal dikarakteristikkan sebagai tanggapan denyut [4]. Sebuah denyut yang dikirim pemancar menghasilkan runtun yang disusun oleh denyut teratenuasi, tertunda waktu, dan tergeser fase pada setiap lintasan. Tanggapan denyut tak berubah waktu dinyatakan sebagai

$$h_c(t,\tau) - \sum_{i=0}^{N-1} \rho_n e^{-j\theta_n} \delta(t-\tau_n) \qquad (2)$$

dengan N adalah jumlah lintasan jamak dalam suatu kanal, ρ_n adalah magnitude pada lintasan ke-n, θ_n adalah perbedaan fase antara lintasan garis pandang (*Line of Sight,* LOS) dengan lintasan sinyal yang terpantulkan pada lintasan ke-n, dan τ_n adalah waktu tunda propagasi sinyal pada lintasan ke-n. Pada persamaan (2) diasumsikan bahwa lintasan ke-nol (ρ_0) adalah lintasan LOS, dengan nilai $\theta_n = 0^o$ [8]. Untuk mengetahui karakteristik kanal di ranah frekuensi, maka dilakukan alih ragam Fourier terhadap tanggapan denyut, persamaan (2) sehingga diperoleh tanggapan frekuensi kanal sebagai

$$H_c(f) = \sum_{n=0}^{N-1} \rho_n e^{-j\theta_n} e^{-j2\pi f\tau} \qquad (3)$$

ETSI TR 101 290 [9] menyediakan model karakteristik kanal secara teoretis yaitu kanal Rician (-F1) dan kanal Rayleigh (-P1). Pada kanal Rician, terdapat komponen sinyal dominan yang sampai di penerima, sedangkan pada kanal Rayleigh, tidak terdapat komponen sinyal dominan yang sampai di penerima. Tabel 1 merincikan nilai-nilai parameter pemodelan kanal yang terdiri atas ρ_n, τ_n, dan θ_n.

Nilai ρ_0 merupakan nilai magnitude lintasan pertama dan dapat dihitung berdasarkan faktor Rician (K). Nilai K menunjukkan perbandingan daya sinyal jalur LOS dengan non-LOS. Semakin besar nilai K, maka sinyal LOS semakin dominan, sehingga pengaruh komponen-komponen lintasan jamak semakin minimal. Nilai K merupakan salah satu faktor kualitas pada karakteristik kanal, semakin besar nilai K maka semakin baik kualitas karakteristik kanal [10]. Jika $K = \infty$ maka dapat tidak terjadi pudaran. Nilai ρ_0 diperoleh dari [11]

$$\rho_0 = \sqrt{K \sum_{n=1}^{N} \rho_n^{\,2}} \qquad (4)$$

Berdasarkan standar ETSI TR 101 190 [12], pemodelan kanal DVB-T2 dapat disederhanakan menjadi pemodelan kanal Rician enam lintasan untuk mengurangi kompleksitas perhitungan, seperti pada Tabel 1. Koefisien magnitude (ρ_n) dinormalisasi sehingga magnitude pada lintasan pertama (ρ_0) memiliki nilai 1. Nilai lintasan pertama (ρ_0) diperoleh dari persamaan (4) dengan nilai faktor Rician $K = 10$.

Tabel 1. Definisi Profil Kanal Rician (F6) Kawasan Waktu [12].

Lintasan ke-*n*	ρ_n	τ_n (µs)	θ_n (radian)
0	1	0	0
1	0,23174	0,43750	0,64577
2	0,08810	0,65625	2,54818
3	0,15849	1,96875	-0,27925
4	0,08511	2,84375	-2,05949
5	0,08222	3,28125	3,01942

2.4 Kerataan Spektrum

Pengukuran kerataan spektrum (*Spectrum Flatness Measurement,* S_{fm}) direpresentasikan dengan nisbah antara rata-rata geometrik dan rata-rata aritmatika, yakni

$$S_{fm} = \frac{\left[\prod_{n=1}^{N} |H_n|^2\right]^{\frac{1}{N}}}{\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} |H_n|^2} \qquad (5)$$

dengan N merupakan jumlah frekuensi data dan H_n merupakan nilai tanggapan magnitude pada frekuensi ke-N pada suatu spektrum sinyal [13], [14]. Perhitungan S_{fm} tepat digunakan untuk mengukur kerataan spektrum sinyal maupun tanggapan frekuensi kanal dengan lebar bidang tertentu [15].

Rerata geometrik selalu bernilai lebih kecil atau sama dengan rata-rata aritmatika, sehingga nilai S_{fm} memiliki rentang dari 0 sampai dengan 1 [13]. Jika nilai H_n bernilai sama seluruhnya, maka nilai S_{fm} adalah 1, dengan kata lain kerataan spektrum adalah rata sempurna.

Kainan Zhou dan Yong Huat Chew [15] mengaitkan parameter kerataan spektrum dengan jumlah lintasan jamak. Simulasi yang dilakukan menggunakan nilai PDP yang bernilai seragam dan eksponensial dengan 64 subpembawa OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*). Kanal lintasan jamak dibangkitkan secara acak sebanyak 50000 kali.

Nilai S_{fm} yang digunakan dalam penelitian tersebut memiliki rentang 1 sampai dengan tak hingga, dengan arti semakin besar nilai S_{fm} maka spektrum semakin tidak rata. Hal ini dikarenakan nilai S_{fm} diperoleh dari perbandingan antara nilai rata-rata aritmetik dengan rata-rata geometrik, dengan kata lain berkebalikan dengan persamaan (5).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara statistis, semakin banyak lintasan jamak, maka semakin besar pula peluang bervariasinya magnitude spektrum.

III. METODE PENELITIAN

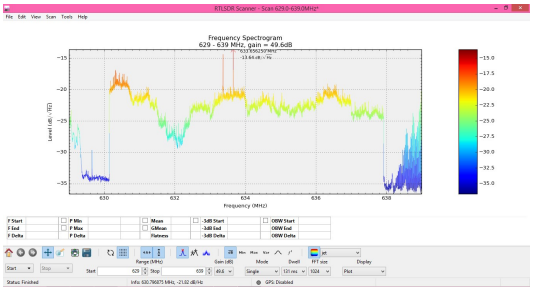
Pada penelitian ini, pemodelan kanal DVB-T2 disimulasikan berdasar standar ETSI TR 101 290 [9] dengan jumlah lintasan sebanyak enam lintasan, seperti telah dirincikan pada Tabel 1. Rentang tanggapan frekuensi kanal yang digunakan adalah 630 MHz – 638 MHz karena rentang tersebut merupakan salah satu rentang frekuensi satu kanal DVB-T2 yang ada di Indonesia.

Pada standar ETSI TR 101 290 nilai K yang digunakan adalah 10, sedangkan pada penelitian ini nilai K dibuat bervariasi, yaitu 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 15; 20; 30; 40. Variasi nilai K dilakukan untuk mengubah kualitas karakteristik kanal sehingga diperoleh keadaan lintasan jamak dari yang sifatnya buruk hingga baik. Semakin besar nilai K, maka kualitas karakteristik kanal semakin baik. Hal ini dikarenakan, semakin besar nilai K menunjukkan daya LOS yang semakin dominan, dengan kata lain pengaruh komponen lintasan jamak yang semakin minimal. Untuk setiap nilai K, nilai ρ_0 yang sama juga digunakan untuk kombinasi lima, empat, tiga, dan dua lintasan jamak, sehingga total kombinasi lintasan jamak yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 736 keadaan. Kombinasi lintasan jamak dilakukan agar dapat menghasilkan berbagai keadaan lintasan jamak.

Setiap satu kombinasi lintasan jamak dijalankan dengan simulasi, dilakukan pula perhitungan pesat galat bit (*Bit Error Probability,* BEP) dan kerataan tanggapan frekuensi kanal (S_{fm}). BEP dihitung pada modulasi M-QAM (M = 256, 64, 16, 4). Dari hasil perhitungan kerataan tanggapan frekuensi kanal dan BEP, diperoleh hubungan keduanya pada berbagai kondisi lintasan jamak.

3.1 RTLSDR *Scanner* dan DVB-T2 *Dongle*

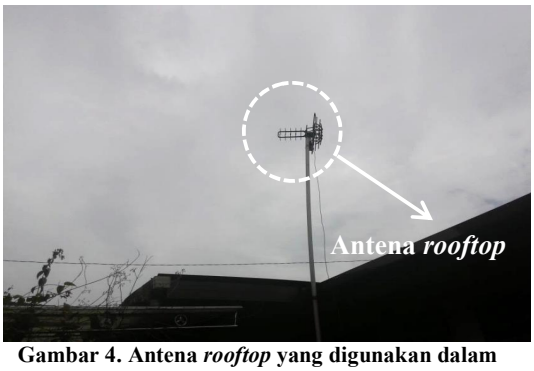
Eksperimen spektrum frekuensi isyarat DVB-T2 dilakukan dengan menggunakan perangkat keras DVB-T2 *Dongle* dengan IC RTL2832, satu set televisi Sony Bravia seri KDL-40 R350B, antena, dan perangkat lunak RTLSDR *Scanner.*RTLSDR *Scanner* merupakan perangkat lunak yang dapat menganalisis spektrum bidang lebar sehingga mampu memvisualisasikan sinyal frekuensi radio. RTLSDR *Scanner* dapat dijalankan pada sistem operasi Windows, Linux, dan OS X. Untuk dapat menjalankan RTLSDR *Scanner,* dibutuhkan sebuah perangkat keras DVB-T2 *Dongle*. Contoh tampilan spektrum frekuensi pada antarmuka RTLSDR *Scanner* terlihat pada Gambar 3.



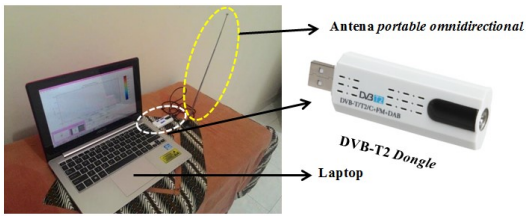
Gambar 3. Contoh Tampilan Spektrum Frekuensi pada Antarmuka RTLSDR *Scanner*.

3.2 Skema Eksperimen

Eksperimen dilakukan di dalam rumah tinggal satu lantai yang berlokasi di Dusun Nanggulan, Kelurahan Maguwoharjo, Kecamatan Depok, Sleman, DIY. Jarak udara antara lokasi eksperimen dengan stasiun pemancar adalah sekitar 12,65 kilometer. Lokasi eksperimen berada dalam lingkungan pinggiran perkotaan. Antena yang digunakan adalah antena *rooftop* dengan ketinggian enam meter dari atas permukaan tanah, serta antena *portable omnidirectional* yang diletakkan di dalam rumah. Pemilihan antena *rooftop* dan antena *portable* dilakukan untuk mengetahui pengaruh lintasan jamak terhadap bentuk spektrum frekuensi. Pada saat menggunakan antena *rooftop* (Gambar 4), kemungkinan diperolehnya lintasan LOS lebih besar daripada menggunakan antena *portable* di dalam rumah karena kondisi lingkungan di sekitar antena yang cenderung lapang.



Gambar 4. Antena *rooftop* yang digunakan dalam penelitian



Gambar 5. Konfigurasi perangkat eksperimen saat menggunakan antena *portable omnidirectional*.

Konfigurasi perangkat adalah antena dihubungkan ke perangkat DVB-T2 *Dongle*. DVB-T2 *Dongle* terhubung ke laptop melalui sambungan USB, seperti yang terlihat pada Gambar 5. Saat menggunakan antena *rooftop,* kabel dari antena *rooftop* dihubungkan dengan DVB-T2 *Dongle* melalui sambungan USB. Total eksperimen yang dilakukan adalah sebanyak sebelas kali. Eksperimen dengan antena *portable* dilakukan di dua ruang, dengan tata letak laptop dan antena sama seperti pada Gambar 5. Rentang frekuensi yang dipilih adalah 629 – 639 MHz, dengan penguatan 49,6 dB dan titik FFT sebanyak 1024. Waktu rata-rata yang dibutuhkan dalam sekali pindai adalah 25 detik dengan frekuensi cuplik penala sebesar 2 MHz.

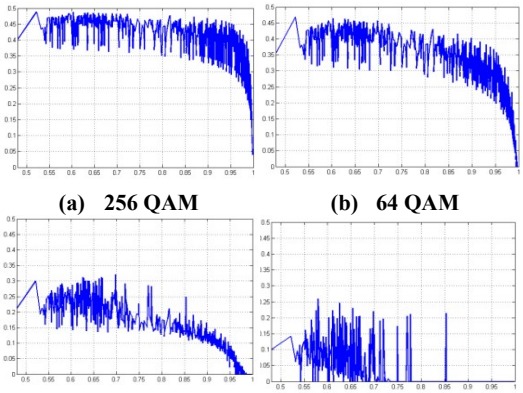
Setelah proses pemindaian selesai, maka akan muncul tampilan spektrum frekuensi, seperti pada Gambar 3. Rentang frekuensi 630 – 638 MHz merupakan spektrum frekuensi DVB-T2 satu kanal. Hasil pemindaian spektrum disimpan dalam bentuk data numeris. Data tersebut memuat informasi mengenai magnitude daya (dalam dB) tiap komponen frekuensi.

Data yang diperoleh dalam eksperimen adalah berupa spektrum frekuensi dari sinyal yang diterima oleh antena. Untuk mengetahui tanggapan frekuensi kanal, dibutuhkan data mengenai spektrum pancar dan spektrum terima. Padahal, spektrum pancar tidak diketahui dan bersifat acak. Oleh karena itu, dalam sekali eksperimen, dilakukan pengambilan data sebanyak 100 kali yang dilakukan secara manual dan berkelanjutan dengan posisi antena yang tetap. Data numeris yang didapatkan dari hasil pemindaian adalah dalam dB, sehingga untuk melakukan rata-rata aritmatika, harus dilakukan pengubahan ke nilai linear. Selanjutnya, dilakukan perhitungan kerataan spektrum dengan langkah yang sama dengan perhitungan pada simulasi. Data dalam nilai linear yang telah dirata-rata kemudian diubah bentuk ke dalam dB untuk direpresentasikan dalam gambar spektrum frekuensi.

IV. ANALISIS HASIL PENELITIAN

4.1 Hasil Simulasi Tanggapan Frekuensi Kanal DVB-T2

Dari hasil kombinasi lintasan jamak, diperoleh nilai BEP terhadap S_{fm} pada setiap modulasi M-QAM. Berbagai kombinasi lintasan jamak menghasilkan nilai BEP dan S_{fm} yang berbeda-beda. Secara umum terlihat bahwa untuk setiap modulasi, spektrum frekuensi akan semakin rata (nilai S_{fm} mendekati 1), maka nilai BEP akan semakin rendah. Hasil perhitungan BEP terhadap S_{fm} pada seluruh kombinasi lintasan jamak direpresentasikan dalam grafik, seperti yang terlihat pada Gambar 6.a sampai Gambar 6.d berturut-turut untuk M = 256, 64, 16, dan 4.



(a) 256 QAM (b) 64 QAM

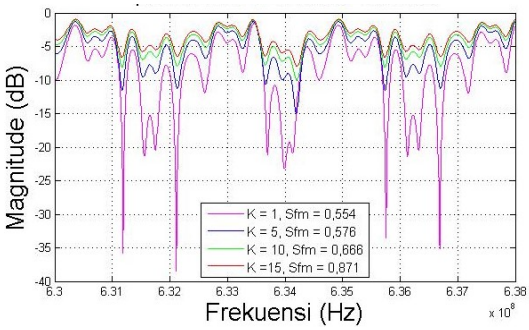
(c) 16 QAM (d) QPSK

Gambar 6. Grafik S_{fm} terhadap BEP

Berdasarkan Gambar 6, secara umum terlihat bahwa tren grafik mengalami penurunan. Semakin rata spektrum (nilai S_{fm} mendekati 1), maka BEP akan semakin rendah. Pada modulasi 256 QAM (Gambar 6.a), terlihat nilai BEP turun secara siginifikan saat nilai S_{fm} lebih dari 0,95. Pada modulasi 64 QAM (Gambar 6.b), grafik mengalami penurunan lebih signifikan jika dibandingkan saat modulasi 256 QAM.

BEP mencapai nilai 0 pada S_{fm} mendekati 1. Pada modulasi 16 QAM (Gambar 6.c), BEP juga mencapai nilai 0 pada S_{fm} mendekati 1. Pada modulasi QPSK (Gambar 6.d), penurunan nilai BEP terhadap S_{fm} tidak terlalu signifikan jika dibandingkan dengan modulasi 256 QAM, 64 QAM, dan 16 QAM. Dengan modulasi QPSK, kualitas sinyal menjadi lebih baik jika dibandingkan dengan menggunakan modulasi 256 QAM, 64 QAM, dan 16 QAM sehingga kemungkinan nilai BEP bernilai 0 akan semakin besar. Hal ini dikarenakan, semakin banyak jumlah bit per simbol, maka tingkat sensitivitas terhadap derau dan interferens antar simbol akan semakin besar pula. Hal ini terlihat dari grafik bahwa saat nilai S_{fm} lebih besar dari 0,85 maka BEP bernilai 0 hingga nilai S_{fm} mencapai 1.

Dari kombinasi lintasan jamak, didapat hubungan variasi K terhadap S_{fm}. Hal ini terlihat pada hasil simulasi Gambar 7. Gambar 7 menunjukkan cuplikan gambar tanggapan frekuensi kanal dengan variasi K = 1, 5, 10, dan 15 pada enam lintasan jamak. Terlihat bahwa saat nilai K = 1, terjadi pudaran frekuensi yang relatif sangat dalam jika dibandingkan saat nilai K > 5. Saat nilai K = 1, nilai S_{fm} adalah 0,554, sedangkan saat nilai K = 15, nilai S_{fm} adalah 0,871. Semakin besarnya nilai K menandakan kualitas kanal semakin baik karena menunjukkan adanya lintasan sinyal LOS yang dominan sehingga komponen sinyal lintasan jamak semakin tidak dominan. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa semakin baik kualitas kanal, maka spektrum frekuensi semakin rata (nilai S_{fm} mendekati 1).



Gambar 7. Tanggapan frekuensi kanal dengan variasi nilai K pada enam lintasan jamak.

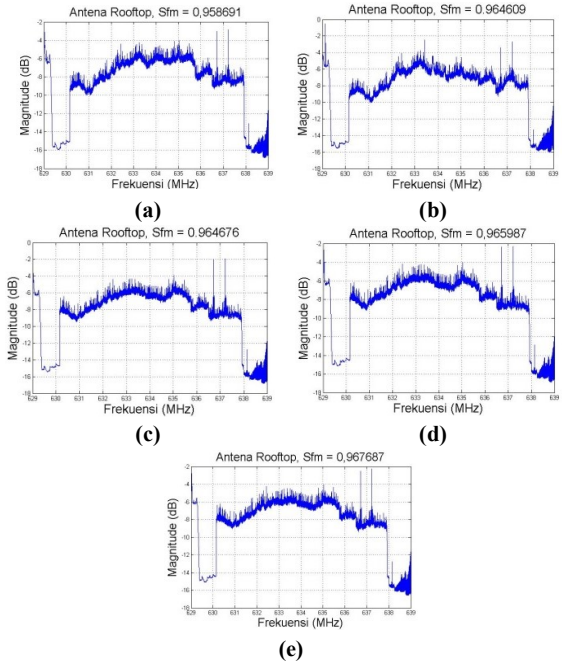
4.2 Hasil Eksperimen Spektrum Frekuensi Kanal DVB-T2

Hasil eksperimen spektrum frekuensi kanal DVB-T2 adalah berupa gambar spektrum frekuensi di beberapa lokasi pengamatan beserta nilai C/N, SQ (Signal Quality), SI (Signal Intensity), BER sebelum LDPC, dan BER sesudah LDPC pada kanal frekuensi 630 – 638 MHz dan modulasi yang digunakan adalah 64 QAM.

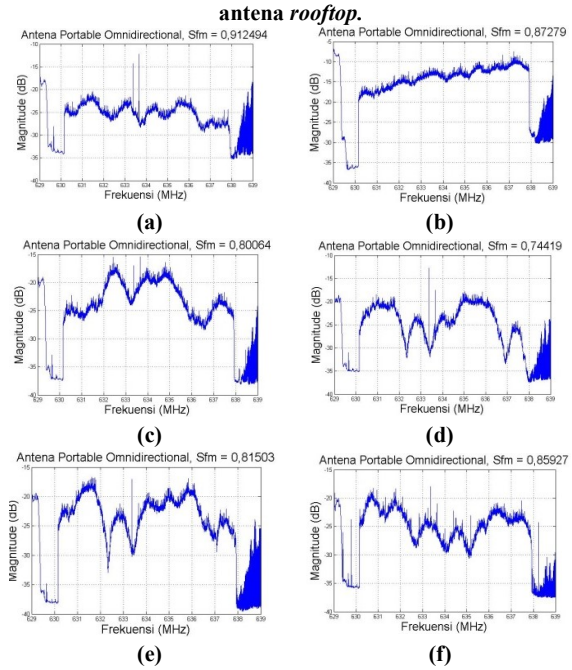
Gambar 8 dan Gambar 9 merupakan spektrum frekuensi hasil eksperimen pada saat menggunakan antena *rooftop* dan antena *portable*. Perhitungan S_{fm} dilakukan pada hasil spektrum frekuensi rata-rata atas 100 spektrum data pengamatan dalam rentang waktu kurang lebih 50 menit.

Pada saat menggunakan antena *rooftop*, tidak terdapat obyek-obyek yang berada di sekitar antena penerima karena letak antena yang relatif tinggi yaitu enam meter dari atas tanah. Kondisi lingkungan lokasi eksperimen merupakan daerah pinggiran kota sehingga tidak terdapat gedung-gedung tinggi. Saat menggunakan antena penerima di dalam ruangan, obyek-obyek di sekitar antena penerima relatif banyak, salah satunya adalah dinding ruangan. Obyek-obyek di sekitar antena penerima menjadi penghalang antara antena pengirim dan antena penerima.

Hal ini mengakibatkan ada atau tidaknya sinyal lintasan LOS yang ditangkap antena penerima. Semakin sedikit obyek yang berada di sekitar antena penerima, maka semakin besar kemungkinan diperoleh sinyal lintasan LOS oleh antena penerima. Oleh karena itu, kemungkinan diperoleh lintasan LOS lebih besar saat menggunakan antena *rooftop* jika dibandingkan menggunakan antena penerima yang berada di dalam ruangan. Hal ini tentu saja berdampak pada kualitas sinyal yang diterima karena semakin dominan sinyal LOS, pengaruh lintasan jamak menjadi semakin kecil dalam penerimaan.



Gambar 8. Spektrum frekuensi saat menggunakan antena *rooftop*.



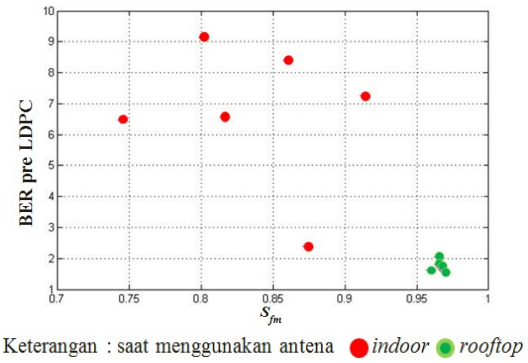
Gambar 9. Spektrum frekuensi saat menggunakan antena *indoor portable omnidirectional.*

Berdasarkan hasil eksperimen, saat menggunakan antena *rooftop*, nilai C/N, SQ, dan SI yang diperoleh relatif lebih besar jika dibandingkan pada saat menggunakan antena *portable omnidirectional* di dalam rumah, seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Efek lintasan jamak berpengaruh pada bentuk spektrum frekuensi yang dihasilkan. Seperti yang terlihat pada Gambar 9, pada saat menggunakan antena *rooftop*, spektrum frekuensi lebih rata jika dibandingkan saat menggunakan antena *portable*, dilihat dari nilai S_{fm} pada saat menggunakan antena *rooftop* lebih tinggi daripada saat menggunakan antena *portable*. Gambar 10 merupakan representasi grafik hubungan antara BER pre LDPC terhadap S_{fm}. Pada umumnya, semakin rata spektrum frekuensi (nilai S_{fm} semakin mendekati 1), maka BEP akan semakin rendah.

Tabel 2. Data hasil eksperimen spektrum frekuensi kanal DVB-T2

Percobaan ke-	S_{fm}	Kondisi Isyarat(**)			
		C/N	SQ	SI	BER Pre LDPC (10^{-2})
Menggunakan antena *rooftop* :					
1	0,958691	25	100	100	1,62
2	0,964609	23	100	100	2,04
3	0,964676	22	100	100	1,8
4	0,965987	25	100	100	1,71
5	0,967687	25	100	100	1,63
Menggunakan antena *indoor portable omnidirectional* :					
6	0,912494	17	65	44	7,27
7	0,872791	22	100	47	2,38
8	0,800639	14	17	30	9,13
9	0,744199	17	67	28	6,47
10	0,815034	17	59	31	6,58
11	0,859272	14.5	30	26	8,39



Gambar 10. Hasil eksperimen hubungan BER pre LDPC dengan S_{fm} .

V. KESIMPULAN

Secara umum, semakin rata spectrum frekuensi, maka semakin baik isyarat yakni ditandai dengan nilai BEP yang semakin kecil. Misal, pada 64 QAM, saat nilai S_{fm} = 0,5544; BEP yang dihasilkan adalah 0,4366, sedangkan saat nilai S_{fm} = 0,9777; BEP yang dihasilkan adalah 0,1955. Kemudian, semakin parah lintasan jamak, maka spectrum frekuensi semakin tidak

rata. Misal, saat K = 40, S_{fm} yang dihasilkan adalah 0,9777; sedangkan saat nilai K = 1, Sfm yang dihasilkan adalah 0,5967. Pada hasil eksperimen, diperoleh hubungan antara nilai S_{fm} dengan BER dan kondisi kanal. Saat menggunakan antena *rooftop*, kualitas kanal lebih baik jika dibandingkan saat menggunakan antena *portable omnidirectional* di dalam ruang terutup. Spektrum frekuensi semakin rata saat menggunakan antena *rooftop* jika dibandingkan dengan saat menggunakan antena *portable omnidirectional* di dalam ruang terutup. Selain itu, semakin rata spektrum frekuensi, maka nilai BER yang diperoleh relatif semakin kecil.

DAFTAR PUSTAKA

[1] DVB, "Final Draft ETSI EN 302 755 V1.3.1 : Digital Video Broadcasting (DVB); Frame Structure Channel Coding and Modulation for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2)," France, 2011.

[2] ITU, "Report ITU-R BT.2254 : Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2," Geneva, Switzerland, 2012.

[1] DVB, "Final Draft ETSI EN 302 755 V1.3.1 : Digital Video Broadcasting (DVB); Frame Structure Channel Coding and Modulation for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2)," France, 2011.

[2] ITU, "Report ITU-R BT.2254 : Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2," Geneva, Switzerland, 2012.

[3] M. Sobol, "The Doppler Effect and Digital Video Broadcasting," *Digit. Video Broadcast. SS2007*, 2007.

[4] T. Rappaport, *Wireless Communications*. New Jersey: Prentice Hall, Inc, 1996.

[5] K. R. Kishore and S. Kumar, "Wireless Channel Modeling." [Online]. Available: http://www.ee.iitm.ac.in/~giri/pdfs/EE5141/Jakes-Simulation.pdf.

[6] A. Martínez, D. Zabala, I. Peña, P. Angueira, M. Vélez, A. Arrinda, D. De Vega, and J. L. Ordiales, "Analysis of the DVB-T Signal Variation for Indoor Portable Reception," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 55, 2009.

[1] DVB, "Final Draft ETSI EN 302 755 V1.3.1 : Digital Video Broadcasting (DVB); Frame Structure Channel Coding and Modulation for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2)," France, 2011.

[2] ITU, "Report ITU-R BT.2254 : Frequency and Network Planning Aspects of DVB-T2," Geneva, Switzerland, 2012.

[3] M. Sobol, "The Doppler Effect and Digital Video Broadcasting," *Digit. Video Broadcast. SS2007*, 2007.

[4] T. Rappaport, *Wireless Communications*. New Jersey: Prentice Hall, Inc, 1996.

[5] K. R. Kishore and S. Kumar, "Wireless Channel Modeling." [Online]. Available: http://www.ee.iitm.ac.in/~giri/pdfs/EE5141/Jakes-Simulation.pdf.

[6] A. Martínez, D. Zabala, I. Peña, P. Angueira, M. Vélez, A. Arrinda, D. De Vega, and J. L. Ordiales, "Analysis of the DVB-T Signal Variation for Indoor Portable Reception," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 55, 2009.

[7] P. Angueira, M. Velez, D. D. La Vega, A. Arrinda, and J. L. Ordiales, "Fading Caused by Moving Vehicles Near the Receiver on DTV (COFDM) 8-MHz Signals," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 6, 2002.

[8] X.Wei, C. . Yang, and S. Y. Mao, "The Performance of Several Time Delay Estimation Methods in Multipath Channel," *Glob. Telecommun. Conf. IEEE*, 2001.

[9] D. V. Broadcasting, "ETSI TR 101 290 - V1.2.1 - Measurement Guidelines for DVB Systems," vol. 1, pp. 1–175, 2001.

[10] A. Doukas and G. Kalivas, "Rician K Factor Estimation for Wireless Communication Systems," *Wirel. Mob. Commun. 2006. Int. Conf. ICWMC '06.*, 2006.

[11] D. V. Broadcasting, "EN 300 744 - V1.6.1 - Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television," vol. 1, pp. 1–66, 2009.

[12] D. V. Broadcasting, "ETSI TR 101 190 - V1.3.2 Implementation Guidelines for DVB Terrestrial Services: Transmission Aspects," vol. 2, pp. 1–87, 2011.

[13] N. Madhu, "Note on Measures for Spectral Flatness," *IET Journals Mag.*, vol. 45, no. 23, pp. 1195 – 1196, 2009.

[14] "Feature Vectors," 2009. [Online]. Available: https://ccrma.stanford.edu/workshops/mir2009/juans_lecture/3_feature.pdf.

[15] K. Zhou and Y. Huat Chew, "On the Achievable Diversity Gain by the Optimal Subcarrier Allocations in Multiuser OFDM System," *IEEE Conf. Publ.*, pp. 1 – 6, 2006.