

Pengaruh Lintasan-Jamak terhadap Penerimaan DVB-T2

Budi Setiyanto, Iswandi, Nifty Fath, dan Yudha Pratama

Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jln. Grafika No. 2, Kampus UGM, Sleman, Yogyakarta, Indonesia, 55281
budi_setiyanto@ugm.ac.id

Abstract—DVB-T2 (Digital Video Broadcasting Terrestrial Second Generation) uses OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) in its modulation. Although uses OFDM, nearby objects (environmental conditions) still affect the DVB-T2 receive signal. This paper presents those such effects, based on either software simulation or field-testing. Environmental conditions were represented by either the simulated multipath or the crowdedness of the real nearby objects. Receive-signal conditions were expressed in terms of spectrum flatness, error rate, and other suitable measures. Spectrum frequency data was obtained using SDR (Software Defined Radio) based instrument, whereas the others were obtained using a commercial/consumer legacy DVB-T2 receiver. The results inform statistically that the less the multipath, the better the signal condition, with some examples are given as follows. By using omnidirectional indoor and directional rooftop antennas, the SFM (Spectrum Flatness Measurements) values were lower than 0.8 and higher than 0.9, respectively. Also, for these cases, the pre-LDPC (Low Density Parity Check) BER (Bit Error Rate) values were lower than 0.09 and 0.02, respectively.

Keywords—DVB-T2, multipath, spectrum flatness, error rate.

Intisari—DVB-T2 menggunakan modulasi OFDM. Meskipun menggunakan OFDM, obyek-obyek sekitaran (kondisi lingkungan) tetap saja berpengaruh terhadap isyarat terimanya. Makalah ini menyajikan pengaruh tersebut, berdasarkan simulasi perangkat-lunak atau uji-lapangan. Kondisi lingkungan diwakili oleh kondisi lintasan-jamak dalam simulasi atau kesemrawutan sekitaran dalam uji-lapangan. Kondisi isyarat terima dinyatakan dalam kerataan spektrum frekuensi, pesat galat, dan ukuran lain yang sesuai. Data spektrum diperoleh menggunakan alat-ukur berdasar SDR, sedangkan lainnya menggunakan penerima konsumen/komersial legasi. Hasil penelitian menginformasikan bahwa secara statistik, semakin tak parah lintasan-jamaknya, semakin baiklah kondisi isyarat terimanya, seperti beberapa contoh berikut. Menggunakan antenna dalam-ruang jenis segala-arah dan antenna luar jenis terarah, berturut-turut diperoleh SFM kurang dari 0,8 dan lebih dari 0,9, serta BER pra-LDPC kurang dari 0,09 dan 0,02.

Kata-kunci—DVB-T2, lintasan-jamak, kerataan spektrum, pesat galat.

I. PENGANTAR

Teknologi penyiaran televisi (TV) teresterial di Indonesia sedang beralih dari analog ke digital, dengan DVB-T2 telah dipilih sebagai standarnya [1]. Standar ini menerapkan OFDM [2], suatu teknik modulasi yang tegar lintasan-jamak [3]. Meskipun tegar, obyek-obyek sekitaran tentu saja tetap berpengaruh. Obyek-obyek sekitaran tentu saja mengakibatkan pudaran lintasan-jamak (*multipath fading*, MPF) atau pudaran selektif-frekuensi (*frequency-*

selective fading, FSF), yang salah satu mitigasinya adalah peragaman terima (*receive diversity*, RD) [4]. Sejumlah penelitian atau kajian berdasar simulasi perangkat-lunak telah memperlihatkan kaitan antara lintasan-jamak dengan bentuk spektrum OFDM [5], [6] maupun kemanfaatan peragaman terima untuk DVB-T2 [7], sedangkan kemanfaatannya secara eksperimental dikaji pada sistem yang, sayangnya, bukan DVB-T2 [8]–[10].

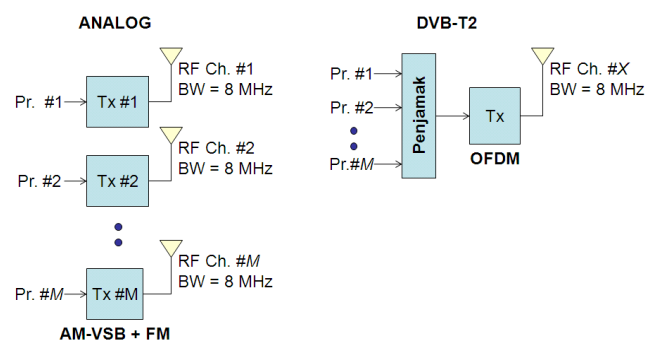
Makalah ini menyajikan kajian tentang penerimaan DVB-T2 terkait kondisi lingkungan, melalui simulasi perangkat-lunak maupun eksperimen lapangan. Perbedaan utama dengan kajian-kajian sebelumnya [5]–[10] terletak pada dua hal berikut. Pertama: bentuk spektrum akibat lintasan-jamak bukan merupakan hasil akhir, melainkan masih akan dikaitkan dengan peluang galat bit (*Bit Error Probability*, BEP). Kedua: data hasil uji-coba digali benar-benar dari siaran berstandar DVB-T2 yang tengah mengudara, bukan dari standar lain.

II. SEKILAS BASIS TEORI

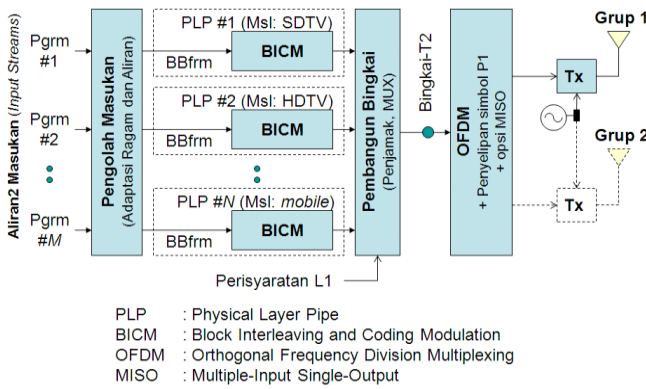
Terdapat beberapa standar TV teresterial digital (*Digital Terrestrial Television*, DTT), diantaranya adalah DVB-T (*Digital Video Broadcasting – Terrestrial*) [11]. Sebagai pengembangan atas DVB-T, standar DVB-T2 menyediakan lebih banyak opsi (fitur) di sisi pemancarannya. Berbagai hal yang menggambarkan unjuk kerja terkait fitur-fitur tersebut telah dikaji, baik melalui simulasi, uji-laboratorium, maupun uji-lapangan [2], [12]–[15]. Lintasan-jamak, sebagai akibat obyek-obyek sekitaran, memengaruhi isyarat terima, yang dapat termanifestasi pada spektrum frekuensi [5], [6], kualitas isyarat [16], [17], pesat galat bit (*bit error rate*, BER) [18], dan sebagainya.

A. TV Digital Standar DVB-T2

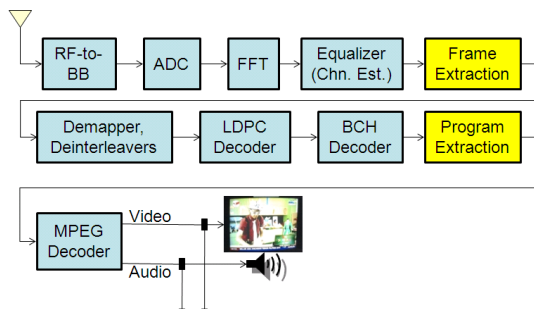
Dalam penyiaran analog, satu kanal TV dengan lebar pita 8 MHz hanya memuat satu program. Dalam penyiaran digital, kanal selebar itu dapat menampung beberapa program. Perbedaan ini diperlihatkan pada Gbr. 1.



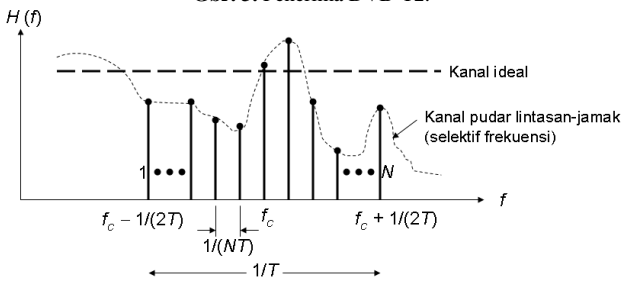
Gbr. 1. Penyiaran TV: analog v.s. digital.



Gbr. 2. Bagian-bagian pengirim DVB-T2.



Gbr. 3. Penerima DVB-T2.



Gbr. 4. Pudarannya selektif frekuensi.

Sisi pengirim DVB-T2 [2] dapat diilustrasikan seperti Gbr. 2. Aliran masukan dari beberapa program dikemas ke dalam satu atau lebih Pipa Lapisan Fisikal (*Physical Layer Pipe*, PLP). PLP yang berbeda memiliki aras ketegaran dan kekebalan runtun bit yang berbeda pula. Aras tersebut ditetapkan berdasar pesat penyandian, *interleaving*, dan pemetaan modulasi untuk PLP itu.

Sesuai dengan model penerima [18], penerima DVB-T2 dapat diilustrasikan seperti Gbr. 3. Bagian terdepan pada dasarnya adalah demodulator OFDM yang keluarannya memuat beberapa bingkai PLP. Bagian berikutnya mengekstraksi PLP yang diinginkan dan melakukan pengolahan yang semestinya. Bagian terakhir adalah mengekstraksi program yang diinginkan untuk dipulihkan menjadi isyarat audio dan video (AV) yang sesuai.

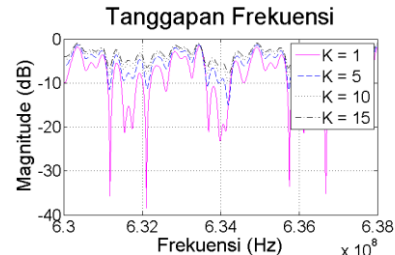
B. Kanal Radio dan Spektrum Frekuensi

Tanggapan frekuensi, $H(f)$, untuk kanal ideal bernilai sama untuk semua frekuensi. Fenomena lintasan-jamak mengakibatkan pudaran yang bersifat selektif frekuensi, sehingga tanggapan frekuensinya menjadi bervariasi seperti diilustrasikan pada Gbr. 4. Gambar tersebut juga memperjelas tanggapan pada N frekuensi sub-pembawa. Keperataan pudaran dapat ditinjau dari kerataan (*flatness*)

TABEL I. MODEL KANAL

Lintasan ke- n	ρ_n	τ_n (μs)	θ_n (radian)
0	$\rho_0^{(3)}$	0	0
1	0,23174	0,4375	0,64577
2	0,0881	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

^{*)} Nilai ρ_0 tergantung faktor Rician (K) yang dipilih.



Gbr. 5. Tanggapan kanal pada beberapa nilai faktor Rician (K).

spektrum, yakni bahwa semakin tak-rata, semakin parahlah pudaran itu. Besaran numeris yang lazim mewakili kerataan ini adalah Pengukuran Kerataan Spektrum (*Spectrum Flatness Measurement*, SFM) [5], [6] yang didefinisikan sebagai nisbah antara rerata geometrik terhadap rerata aritmatik diagram magnitude tanggapan frekuensi ($|H(f)|$), yakni

$$SFM = \frac{\prod_{n=1}^N |H(f_n)|^{2/N}}{1/N \sum_{n=1}^N |H(f_n)|^2} \tag{1}$$

yang bernilai 0 untuk kasus paling parah hingga 1 untuk kasus ideal rata. Peranti SDR (*Software Defined Radio*) [19]–[21] dapat dimanfaatkan sebagai penganalisis spektrum yang praktis/luwes dan murah untuk mengkaji tanggapan seperti itu.

III. SIMULASI

A. Model Kanal

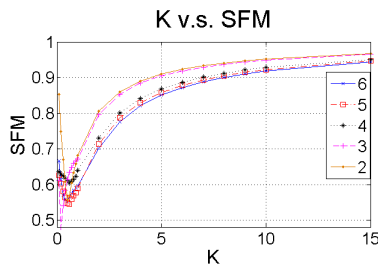
Untuk keperluan simulasi perangkat-lunak, kanal dimodelkan pada dasarnya mengikuti jenis enam lintasan [22] sesuai Tabel I.

B. Faktor Rician

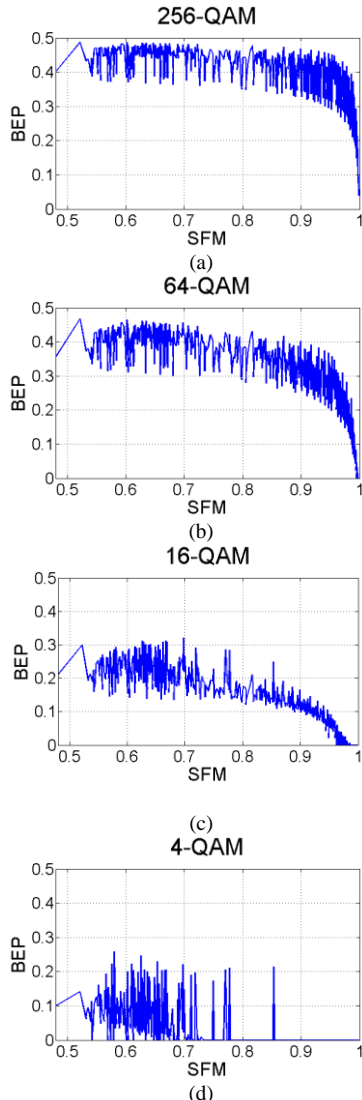
Faktor Rician (K) didefinisikan sebagai

$$K = \frac{\rho_0^2}{\sum_{n=1}^N \rho_n^2} \tag{2}$$

Semakin tinggi faktor Rician, semakin menonjallah lintasan utama, dan dengan demikian semakin ratalah spektrumnya (semakin tinggi SFM), seperti diperlihatkan pada Gbr. 5 dan Gbr. 6. Kaitan gambar ini dengan Tabel I adalah bahwa N lintasan pada gambar ini diperoleh dengan memungut lintasan 0 hingga $N - 1$ pada Tabel I. Nyata pula bahwa semakin banyak lintasan, semakin rendah pula SFM, yang berarti semakin buruk tanggapan frekuensinya.



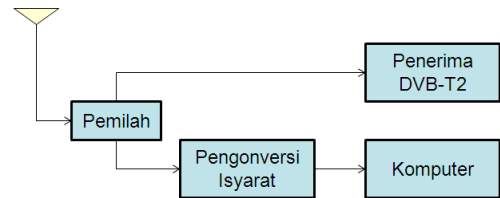
Gbr. 6. Pengaruh faktor Rician (K) terhadap SFM.



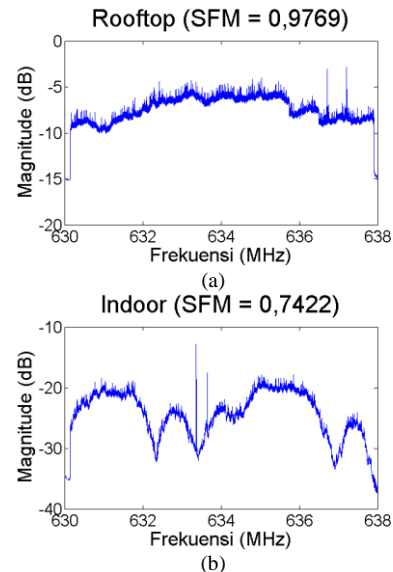
Gbr. 7 Kaitan SFM dengan BEP pada berbagai konstelasi QAM: (a) 256, (b) 64, (c) 16, (d) 4.

C. BEP

Semakin memburuknya tanggapan kanal termanifestasi menjadi semakin tingginya Peluang Galat Bit (*Bit Error Probability*, BEP) isyarat terpulihkan, seperti diperlihatkan pada Gbr. 7. Tampak bahwa semakin tinggi SFM, secara statistik BEP menjadi semakin rendah. Mudah di-mengerti pula bahwa jika orde konstelasi modulasi sema-kin tinggi, BEP juga semakin tinggi, karena semakin tak kebal derau. Perlu dicatat bahwa BEP yang disajikan di sini adalah BEP keluaran blok FFT (*Fast Fourier Transform*) sebelum estimasi kanal pada penerima.



Gbr. 8. Diagram pengukuran.



Gbr. 9. Contoh bentuk spektrum hasil tangkapan: (a) antenna luar, (b) antenna dalam.

IV. UJI-LAPANGAN

A. Diagram Pengukuran

Pengukuran menggunakan sebuah antenna, sebuah pemilah daya, sebuah penganalisis spektrum berbasis SDR yang tersusun atas pengonversi isyarat (*dongle DVB-T*) dan komputer, serta sebuah penerima DVB-T2. Penerima DVB-T2 yang digunakan juga menyediakan informasi tambahan, antara lain berupa intensitas dan kualitas isyarat, Pesat Galat Bit (*Bit Error Rate*, BER) sebelum dan sesudah pengawasandian LDPC (*Low Density Parity Check*), dan lain-lain. Diagram pengukuran diperlihatkan pada Gbr. 8.

B. Contoh Bentuk Spektrum

Contoh bentuk spektrum dengan antenna luar (*rooftop*) dan antenna dalam diperlihatkan pada Gbr. 9. Tampak bahwa dengan antenna luar diperoleh spektrum yang lebih rata, sejalan dengan kenyataan bahwa faktor Rician cukup besar. Sebaliknya, dengan antenna dalam diperoleh spektrum tak rata, juga sejalan dengan kenyataan banyaknya obyek di sekitar antenna itu yang memperkecil faktor Rician atau memperparah lintasan-jamak.

C. Berbagai Kondisi Isyarat

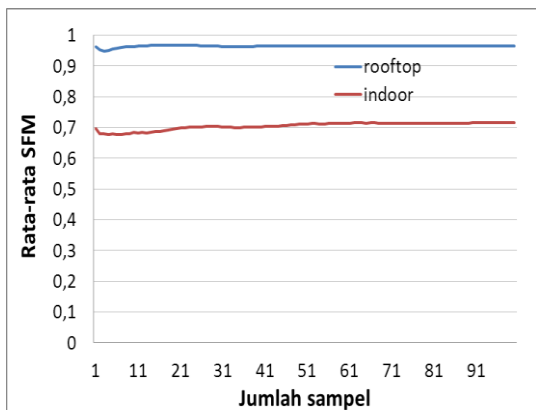
Dengan mengubah arah atau letak antenna, diperoleh berbagai kondisi isyarat, seperti dirinci pada Tabel II. Dua besaran yang dinyatakan dalam satuan persen adalah SI dan SQ, yakni berturut-turut menyatakan intensitas isyarat (*Signal Intensity*, SI) dan kualitas isyarat (*Signal Quality*, SQ) [16], [17]. Pada semua kondisi dalam tabel ini, secara visual gambar tampak normal. Diperlihatkan bahwa dengan antenna luar diperoleh kerataan spektrum

dan kondisi isyarat yang pada umumnya lebih baik daripada dengan antenna dalam. Sebuah nilai SFM diperoleh dengan meratakan 100 nilai SFM, sedangkan C/N, SI, SQ, dan BER merupakan rerata atas durasi sekitar 1 menit.

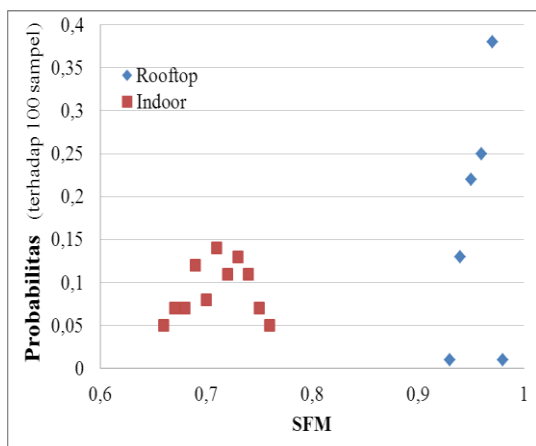
Spektrum yang diterima sebenarnya bukanlah tanggapan kanal, melainkan spektrum frekuensi isyarat terima, yang tidak saja tergantung tanggapan kanal, tetapi juga tergantung simbol yang dikirim saat itu. Karena simbol tersebut bersifat acak (random), maka pemerataan sudah tentu akan memberikan hasil yang lebih mewakili. Semakin banyak sampel untuk direratakan, semakin terwakililah nilai itu. Gbr. 10 memperlihatkan kaitan antara cacah sampel dengan rerata SFM. Tampak bahwa semakin banyak sampel, semakin konstanlah rerata SFM itu.

TABEL II. BERBAGAI KONDISI ISYARAT

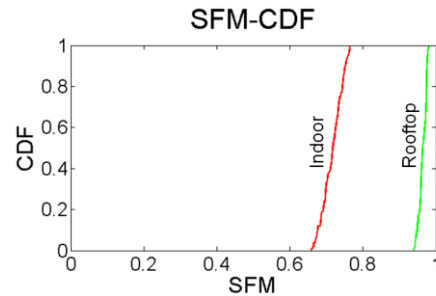
No.	SFM	C/N (dB)	SI (%)	SQ (%)	BER LDPC		Ant.
					Pra ($\times 10^{-2}$)	Pasca ($\times 10^{-4}$)	
1.	0,967687	25	100	100	1,63	0	Rooftop
2.	0,965987	25	100	100	1,71	0	
3.	0,964676	22	100	100	1,8	0	
4.	0,964609	23	100	100	2,04	0	
5.	0,958691	25	100	100	1,62	0	
6.	0,912494	17	65	44	7,27	0	
7.	0,872791	22	100	47	2,38	0	Indoor
8.	0,859272	14,5	30	26	8,39	0	
9.	0,815034	17	59	31	6,58	0	
10.	0,800639	14	17	30	9,13	1,7	
11.	0,744199	17	67	28	6,47	0	



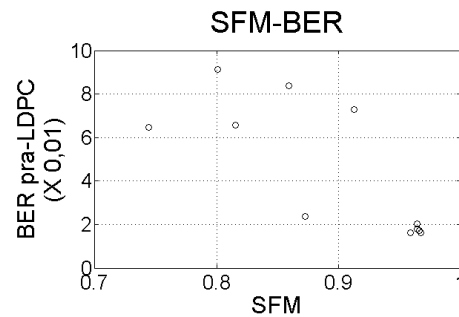
Gbr. 10. Kaitan antara cacah sampel dengan rerata SFM.



Gbr. 11. Peluang SFM.



Gbr. 12. CDF SFM.



Gbr. 13. Kaitan SFM dengan BER.

Berdasar 100 sampel data spektrum di atas, disusun kurva peluang SFM seperti diperlihatkan pada Gbr. 11. Tampak bahwa dengan antenna luar diperoleh SFM yang tinggi, lebih dari 0,9, berkebalikan dengan antenna dalam yang memberikan SFM antara 0,6 hingga 0,8. Dapat pula disusun kurva fungsi distribusi kumulatif (*Cumulative Distribution Function, CDF*) peluang, seperti Gbr. 12. Ketiga gambar terakhir ini sebenarnya secara substansial adalah sama, hanya berbeda cara penyajian.

Dari Tabel II juga dapat disusun kurva kaitan antara SFM dengan BER pra-LDPC. Meskipun letak titik pada kurva menyebar, namun pola kecenderungannya memperlihatkan bahwa semakin tinggi SFM, semakin rendah BER.

V. KESIMPULAN

Lintasan-jamak, yang antara lain tergantung kondisi lingkungan (obyek-obyek sekitaran), berpengaruh pada tanggapan kanal, yang pada akhirnya memengaruhi isyarat terima. Kanal ideal memiliki tanggapan frekuensi sama di semua frekuensi, sehingga tanggapan magnitudenya memiliki kerataan yang maksimal (SFM = 1). Semakin parah dampak lintasan-jamaknya, semakin buruklah isyarat terpulihkan di penerima, dan pada umumnya semakin tak-ratalah tanggapan magnitudenya. Uji-lapangan penerimaan siaran TV digital standar DVB-T2 memperlihatkan bahwa dengan menggunakan antenna da-lam-ruang jenis segala-arah, diperoleh SFM sekitar 0,6 hingga 0,8, dan lebih dari 0,9 jika menggunakan antenna luar yang terarah. Juga, menggunakan antenna luar itu, nilai tertinggi BER pra-LDPC adalah sekitar 0,02, berbeda dengan 0,09 untuk antenna dalam.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kemkominfo, "Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor: 05/ Per/M.Kominfo/2/2012 tentang Standar Penyiaran Televisi Digital Terrestrial Penerimaan Tetap Tidak-Berbayar (Free-To-Air)," 2012.

- [2] I. Eizmendi, M. Velez, D. Gómez-Barquero, J. Morgade, V. Baena-Lecuyer, M. Slimani, and J. Zoellne, "DVB-T2: The Second Generation of Terrestrial Digital Video Broadcasting System," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 60, no. 2, pp. 258–271, 2014.
- [3] H. Schulze and C. Luders, *Theory and Applications of OFDM and CDMA Wideband Wireless Communications*. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 2005.
- [4] S. Haykin and M. Moher, *Modern Wireless Communication*. New Jersey: Pearson Education Inc., 2005.
- [5] K. Zhou and Y. H. Chew, "On the Achievable Diversity Gain by the Optimal Subcarrier Allocations in Multiuser OFDM System," in *IEEE Conf. Publ.*, 2006, pp. 1–6.
- [6] N. Madhu, "Note on Measures for Spectral Flatness," *IET Journals Mag.*, vol. 45, no. 23, pp. 1195 – 1196, 2009.
- [7] L. Yang, G. Ren, W. Zhai, and Z. Qiu, "Beamforming Based Receiver Scheme for DVB-T2 System in High Speed Train Environment," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 59, no. 1, pp. 146–154, 2013.
- [8] Y. Kuwahara, R. Fujii, and H. Hatano, "Novel Combined Diversity Antenna for OFDM," in *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI)*, 2010.
- [9] C. Brousseau, F. Nivole, S. Avrillon, and L. Bertel, "New Diversity Combination Algorithms for DVB-T COFDM Mobile Reception," in *8th International Conference on Communications (COMM)*, 2010, pp. 319–322.
- [10] T. Kojiya, T. Wada, T. Iida, Y. Kita, A. Suyama, S. Sakaguchi, H. Asato, H. Mizutani, and A. Shimizu, "Evaluation of Diversity Combining Systems for Mobile Reception in Digital Terrestrial Television Broadcasting," in *International Conference on IEEE Consumer Electronics (ICCE)*, 2009, pp. 1–2.
- [11] M. El-Hajjar and L. Hanzo, "A Survey of Digital Television Broadcast Transmission Techniques," *IEEE Commun. Surv. TUTORIALS*, vol. 15, no. 4, pp. 1924–1949, 2013.
- [12] J. López-Sánchez, D. Gómez-Barquero, D. Gozávez, and N. Cardona, "On the Provisioning of Mobile Digital Terrestrial TV Services to Vehicles With DVB-T," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 58, no. 4, pp. 642–647, 2012.
- [13] F. A. Contreras, E. Pedraza, and D. Gomez-Barquero, "DVB-T2 Field Trials Results for Portable Indoor Reception in Colombia," in *IEEE Latin America Conference on Communications (LATINCOM)*, 2014, pp. 1–5.
- [14] M. Slimani, J. Robert, P. Schlegel, U. H. Reimers, R. Burow, F. Kattanek, R. Pfeffer, and L. Stadelmeier, "Results of the DVB-T2 Field Trial in Germany," *IEEE Trans. Broadcast.*, 2015.
- [15] C. Regueiro, U. Gil, M. Velez, I. Eizmendi, and P. Angueira, "Field Trials-Based Planning Parameters for DVB-T2 Indoor Reception," *IEEE Trans. Broadcast.*, 2015.
- [16] "NorDig Unified Test Plan for Integrated Receiver Decoders for use in cable, satellite, terrestrial and IP-based networks, ver. 2.4.," 2013. .
- [17] "GEORGIA SET TOP BOX SPECIFICATION," 2014. [Online]. Available: http://www.economy.ge/uploads/proeqtebi/digital_television/Appendix_1_Georgia_basic_receiver_specification.pdf. [Accessed: 21-Oct-2014].
- [18] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), TS 102 831 V1.2.1 (2012-08)," 2012.
- [19] B. Uengtrakul and D. Bunnjaveht, "A Cost Efficient Software Defined Radio Receiver for Demonstrating Concepts in Communication and Signal Processing using Python and RTL-SDR," in *Digit. Inf. Commun. Technol. it's Appl. (DICTAP), 2014 Fourth Int. Conf.*, 2014, pp. 394–399.
- [20] S. Markgraf, D. Stolnikov, and Hoernchen, "RTL-SDR." [Online]. Available: <http://sdr.osmocom.org/trac/wiki/rtl-sdr>. [Accessed: 02-Mar-2015].
- [21] S. Tseng, "A / D USB Dongle Implementation for NB / PC-Based Software Radio DVB-T Receiver," in *Adv. Technol. Commun. (ATC), 2012 Int. Conf.*, 2012, pp. 289–293.
- [22] ETSI, "Digital Video Broadcasting Measurement Guidelines for DVB Systems, TR 101 290 - V1.2.1," 2001.