

Analisis Pengaruh Kecepatan Terhadap Parameter CCDF Pada Aplikasi DVB-T2 Menggunakan Kanal HST

Nicolas Yonara Tarigan¹, Goki Folder Rudianto Purba², Wahyu Pamungkas³, Anggun Fitriani Isnawati⁴

^{1,3,4} Institut Teknologi Telkom Purwokerto, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Program Studi Teknik Telekomunikasi
^{1,3,4} Jl. DI Panjaitan No.128, Karangreja, Purwokerto Kidul, Kec. Purwokerto Sel., Kabupaten Banyumas, Jawa Tengah 53147
20101021@ittelkom-pwt.ac.id¹, wahyu@ittelkom-pwt.ac.id³, anggun@ittelkom-pwt.ac.id³

²Telkom University, Fakultas Teknik Telekomunikasi dan Elektro, Program Studi Teknik Telekomunikasi
Jl. Telekomunikasi. 1, Terusan Buahbatu - Bojongsong, Telkom University, Kabupaten Bandung, Jawa Barat 40257
xxxxxxgoki@student.telkomuniversity.ac.id²

Received on 31-10-2023, revised on 31-10-2023, accepted on 31-10-2023

Abstract

Abstrak – Perkembangan sistem televisi di Indonesia berawal dari *Digital Video Broadcasting-Terrestrial* (DVB-T) kemudian berpindah menggunakan standar baru yaitu *Digital Video Broadcasting-Terrestrial Second Generation* (DVB-T2). Sistem DVB-T2 menggunakan teknologi *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Oleh karena itu, sistem DVB-T2 sesuai untuk digunakan pada kondisi *High Speed Train* (HST). Teknik *multicarrier* pada teknologi OFDM merupakan keunggulan yang dimiliki oleh sistem DVB-T2 dengan menggunakan orde modulasi yang tinggi seperti 64-QAM. Selain itu, *channel coding* yang digunakan pada sistem DVB-T2 adalah *Reed Solomon*. Penggunaan *channel coding Reed Solomon* membuat informasi lebih *realible* terhadap kondisi HST. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis *power* dengan menggunakan kurva *Cumulative Complementary Distribution Function* (CCDF) pada kanal HST. Variasi kecepatan pada penelitian ini terdiri dari 10 m/s adalah kecepatan rendah, 50 m/s adalah kecepatan sedang, 100 m/s adalah kecepatan tinggi. Hasil analisis kurva CCDF yang didapatkan dari penelitian ini adalah pada kecepatan tinggi *reciever* menerima *power* yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan rendah yaitu sekitar 14 dB. Sedangkan pada kecepatan rendah menerima *power* sekitar 8 dB. Hal ini disebabkan penggunaan *channel coding Reed Solomon* yang membuat kanal menjadi tidak linier. Oleh karena itu dengan memanfaatkan ketidak linieran kanal, sistem DVB-T2 dengan *channel coding Reed Solomon* menjadi *realible* pada kanal HST.

Keywords: DVB-T2, OFDM, *Reed Solomon*, HST, CCDF

I. INTRODUCTION

Kemajuan teknologi di Indonesia membuat sektor pertelevisian melakukan migrasi dari analog ke digital dengan *Digital Video Broadcasting Terrestrial Second Generation* (DVB – T2) sebagai standarnya. DVB – T2 merupakan standar transmisi digital untuk penyiaran televisi *terrestrial*. DVB -T2 adalah pengembangan dari standar DVB-T yang lebih lama dan dirancang untuk memberikan kualitas gambar dan suara yang lebih baik, serta efisiensi spektrum yang lebih tinggi [1].

Implementasi DVB-T2 pada penelitian dilakukan uji coba menggunakan kanal *High Speed Train* (HST). Kanal HST merupakan sebuah kanal yang digunakan pada sistem komunikasi kereta cepat. Pada kanal ini memiliki beberapa parameter, diantaranya dari segi kecepatan, *Line of Sight* (LOS) dan juga pengaruh dari *multipath components*. Pada posisi LOS dimana sinyal pengirim menuju ke penerima dilakukan tanpa adanya penghalang sedangkan pada posisi *multipath* memiliki *obstacle* baik berupa gedung, pohon dan pantulan dari kaca [2].

Salah satu tantangan pada kanal HST yaitu kecepatan kereta api sampai 300 km/jam. Hal ini dapat menimbulkan efek *Doppler* dimana efek ini terjadi ketika penerima menjauhi atau mendekati pengirim. Efek *Doppler* ini dapat menyebabkan *Doppler Shift* atau pergeseran frekuensi *carrier*. Efek *Doppler* ini sendiri dapat membuat penurunan kuat sinyal yang didapatkan di penerima [3].

Selain dari efek *Doppler* pada kanal HST, terdapat efek *multipath* yang dapat mengakibatkan *delay spread*. *Delay spread* adalah ukuran dari lebar pulsa impuls yang dikirimkan antara pengirim dan penerima, dan ini adalah fenomena alami yang disebabkan oleh pemantulan dan dispersi sinyal dalam saluran komunikasi. *Delay spread* ini bisa menyebabkan *Inter-Symbol Interference* (ISI) di mana simbol-simbol dalam transmisi saling tumpang tindih. Penyebab dari *delay spread* ini dapat menyebabkan *flat fading* maupun *frequency selective fading* [4]. *Flat fading* adalah jenis saluran di mana periode sinyal transmisi lebih besar daripada penyebaran penundaan dari jalur-jalur *multipath*, yang merupakan efek pemudaran yang disebabkan oleh perbedaan waktu dalam penyebaran sinyal melalui jalur-jalur *multipath* [5]. Sedangkan *frequency selective fading* terhadap kanal memiliki *coherence bandwidth* yang lebih sempit dibandingkan dengan *bandwidth* sinyal yang ditransmisikan. Akibatnya,

sinyal yang diterima akan mencakup beberapa variasi gelombang yang ditransmisikan, dengan tingkat *atenuasi* (pemudaran) dan penundaan yang berbeda, mengakibatkan distorsi pada sinyal yang diterima [6].

Untuk memaksimalkan sinyal yang dikirimkan dari pengirim ke penerima melewati HST diperlukan beberapa parameter untuk dapat mengukur kualitas sinyal yang dikirimkan berdasarkan parameter *Complementary Cumulative Distribution Function* (CCDF). Oleh karena itu DVB – T2 akan menggunakan OFDM sebagai *multicarrier* agar tahan terhadap efek *multipath* maupun efek *Doppler* serta modulasi yang digunakan 64-QAM untuk bisa mengirimkan video yang memiliki kualitas yang maksimal.

Penelitian ini mengkomodasi analisa perbandingan kecepatan kereta api dengan parameter CCDF yang diaplikasikan pada sistem komunikasi DVB-T2 pada kanal HST. Penelitian ini menjadi yang pertama kali membandingkan antara parameter kecepatan kereta api dengan CCDF. Kontribusi penelitian ini ada pada analisis keterkaitan parameter kecepatan kereta api dengan CCDF dan pengaruh dari *channel coding* yang diimplementasikan pada blok diagram sistem komunikasi DVB T2.

II. RELATED WORDS

Penelitian [7] menjelaskan tentang implementasi DVB-T menggunakan filter median *Fuzzy* untuk mengurangi efek komponen impulsif. Sistem detektor yang telah diajukan mencakup penggunaan filter median *Fuzzy* yang dapat disesuaikan secara adaptif berdasarkan tingkat *noise* dan jenis *noise* yang hadir. Sistem ini telah diuji dalam lingkungan dengan *noise Gaussian* dan impulsif. Hasil simulasi menunjukkan bahwa detektor dengan fitur *Fuzzy* membantu mengurangi dampak dari *noise* impulsif, dan secara signifikan meningkatkan kinerja sistem, sambil tetap efisien dalam menghadapi kebisingan *Gaussian*. Perbedaan dengan penelitian ini adalah menggunakan metode *channel coding* untuk meminimalisasikan *noise* yang ada.

Penelitian [8] menjelaskan TV *White Space* (TVWS) merujuk pada sebagian dari spektrum UHF dan VHF yang tidak digunakan dan biasanya dimiliki oleh pengguna utama seperti penyiar TV (DVB-T2) di lokasi tertentu. Dalam studi ini, penelitian dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan eksperimen lapangan untuk menentukan nilai rasio proteksi yang paling sesuai. Simulasi menggunakan pendekatan *Monte Carlo* untuk mengevaluasi kinerja rasio proteksi yang diusulkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rasio proteksi yang dihitung berdasarkan simulasi cenderung lebih tinggi sekitar 1 dB dibandingkan dengan hasil pengukuran di lapangan. Temuan ini menunjukkan bahwa model simulasi dapat digunakan sebagai panduan untuk pemerintah dalam mengestimasi nilai rasio proteksi yang efektif dan memudahkan implementasi TVWS dengan lebih efisien. Yang menjadi pembeda dari penelitian ini adalah mengukur nilai CCDF yang diterima oleh penerima.

Penelitian [9] melakukan pengujian DVB-T2 untuk mencapai hasil optimal melibatkan eksplorasi fitur relevan dari DVB-T2 serta pengujian terhadap komunikasi bergerak dan teknologi *Multiple Input Single Output* (MISO) dan metode pemotongan frekuensi (*frequency slicing*). Hasil simulasi menunjukkan bahwa DVB-T2 mampu memaksimalkan daya tahan dan kapasitas sesuai dengan skenario penerimaan yang diinginkan dalam konteks sistem penyiaran televisi. Selain itu, dalam konteks komunikasi seluler atau mobile, hasil pengujian menunjukkan bahwa penerimaan seluler dapat dicapai bahkan dengan penggunaan ukuran *Fast Fourier Transform* (FFT) yang besar. Selain itu, eksperimen telah dilakukan untuk menguji kemungkinan penggunaan profil DVB-T2 dan T2-Lite dengan saluran Radio Frequency (RF) yang sama, dan efisiensi penggunaan saluran ini telah diukur. Pembeda pada penelitian ini adalah menggunakan *multicarrier* OFDM dengan tingkat modulasi 64-QAM serta menggunakan *channel coding*.

Penelitian [10] menjelaskan penggunaan DVB-T2 pada negara Malaysia. Studi ini difokuskan pada proses pengiriman DVB-T2 yang melibatkan transmisi dari pemancar di Menara Kuala Lumpur ke penerima yang tersebar di 100 lokasi berbeda. Evaluasi kinerja DVB-T2 dilakukan dengan mengukur kekuatan sinyal, MER (*Modulation Error Ratio*), dan BER LDPC (*Bit Error Rate* setelah decoder *Low Density Parity Check*), yang kemudian digunakan untuk membandingkan performa sistem DVB-T dan DVB-T2. Dari hasil pengukuran, ditemukan bahwa sebanyak 92% titik uji menunjukkan pembacaan di atas nilai dasar, menunjukkan peningkatan penerimaan sinyal TV digital di lokasi-lokasi tersebut. Perbandingan performa antara sistem DVB-T dan DVB-T2 menunjukkan bahwa kekuatan medan DVB-T2 sedikit lebih tinggi, dengan peningkatan sekitar 1,5% hingga 3,8% dibandingkan dengan DVB-T. Perbedaan yang pada penelitian ini adalah menggunakan tipe *channel coding* yang berbeda menggunakan *Reed Solomon* dan melihat *power* yang diterima dalam kurva CCDF.

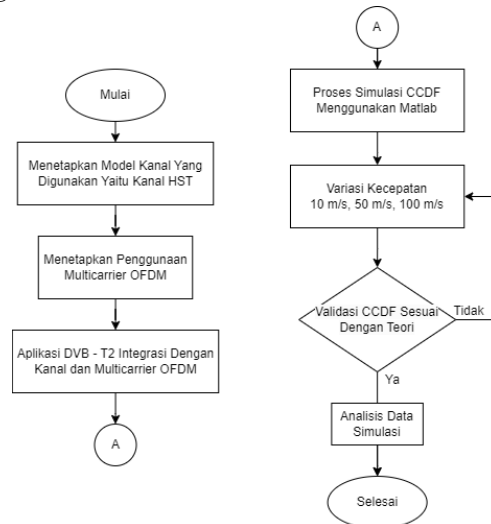
Penelitian [11] menjelaskan tentang implementasi DVB-T2 menggunakan OFDM dengan menghitung *Peak to Average Power Ratio* (PAPR) yang tinggi dapat mengakibatkan penurunan kinerja. Pada penelitian ini menggunakan metode *Tone Reservation* (TR) dan tanpa memerlukan kompleksitas tambahan. Penelitian ini menunjukkan bahwa teknik yang diusulkan mengungguli algoritma TR yang diadopsi di DVB-T2 sebesar 0,77 dB dalam hal penguatan CCDF pada 10^{-3} dan sebesar 0,33 dB dalam hal penguatan *Input Back Off* (IBO) untuk MER sebesar -40dB. Yang menjadi pembeda dari penelitian ini adalah penggunaan kanal pada HST dengan variasi kecepatan rendah, sedang, dan tinggi.

III. RESEARCH METHOD

A. Alur Penelitian

Proses simulasi menggunakan Matlab tahun 2022b yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang berupa kurva *Complementary Cumulative Distribution Function* (CCDF) dan *Signal To Noise Ratio* (SNR) menggunakan kanal *High Speed Train* (HST). Gambar 3 merupakan *flowchart* dari penelitian yang dilakukan untuk melihat perbandingan hasil CCDF dan SNR.

Panjang bit yang digunakan yaitu 1504 bit dimana memiliki 188 simbol serta dalam 1 simbol terdapat 8 bit. Level modulasi yang digunakan yaitu 64-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*) dan *Multicarrier* yang digunakan yaitu *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM). Disamping itu menggunakan *channel coding Reed Solomon coded*.

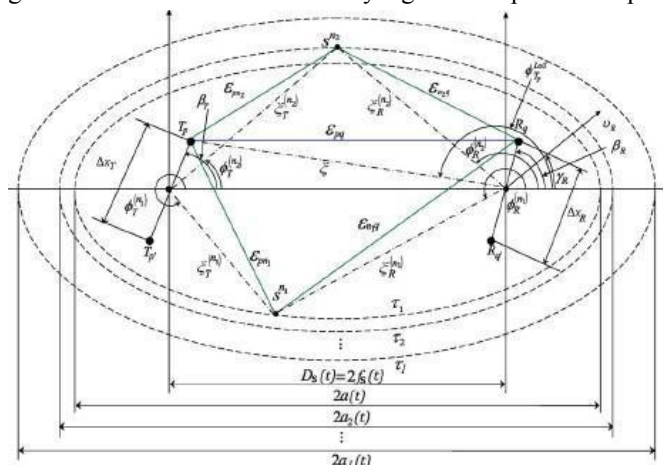


Gambar 1 Alur *flowchart* sistem DVB-T2 yang digunakan untuk menganalisis kurva CCDF.

Gambar 1 merupakan *flowchart* untuk alur penelitian yang akan dilakukan. Hal awal yang dilakukan menentukan kanal yang digunakan yaitu HST. Model kanal ini dapat dilihat pada formula (1)-(4). Kemudian penggunaan *multicarrier* yang digunakan yaitu OFDM. Setelah penetapan *multicarrier*, dilakukan proses integrasi antara DVB-T2 dengan OFDM menggunakan kanal HST. Langkah selanjutnya melakukan proses simulasi dengan menggunakan variasi kecepatan 10 m/s, 50 m/s dan 100 m/s. Langkah akhir adalah melakukan analisis data.

B. Model Kanal

Dalam penelitian ini menggunakan kanal HST dimana model kanal ini memiliki 2 karakteristik yaitu *single bounce* memiliki 1 pantulan yang terjadi sedangkan karakteristik kedua yaitu *Line Of Sight* (LOS) atau langsung ke penerima. Formula 1 merupakan persamaan matematis kanal HST untuk *single bounce*. Gambar 2 merupakan gambaran dari model kanal HST yang akan diaplikasikan pada DVB-T2.



Gambar 2 Model kanal HST pada kondisi LOS dan NLOS.

Berdasarkan formula 1 adalah substitusi formula 2 dan 3. Formula (2) $h_{1,pq}^{LoS}(t)$ adalah kondisi kanal ketika *transmitter* mengirimkan sinyal ke *reciever* tanpa terkena *obstacle* atau dalam kondisi *Line Of Sight* (LOS). Formula (3) $h_{1,pq}^{SB}(t)$ adalah kondisi kanal ketika *transmitter* mengirimkan sinyal melewati kanal ke *reciever* terkena efek *multipath* (pantulan) sebanyak 1 kali.

$$h_{1,pq}(t) = h_{1,pq}^{LoS}(t) + h_{1,pq}^{SB}(t) \quad (1)$$

$$h_{1,pq}^{LoS}(t) = \sqrt{\frac{K_{pq}}{K_{pq} + 1}} e^{-j2\pi f_c \tau_{pq}(t)} e^{-j2\pi f_{max} t \cos(\phi_{Tp}^{LoS}(t) - \gamma_R)} \quad (2)$$

$$h_{1,pq}^{SB}(t) = \sqrt{\frac{\Omega_{1,pq}}{K_{pq} + 1}} \lim_{N_1 \rightarrow \infty} \sum_{n_1=1}^{N_1} \frac{1}{\sqrt{N_1}} e^{j(\psi_{n_1} - 2\pi f_c \tau_{pq, n_1}(t))} \times e^{j2\pi f_{max} t \cos(\phi_R^{(n_1)}(t) - \gamma_R)} \quad (3)$$

Ketika sinyal yang dikirimkan sudah mengenai efek *multipath* (pantulan) melebihi 1 kali, maka formula 1 pada bagian $h_{1,pq}^{SB}(t)$ akan dirubah dengan formula (4) $h_{i,pq}(t)$. Formula yang digunakan sebagai berikut.

$$h_{i,pq}(t) = h_{i,pq}^{SB}(t) = \sqrt{\Omega_{i,pq}} \lim_{N_1 \rightarrow \infty} \sum_{n_1=1}^{N_1} \frac{1}{\sqrt{N_1}} e^{j(\psi_{n_1} - 2\pi f_c \tau_{pq, n_1}(t))} \times e^{j2\pi f_{max} t \cos(\phi_R^{(n_1)}(t) - \gamma_R)}, \quad (4)$$

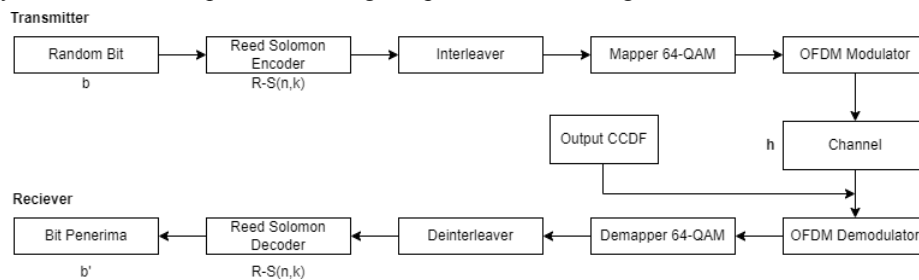
$$1 < i \leq I$$

Tabel 1 Parameter untuk model kanal HST pada kondisi LOS dan NLOS.

Parameter	Penjelasan
$\Omega_{i,pq}$	Daya rata – rata untuk tap ke- i
K_{pq}	Menunjukkan faktor <i>Rician</i>
$a_i(t), b_i(t)$	<i>Semi-major axis</i> dan <i>semi-minor axis</i> dari elips ke- i , masing-masing
ψ_{n1} dan ψ_{ni}	variabel acak yang independen dan terdistribusi secara identik dengan distribusi seragam pada $[-\pi, \pi)$,
f_{max}	pergeseran <i>Doppler</i> maksimum yang terkait dengan MRS
β_T, β_R	Sudut kemiringan susunan antenna BS dan MRS pada bidang x-y (relatif terhadap sumbu x)
$\phi_{Tp}^{LoS}(t), \phi_R^{(n_i)}(t)$	AoA dari jalur LOS dan AoA dari gelombang yang merambat dari scatterer efektif $s^{(n_i)}$ ke MRS
$\phi_T^{(n_i)}(t)$	AoD dari gelombang yang menumbuk pada penebar efektif
$D_s(t)$	Jarak antara BS dan MRS
$f_s(t)$	Setengah panjang jarak antara dua foci elips
v_R, γ_R	Kecepatan dan sudut gerak MRS, masing-masing
Δ_{xT}, Δ_{xR}	Jarak elemen antenna dari BS dan MRS, masing-masing
$\xi, \xi_T^{(n_i)}(t), \text{ and } \xi_R^{(n_i)}(t)$	Jarak $d(T_p, MRS), d(BS, S^{(n_i)})$ dan $d(S^{(n_i)}, MRS)$
$\xi_{pq}, \xi_{pn_i}, \xi_{n_iq}$	Jarak $d(T_p, R_q), d(T_p, S^{(n_i)})$ dan $d(S^{(n_i)}, R_q)$

C. Blok Diagram Sistem Komunikasi DVB-T2

Sistem komunikasi dari DVB-T2 merupakan tahap lanjutan dari DVB-T yang memiliki cukup banyak perbedaan. Diantaranya kualitas yang diberikan lebih tajam dibandingkan dengan generasi sebelumnya. Gambar 3 merupakan blok diagram pada DVB-T2 dengan kanal HST.



Gambar 3 Blok diagram komunikasi sistem DVB-T2 untuk menghitung nilai CCDF.

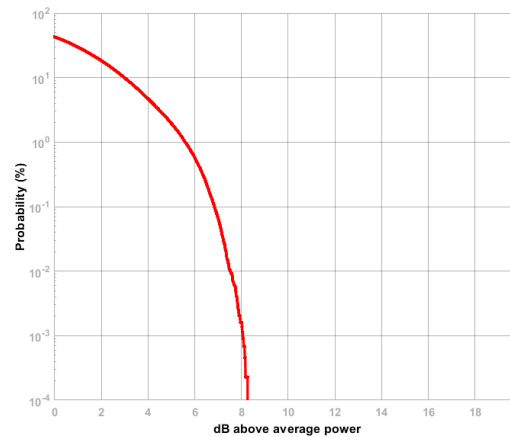
Pada bagian pengirim (*transmitter*) terdapat pembangkit bit sebesar 1504 bit. Hal ini berbanding lurus dengan *channel coding* yang digunakan yaitu *Reed Solomon* dengan nilai $n=204$ dan $k=188$ dimana setiap

simbol terdapat 8 bit. *Interleaver* merupakan sebuah proses untuk mengacak bit yang dikirimkan agar menghindari *burst error*. Selanjutnya dilakukan *mapper* yang digunakan untuk melakukan proses penumpangan pada frekuensi pembawa sehingga meminimalisasikan kerusakan pada informasi yang dikirimkan. Selanjutnya OFDM modulator merupakan proses perubahan dari domain frekuensi menjadi domain waktu (*Inverse Fast Fourier Transform* - IFFT). Setelah itu akan melewati kanal dan melakukan proses berkebalikan dari *transmitter*.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

Pada penelitian ini, peneliti melakukan simulasi kinerja aplikasi DVB-T2 dalam kondisi kecepatan 10, 50, dan 100 m/s untuk menganalisis *power* yang diterima dalam bentuk kurva CCDF. Pada penelitian ini mengklasifikasikan 10 m/s adalah kecepatan rendah, 50 m/s adalah kecepatan sedang dan 100 m/s adalah kecepatan tinggi. Hasil kurva CCDF pada kecepatan rendah, sedang, dan tinggi dijelaskan pada bagian A dan B.

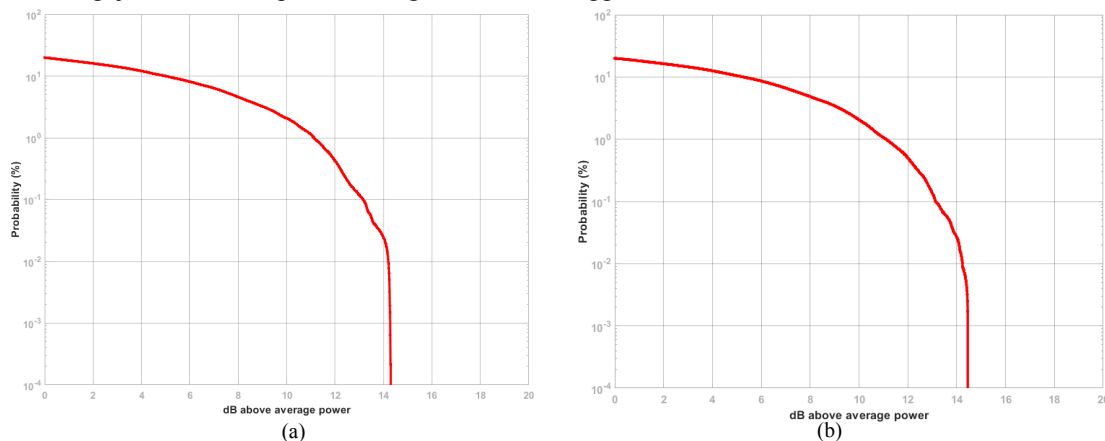
A. Pengujian Pada Kecepatan Rendah 10 m/s



Gambar 4 Kurva CCDF pada kecepatan 10 m/s.

Gambar 4 adalah grafik CCDF dengan sumbu x adalah rata-rata *power* dalam dB dan y adalah probabilitas *power* dalam bentuk persentase pada kecepatan 10 m/s. Berdasarkan Gambar 4 nilai *power* tertinggi adalah 8 dB dengan probabilitas yang sangat kecil yaitu sekitar 0.001%. Namun, nilai *power* 0 – 3 dB memiliki probabilitas yang lebih besar. Sedangkan, nilai *power* di atas 8 dB memiliki probabilitas yang lebih kecil yaitu sekitar 0.0001%. Fakta ini menunjukkan bahwa, pada kanal HST dengan kondisi kecepatan 10 m/s *reciever* menerima *power* yang dominan sangat kecil.

B. Pengujian Pada Kecepatan Sedang 50 m/s dan Tinggi 100 m/s



Gambar 5 Grafik CCDF terhadap kecepatan : (a) 50 dan (b) 100 m/s.

Gambar 5(a) dan 5(b) adalah grafik CCDF dengan sumbu x adalah rata-rata *power* dalam dB, sumbu y adalah probabilitas *power* dalam bentuk persentase pada kecepatan 50 dan 100 m/s. Berdasarkan Gambar 5, *power* tertinggi yang diterima dalam kondisi kecepatan 50 dan 100 m/s yaitu masing-masing sekitar 14

dB. Kecepatan yang lebih tinggi seharusnya membuat nilai *power* terima akan tereduksi. Akan tetapi, penggunaan *channel coding Reed Solomon* membuat kanal menjadi tidak linier. Hal ini bisa dilihat dari kurva CCDF yang menunjukkan *power* terima lebih besar pada kondisi kecepatan yang lebih tinggi daripada kecepatan rendah. Sedangkan, nilai *power* di atas 14 dB memiliki probabilitas yang lebih kecil yaitu sekitar 0.0001%. Fakta ini menunjukkan bahwa *channel coding Reed Solomon* dapat mengatasi efek dari perubahan kecepatan pada kanal HST.

V. CONCLUSION

Berdasarkan analisis sistem DVB-T2 menggunakan kanal HST didapatkan kesimpulan bahwa grafik CCDF yang didapatkan pada kecepatan tinggi mendapatkan hasil lebih baik dibandingkan dengan kecepatan rendah. Terbukti pada Gambar 5(a) dan 5(b) pada kecepatan 50 dan 100 m/s maksimal *power* yang didapatkan masing-masing adalah sekitar 14 dB. Sedangkan maksimal *power* yang didapatkan pada kecepatan 10 m/s adalah sekitar 8 dB. Hal ini disebabkan karena adanya pengaruh dari penggunaan *channel coding Reed Solomon*, akibatnya kanal menjadi tidak linier dan *power* terima yang didapatkan oleh *receiver* akan lebih tinggi. Oleh karena itu, penggunaan *channel coding Reed Solomon* menjadi *reliabel* untuk kondisi kanal HST. Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk melihat perbandingan kecepatan berdasarkan variasi kecepatan menggunakan kurva *Bit Error Rate* (BER).

REFERENCES

- [1] D. Terrestrial dan T. Action, *Understanding DVB-T2*, 1 ed. Geneva, Switzerland: www.digitag.org, 2009. [Daring]. Tersedia pada: https://www.ncc.gov.tw/chinese/files/12040/2835_120409_2.pdf
- [2] A. Ghazal, C. X. Wang, B. Ai, D. Yuan, dan H. Haas, "A Nonstationary Wideband MIMO Channel Model for High-Mobility Intelligent Transportation Systems," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 16, no. 2, hal. 885–897, 2015, doi: 10.1109/TITS.2014.2345956.
- [3] R. Campolo, Claudia; Molinaro, Antonella; Scipigno, *Vehicular ad hoc networks*. Springer, 2015. doi: 10.1016/B978-1-78242-211-2.00002-7.
- [4] N. Putra, IG Darma; Djuni, IGAK Diafari; Wirastuti, "Analyze the effect of delay spread on MIMO Zero Forcing system on selective fading channel," in *The 2017 International Student Conference On Electrical And Computer Engineering*, 2017, hal. 1–6. [Daring]. Tersedia pada: <https://erepo.unud.ac.id/id/eprint/21119/>
- [5] D. R. Raol, Allanki Sanyasi; Mohandas, "Capacity of rayleigh flat fading channels," *Int. J. Anal. Exp. modal Anal.*, vol. XIII, no. December 2021, hal. 1890–1898, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <https://www.researchgate.net/publication/358692328%0ACAPACITY>
- [6] P. Y. Samosir, N. Pramaita, I. G. A. K. D. D. Hartawan, dan N. M. A. E. D. Wirastuti, "Performance Analysis of MIMO STBC System in Flat Fading and Frequency Selective Fading Channels," *J. Electr. Electron. Informatics*, vol. 3, no. 1, hal. 19, 2019, doi: 10.24843/jeei.2019.v03.i01.p04.
- [7] A. Rizaner, A. H. Ulusoy, dan H. Amca, "Adaptive fuzzy assisted detector under impulsive noise for DVB-T systems," *Optik (Stuttg.)*, vol. 127, no. 13, hal. 5196–5199, 2016, doi: 10.1016/j.ijleo.2016.02.079.
- [8] F. S. Yelvita, "Field Measurement Test On Protection Ratio For Dvb-T2 Interfered By Tv White Space Devices," *J. Ilm. Indones.*, vol. 7, no. 8.5.2017, hal. 2003–2005, 2022.
- [9] I. Eizmendi *et al.*, "DVB-T2: The second generation of terrestrial digital video broadcasting system," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 60, no. 2, hal. 258–271, 2014, doi: 10.1109/TBC.2014.2312811.
- [10] N. Ya'acob *et al.*, "Measurement of digital video broadcasting-second generation terrestrial (DVB-T2) signal in Kuala Lumpur, Malaysia," *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci.*, vol. 13, no. 3, hal. 1286–1293, 2019, doi: 10.11591/ijeecs.v13.i3.pp1286-1293.
- [11] R. Mounzer, Y. Nasser, M. Crussiere, dan J. F. Helard, "Power control optimization for tone reservation based PAPR reduction algorithms," *IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC*, vol. 2014-June, no. 1, hal. 97–102, 2014, doi: 10.1109/PIMRC.2014.7136140.