

ANALISIS PERFORMANSI TV WHITE SPACE UNTUK LAYANAN VIDEO SURVEILLANCE PADA KEBUTUHAN PUBLIC PROTECTION AND DISASTER RELIEF (PPDR)

PERFORMANCE ANALYSIS OF TV WHITE SPACE TECHNOLOGY FOR VIDEO SURVEILLANCE SERVICE IN PUBLIC PROTECTION AND DISASTER RELIEF (PPDR)

Masrizza Kurniawan¹, Ahmad Tri Hanuranto, Ir., M.T.², Ratna Mayasari, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹kurniawanmasrizza@students.telkomuniversity.ac.id, ²athanuranto@telkomuniveristy.ac.id, ³ratnamayasari@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Dalam kehidupan sehari-hari banyak kejadian terjadi, termasuk kejadian yang sebenarnya tidak diharapkan terjadi, seperti bencana maupun kecelakaan. *Public Protection and Disaster Relief* (PPDR) adalah sistem yang dirancang untuk dapat mengurangi, menanggapi, maupun mengatasi dampak kejadian tersebut. Pada area publik yang mengalami suatu kejadian haruslah sangat cepat direspon dan diatasi, oleh karena itu sistem PPDR di beberapa lokasi dibutuhkan kamera pengawasan untuk layanan *video surveillance* agar kejadian yang terpantau dapat ditanggapi secara cepat maupun untuk mengatasi beberapa kasus tertentu seperti identifikasi pelaku kejahatan di area publik. Layanan *video surveillance* merupakan layanan yang termasuk dalam kategori prioritas tertinggi dalam aplikasi layanan PPDR, layanan *video surveillance* juga layanan yang membutuhkan konektivitas *broadband* dengan kebutuhan kecepatan transmisi minimum 384 Kbps.

TVWS (*TV White Space*) merupakan teknologi jaringan nirkabel yang menggunakan frekuensi *TV Analog* yang "kosong" dikarenakan migrasi dari penggunaan *TV analog* ke *TV digital* pada pita 470Mhz-740Mhz untuk digunakan sebagai media transmisi data dengan data rate hingga 13.5Mbps di bandwidth kanal 5MHz dan bahkan hingga 54Mbps di bandwidth kanal 20MHz dan dapat digunakan sebagai alternatif infrastruktur untuk layanan *video surveillance* pada aplikasi PPDR.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan penggunaan kanal frekuensi 46 (674 MHz) dengan konfigurasi 5 MHz memberikan hasil performansi terbaik untuk layanan *video surveillance* pada PPDR dengan nilai interarrival delay 3,89 ms dan nilai PLR 0.41% serta throughput tertinggi hingga 6,33 Mbps dari beberapa skenario yang dilakukan dibanding penggunaan kanal frekuensi lain dimana beberapa hasil menunjukkan tidak dapat digunakan sama sekali.

Kata Kunci: PPDR, *Video Surveillance*, *TV White Space*, *White Space Device*

Abstract

In everyday life many events occur, including events that are actually not expected to occur, such as disasters or accidents. *Public Protection and Disaster Relief* (PPDR) is a system designed to reduce, respond to, and overcome the impact of the incident. In a public area that experiences an event, it must be responded very quickly and overcome, therefore the PPDR system in several locations is required for surveillance cameras for *video surveillance* services so that the observed events can be responded to quickly and to address certain cases such as identification of criminals in the public area. *Video surveillance* services are services that are included in the highest priority category in PPDR service applications, *video surveillance* services are also services that require *broadband* connectivity with a minimum transmission speed of 384 Kbps.

TVWS (*TV White Space*) is a wireless network technology that uses analog TV frequencies that are "empty" due to the migration from analog TV to digital TV in the 470Mhz-740Mhz band to be used as data transmission media with data rates up to 13.5Mbps in 5MHz channel bandwidth and even up to 54Mbps in 20MHz channel bandwidth and can be used as an alternative infrastructure for *video surveillance* services in PPDR applications.

Based on the tests that have been carried out, the use of 46 frequency channels (674 MHz) with a 5 MHz configuration gives the best performance results for *video surveillance* services in PPDR with a delay interarrival value of 3.89 ms and PLR value of 0.41% and the highest throughput of 6.33 Mbps a number of scenarios are performed compared to the use of other frequency channels where some results show that they cannot be used at all.

Keywords: PPDR, *Video Surveillance*, *TV White Space*, *White Space Device*

1. Pendahuluan

Dalam kehidupan sehari-hari banyak kejadian terjadi, termasuk kejadian yang sebenarnya tidak diharapkan terjadi, seperti bencana maupun kecelakaan yang dapat disebabkan oleh *human error* maupun teknis. *Public Protection and Disaster Relief* (PPDR) adalah suatu sistem yang dirancang untuk dapat mengurangi, menanggapi, maupun mengatasi dampak kejadian yang telah disebutkan.

Agar sistem PPDR ini berjalan maksimal dibutuhkan sistem komunikasi yang dapat menyalurkan semua informasi secara cepat dan tepat kepada pihak-pihak yang berwenang. Sistem komunikasi ini harus memberikan kehandalan dalam pengawasan maupun notifikasi kejadian dan respon yang tinggi terutama apabila terjadi bencana atau kecelakaan di area publik.

Pada area publik yang mengalami suatu kejadian haruslah sangat cepat direspon dan diatasi, oleh karena itu sistem PPDR di beberapa lokasi dibutuhkan kamera pengawasan untuk layanan *video surveillance* agar kejadian yang terpantau dapat ditanggapi secara cepat maupun untuk mengatasi beberapa kasus tertentu seperti identifikasi pelaku kejahatan di area publik^[1]. Layanan *video surveillance* merupakan layanan yang termasuk dalam kategori prioritas tertinggi dalam aplikasi layanan PPDR^[20], layanan *video surveillance* juga layanan yang membutuhkan konektivitas *broadband* dengan kebutuhan kecepatan transmisi minimum 384 Kbps.

TVWS (*TV White Space*) merupakan teknologi jaringan nirkabel yang menggunakan frekuensi *TV Analog* yang “kosong” dikarenakan migrasi dari TV analog ke *TV Digital* pada pita 470Mhz-740Mhz untuk digunakan sebagai media transmisi data. Frekuensi yang dapat digunakan juga akan tergantung kembali dengan kompatibilitas perangkat yang digunakan serta regulasi di masing-masing region yang ada. Teknologi TVWS memiliki kelebihan jangkauan yang jauh hingga beberapa kilometer dan propagasi gelombang yang lebih baik^[10].

Secara spesifik, perangkat teknologi TVWS mampu memberikan kecepatan transmisi data 13,5Mbps pada konfigurasi kanal bandwidth 5MHz hingga 54 Mbps pada konfigurasi kanal bandwidth 20MHz dengan jarak jangkauan hingga 10km^[5] sehingga cocok digunakan sebagai alternatif infrastruktur layanan *video surveillance* pada kebutuhan PPDR.

Pada tugas akhir ini dilakukan sebuah penelitian untuk menganalisis performansi teknologi nirkabel *TV White Space* untuk layanan *video surveillance* pada sistem PPDR.

2. Dasar Teori dan Perancangan

2.1. PPDR Overview

Public Protection and Disaster Relief (PPDR) adalah konsep umum untuk mencakupi public safety services seperti emergensi medis, polisi, pemadam kebakaran dan lain-lain. Keandalan PPDR dalam aspek sistem komunikasi merupakan elemen vital untuk menjamin kesuksesan operasi dan keselamatan staf PPDR dalam situasi rutin maupun darurat.

PPDR saat ini menghadapi tantangan untuk membuat jaringan PPDR yang terintegrasi dan mampu menyediakan broadband public safety communication (PSC) untuk memenuhi end-user requirements services.

Terdapat 5 kategori layanan yang dibutuhkan dalam PPDR yang telah diidentifikasi, yaitu:

- a. Layanan Suara
- b. Narrowband Data
- c. Broadband Data
- d. Video
- e. Penggunaan repeater untuk memperluas jangkauan pada rural area

Dalam *ranking of the criticality applications*, layanan *video on location (video surveillance)* yang telah disebutkan merupakan layanan yang berada pada kelas dengan prioritas tertinggi^[20] dengan ketentuan kecepatan transmisi sebesar 384 kbps.

2.2. Aplikasi Video Surveillance pada PPDR^[16]

CCTV adalah salah satu teknologi *surveillance* yang sangat sering diaplikasikan, lebih spesifiknya adalah teknologi dimana satu atau beberapa kamera saling terhubung dalam sirkuit tertutup atau loop dimana gambar yang dihasilkan dikirimkan ke sentral untuk dimonitor atau direkam.

Beberapa sistem CCTV untuk *video surveillance* sangatlah canggih seperti menggunakan fitur pengenalan wajah, mode malam dan lainnya, namun secara mendasar sistem CCTV memiliki konfigurasi dasar seperti :

- a. Satu atau lebih dari satu kamera yang memperlihatkan area public
- b. Sebuah mekanisme untuk mentransmisikan gambar ke satu atau lebih dari satu monitor
- c. Perangkat untuk melakukan pemantauan ataupun perekaman seperti video recorder, komputer, storage untuk penyimpanan.
- d. Petugas pantau atau operator seperti penjaga keamanan ataupun polisi.

Efektifitas CCTV sendiri dapat dirincikan dalam beberapa kasus dan faktor tertentu sebagai berikut :

- a. Implementasi terbaik CCTV adalah pada area kecil namun di definisikan dengan baik seperti titik pandang atau ruangan tertentu pada area public daripada diimplementasikan pada area yang sangat luas sekaligus
- b. CCTV lebih efektif untuk mencegah kejahatan property dibandingkan untuk mencegah kejahatan seperti kekerasan.

- c. Sistem yang terhubung dengan pengawasan langsung oleh pihak berwenang seperti polisi meningkatkan efektifitas dari implementasi video surveillance
- d. Kualitas gambar yang lebih baik akan lebih membantu dalam hal investigasi.

2.3. Teknologi TVWS^{[2][6][7]}

White Space adalah spektrum yang tidak digunakan disetiap pita spektrum yang ada, sedangkan TV White Space adalah spektrum yang tidak digunakan pada pita spektrum televisi, yaitu pada pita VHF atau UHF. Teknologi TV White Space adalah teknologi nirkabel untuk mengirim paket data pada pita frekuensi TV yang tidak digunakan. TV White Space memiliki keunggulan jarak transmisi yang lebih jauh karena karakteristik propagasi dari frekuensi rendah. Perangkat TVWS disebut White Space Device (WSD)

pada tahun 2009 Standar TVWS pertama kali dipublikasikan yaitu standar ECMA-392, MAC dan PHY untuk dapat beroperasi pada TVWS. Standar tersebut menggunakan OFDM PHY dengan modulasi QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Kecepatan data dari ECMA-392 adalah 31.64Mb/s dengan lebar kanal 6, 7, dan 8 MHz yang dapat digunakan pada setiap domain regulasi.

pada juli 2011 Standar IEEE 802.22 dipublikasikan untuk pengembangan MAC dan PHY pada TV White Space sebagai WRAN (Wireless Regional Area Network). Jangkauan yang dapat ditunjang layer MAC adalah maksimum 100km sehingga cocok untuk broadband di area rural.

Pada 2014 dirilis standar IEEE 802.11af sebagai standar dari IEEE untuk WLAN pada operasi TV White Space. IEEE 802.11af merupakan modifikasi dari standar 802.11 dan beberapa WSD ada yang menggunakan standar 802.11af versi draft. PHY di 802.11af berbasis skema OFDM dari 802.11ac dengan modulasi BPSK, QPSK, 16-QAM dan 64-QAM. Lebar kanal 802.11af adalah 6MHz dengan kecepatan 26.7Mbps dengan rentang frekuensi kerja 470-790MHz di region yang telah diatur.

Di Indonesia, aplikasi TVWS pada daerah perkotaan, pinggiran maupun daerah yang kurang berkembang tentu sangat bervariasi. Di daerah perkotaan penggunaan TVWS mungkin sangat terbatas karena terdapat banyak stasiun televisi sehingga menimbulkan masalah interferensi dan kemacetan spektrum, hal ini merupakan salah satu dari masalah koeksistensinya di Indonesia. Di masa depan TVWS dapat digunakan untuk pengembangan telekomunikasi nirkabel untuk akses pita lebar seperti internet maupun telepon pintar. Penggunaan lainnya adalah sebagai sistem pemantau lalu lintas, sistem metering misalnya untuk mencatat penggunaan listrik rumah tangga, sistem smart city misalnya untuk memantau kejadian di jalan raya. Tetapi, dengan ditetapkannya penggunaan siaran televisi digital di Indonesia oleh pemerintah, maka penggunaan TVWS dimungkinkan baik tidak hanya pada daerah perkotaan tetapi juga pinggiran.

2.4. White Space Device (WSD)^{[4][5]}

Salah satu dari White Space Device (WSD) yang ada adalah perangkat Whizrange^{[4][5]}, sebuah perangkat pengembangan perusahaan dari Singapura bernama Whizpace Pte. Ltd. yang menggunakan standarisasi 802.11af. Namun perangkat ini menggunakan standarisasi 802.11af versi draft 1 (tahun 2011) yang merupakan modifikasi awal dari 802.11 agar dapat beroperasi pada TVWS. Hal itu dapat dilihat dari spesifikasi OFDM PHY yang masih menggunakan mode operasi 5MHz yang dapat di channel bonding menjadi operasi 10MHz dan 20MHz untuk data rate yang lebih tinggi namun jangkauan yang lebih rendah serta modulasi BPSK yang hanya ada di standarisasi 802.11af^{[4][8]}. Selain itu standar ini juga hanya mendukung sistem Cognitive Radio dengan memanfaatkan Geolocation Database^[3] yang berisi daftar kanal frekuensi yang telah digunakan sesuai lokasi yang telah ditentukan untuk disinkronisasi dan menghindari masalah interferensi frekuensi. Perangkat ini menggunakan database google sebagai dasarnya namun database google tersebut tidak menyediakan data di Indonesia diakarenakan sumber data yang belum ada^[5].

Secara spesifikasi perangkat ini memiliki kecepatan transmisi hingga 13,5 Mbps pada mode operasi 5MHz dan kecepatan transmisi hingga 54 Mbps pada mode operasi 20MHz dengan jarak hingga 10 km tergantung konfigurasi yang digunakan. Selain itu perangkat whizrange memiliki 14 pilihan kanal frekuensi pada pita 634 MHz- 739 MHz.

2.5. QoS Requirement^{[18][19]}

Berdasarkan standarisasi untuk QoS Requirement seperti ITU-T G.1010 dan 3GPP TS 22.105 tentang untuk layanan multimedia ada rekomendasi nilai parameter yang telah ditentukan sesuai tabel berikut.

Tabel 2.1 Nilai Parameter Standarisasi ITU-T G.1010^[18]

Medium	Application	Degree of symmetry	Typical data rates	Key performance parameters and target values			
				One-way delay	Delay variation	Information Loss	Other
Audio	Conversational Voice	Two-way	4-64 kbps	<150 ms preferred <400 ms limit	< 1 ms	< 3% PLR	

Audio	Voice messaging	Primarily one-way	4-32 kbps	<1 s for playback <2 s for record	< 1 ms	< 3% PLR	
Audio	High quality streaming audio	Primarily one-way	16-128 kbps	<10 s	<< 1ms	< 1% PLR	
Video	Videophone	Two-way	16-384 kbps	<150 ms preferred <400 ms limit		< 1% PLR	Lip-synch: <80ms
Video	One-way	One-way	16-384 kbps	<10 s		< 1% PLR	

Tabel 2.2 Nilai Parameter Standarisasi 3GPP TS 22.105 untuk Layanan Streaming^[19]

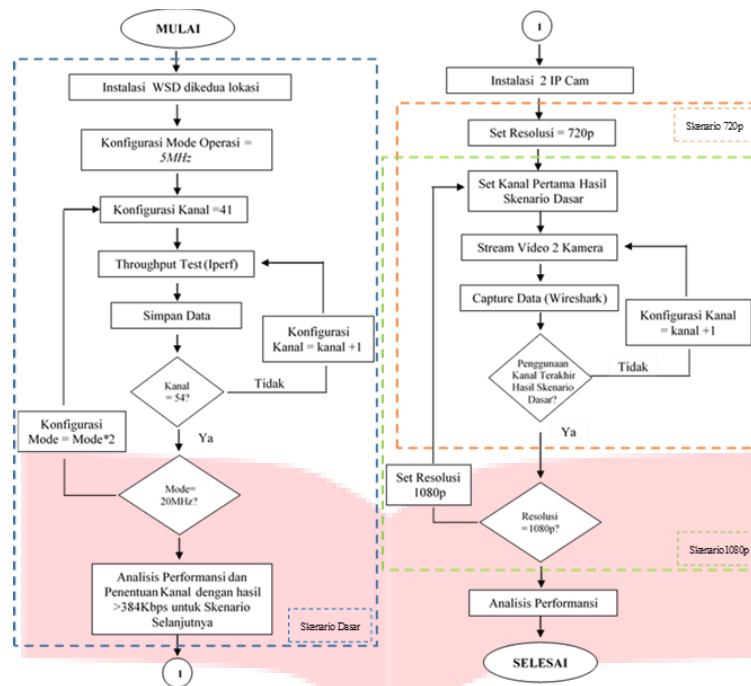
Medium	Application	Degree of symmetry	data rates	Key performance parameters and target values		
				Start-up Delay	Transport delay Variation	Packet Lost at session layer
Audio	Speech, mixed speech and music, medium and high quality music	Primarily one-way	5-128 kb/s	< 10 sec	< 2sec	< 1% Packet loss ratio
Video	Movie clips, surveillance, real-time video	Primarily one-way	20-384 kb/s	< 10 sec	< 2sec	< 2% Packet loss ratio
Data	Bulk data transfer/retrieval, layout and synchronisation information	Primarily one-way	<384 kb/s	< 10 sec	N.A	Zero
Video	Still image	Primarily one-way		< 10 sec	N.A	Zero

2.6. Perancangan Sistem

Dalam sistem yang dirancang, WSD yang mengacu pada poin 2.4 menggunakan standar 802.11af draft 1.0 yang memiliki kecepatan data rate hingga 13.5Mbps di satu kanal bandwidth 5MHz dan mampu beroperasi di mode bandwidth 10MHz dan 20MHz hingga 54Mbps dengan konfigurasi channel bonding namun dengan jangkauan yang menjadi lebih rendah dari konfigurasi satu kanal. Data Transmisi video dua buah kamera bersamaan yang akan dilakukan menggunakan resolusi video 720p dan 1080p di jarak 1.71km dari gedung A ke gedung B.

Perancangan sistem teknologi TVWS untuk layanan video transmisi dapat digambarkan lagi dengan alur pengerjaan yang sesuai dengan skenario yang akan diujikan masing-masing. Terdapat tiga buah skenario yang berbeda, skenario yang dimaksud bertujuan untuk mengetahui ketersediaan frekuensi yang dapat digunakan dan mengukur performa masing-masing yang kemudian akan dibandingkan. Berikut penjelasan, diagram alur dan parameter dari perancangan sistem:

1. Skenario Dasar : Pengujian throughput setiap performansi pada kanal 41-54 sesuai tabel 2.4 dengan bandwidth tiap kanal 5MHz, 10MHz, dan 20MHz tanpa layanan video untuk dianalisa parameter performansinya kemudian dijadikan dasar dari skenario pengujian berikutnya.
2. Skenario 720p : Pengujian performansi layanan video 2 kamera di 720p di mode operasi 5MHz, 10MHz, 20MHz disetiap kanal yang tersedia berdasarkan hasil skenario dasar
3. Skenario 1080p : Pengujian performansi layanan video 2 kamera di 1080p di mode operasi 5MHz, 10MHz, 20MHz disetiap kanal yang tersedia berdasarkan hasil skenario dasar.



Gambar 2.1 Diagram Alir Skenario Pengujian

Pada tugas akhir ini terdapat beberapa parameter pada sistem yang diimplementasikan. Berikut adalah parameter dan spesifikasi dari sistem yang diimplementasikan.

Tabel 2.3 Koordinat lokasi titik pengujian jarak 1.71km

Lokasi	Alamat	Koordinat	Est. Ketinggian
Site A	Jl. Tebet Barat Dalam Raya No.31	6°14'10.7"S 106°50'49.1"E	16m
Site B	Jl. Asem Baris Raya No.1	6°14'30.9"S 106°51'41.2"E	18m

Tabel 2.4 Parameter kamera video CCTV

Resolution	1280x720@30fps 1920x1080@30fps
Video Compression	H.264
Power Supply	PoE (802.3af)
Max. Video Bit Rate	8 Mbps

Sedangkan Untuk spesifikasi dan parameter TVWS dalam implementasi yang dibuat adalah sebagai berikut

Tabel 2.5 Parameter perangkat TVWS

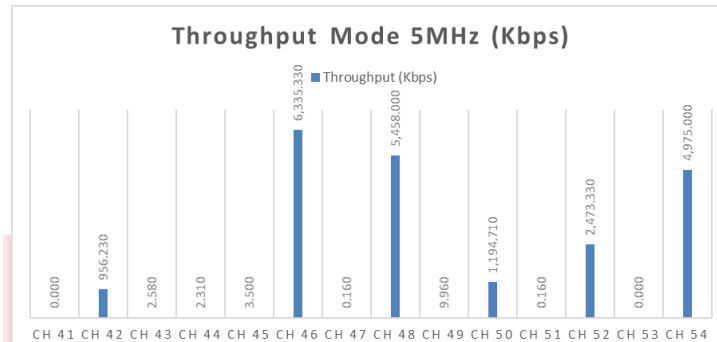
Frequency	634-739MHz
Modulation	OFDM
Channel Bandwidth Operation	5MHz (Single Channel) 10MHz (2 Channel Bonding) 20MHz (4 Channel Bonding)
Number of Channel	41-54
Antenna Model	Internal 6dBi
WSD Transmit Power	27dBm
ESSID	WR_Samudera1

3. Pembahasan

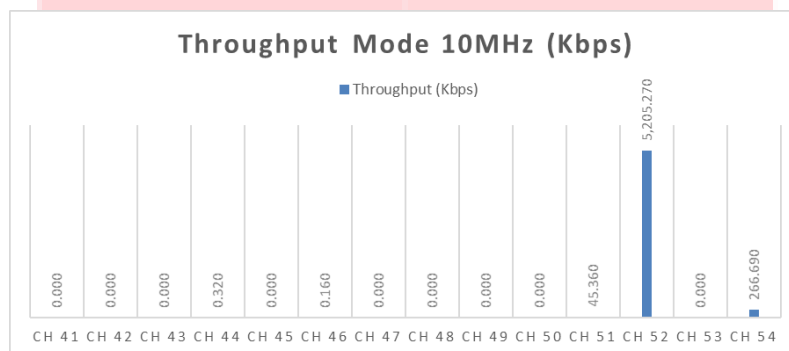
3.1. Hasil Pengujian Skenario Dasar

Skenario dasar adalah sebuah skenario yang secara garis besar bertujuan mencari kanal yang tersedia sebagai dasar kanal yang digunakan pada skenario selanjutnya. Pada skenario ini dilakukan pengukuran throughput disetiap kanal dengan menggunakan tool iperf dimana whizrance station sebagai iperf dan whizrance master sebagai iperf client.

Pengukuran throughput disetiap kanal yang dilakukan secara node to node antara perangkat whizrangle tanpa layanan video ini bertujuan untuk mengetahui performansi dari link TVWS dan juga untuk mengetahui ketersediaan kanal yang benar-benar dapat digunakan untuk layanan video. Pengujian ini diawali dengan melakukan ping test sebanyak 100 paket dan dilanjutkan dengan pengukuran throughput menggunakan tool iperf selama 3 menit dan diulang sebanyak 30 kali kemudian membandingkan penggunaan tiap kanal dengan memperhatikan factor pengukuran seperti link quality.



Gambar 3.1 Hasil pengujian mode operasi 5 MHz



Gambar 3.2 Hasil pengujian mode operasi 10 MHz

Untuk penggunaan mode operasi 20MHz tidak dapat memberikan hasil pengukuran apapun dikarenakan pada penggunaan mode operasi 20MHz dua perangkat tidak dapat terhubung satu sama lain atau tidak ada koneksi yg berhasil.

Hasil terbaik diperoleh saat pengujian menggunakan kanal 46 dengan nilai throughput yang didapat adalah 6,3Mbps pada mode operasi 5MHz. Penggunaan kanal frekuensi yang memberikan hasil pengukuran baik memiliki nilai pengukuran link quality pada perangkat >40 dari maksimal 70. Sedangkan kanal yang terpantau memiliki nilai pengukuran link quality yang rendah tidak dapat memberikan nilai throughput yang memenuhi standar kecepatan transmisi yang diperlukan.

Dari hasil pengujian ini, kanal yang dapat digunakan untuk skenario sebelumnya adalah kanal 42, 46, 48, 50, 52, dan 54 pada mode operasi 5MHz dan kanal 52 pada mode operasi 10MHz.

3.2. Hasil Pengujian Skenario 720p

Setelah mengetahui performansi transmisi dari teknologi TVWS dengan pengukuran dasar, pengujian transmisi data video dilakukan untuk dapat diukur secara end to end dengan parameter interarrival delay, throughput data videonya, dan packet loss ratio yang bertujuan untuk melihat performansi teknologi TVWS dalam penggunaan nyata khususnya untuk aplikasi layanan video surveillance. Kanal yang dapat digunakan berdasarkan pengujian skenario dasar yaitu kanal 42, 46, 48, 50, 52, dan 54 pada mode operasi 5MHz dan kanal 52 pada mode operasi 10MHz. Resolusi video yang dilewatkan pada skenario ini adalah 1280x720 dengan frame rate 30 fps. Pengukuran dilakukan menggunakan perangkat lunak wireshark.

Tabel 3.1 Hasil pengukuran skenario 720p mode operasi 5MHz

CH	Freq (MHz)	Link Quality (0-70)	Signal (dBm)	Noise Level (dBm)	Delay 1 (ms)	Delay 2 (ms)	PLR 1 (%)	PLR 2 (%)	Throughput 1 (Kbps)	Throughput 2 (Kbps)	Total Throughput (Kbps)
42	641	26	-40	-67	22.60	30.87	21.32	21.33	304.747	217.411	522.158
46	674	39	-55	-94	11.57	14.27	0.10	0.17	769.367	639.544	1,408.911
48	689	41	-57	-98	12.31	15.52	0.10	0.12	728.469	595.195	1,323.664
50	706	40	-59	-99	17.53	18.37	0.03	0.05	396.362	408.021	804.383

52	721	45	-57	-103	17.35	17.83	0.06	0.06	422.489	391.456	813.946
54	739	45	-57	-103	16.24	18.15	0.09	0.12	496.316	403.665	899.980

Tabel 3.2 Hasil pengukuran skenario 720p mode operasi 10 MHz

CH	Freq (MHz)	Link Quality (0-70)	Signal (dBm)	Noise Level (dBm)	Delay 1 (ms)	Delay 2 (ms)	PLR 1 (%)	PLR 2 (%)	Throughput 1 (Kbps)	Throughput 2 (Kbps)	Total Throughput (Kbps)
52	719	41	-56	-96	11.86	14.80	0.09	0.13	758.112	628.245	1386.357

Dari tabel 3.1 dan table 3.2 Hasil delay pada seluruh kanal mode operasi 5MHz maupun 10MHz masih dalam standar yang ditentukan dimana seluruh nilainya <10s, namun saat penggunaan kanal 42 menghasilkan nilai yang paling buruk dibanding kanal lainnya dan hal tersebut dipengaruhi oleh nilai link quality yang paling rendah saat pengujian ini dilakukan yaitu 26/70. nilai delay terbaik adalah saat penggunaan kanal 46 sebesar 11,57ms pada transmisi kamera 1 dan 14,27ms pada transmisi kamera 2.

Untuk parameter PLR, data pada kanal 42 kembali menjadi hasil yang sangat buruk dimana nilai PLR adalah sebesar 21,32% pada transmisi kamera 1 dan 21,33% pada transmisi kamera 2. Kanal dengan hasil terbaik untuk parameter PLR saat ini bukan lagi dimiliki oleh kanal 46 melainkan dimiliki oleh kanal 50 dengan hanya 0,05% pada transmisi kamera 1 dan 0,05% pada transmisi kamera 2. Berdasarkan standar layanan yang ditentukan yaitu nilai PLR <2% maka hanya penggunaan kanal 42 yang tidak boleh digunakan karena nilainya jauh dibawah standar yang ditentukan.

Untuk parameter throughput dapat dilihat bahwa kanal yang memiliki total nilai throughput tertinggi adalah kanal 46 dan hasil terburuk tetap diperoleh saat penggunaan kanal 42.

Dalam skenario ini nilai throughput yang terukur ternyata lebih rendah dari throughput yang sebenarnya dapat dicapai pada pengujian skenario dasar tanpa trafik video. Perbedaan ini terjadi karena pada konfigurasi video 720p besaran paket yang dikirimkan tiap detiknya telah diatur sesuai konfigurasi resolusi dan kompresi video sehingga tidak mengharuskan penggunaan bandwidth yang lebih besar dari formatnya.

3.3. Hasil Pengujian Skenario 1080p

Pengukuran performansi teknologi TVWS untuk layanan video 1080p bertujuan untuk merepresentasikan manfaat dari aplikasi video surveillance yang apabila menggunakan resolusi yang lebih tinggi maka informasi yang disampaikan lebih jelas dan bermanfaat untuk berbagai kebutuhan contohnya untuk penyelidikan suatu kasus. Selain itu dengan resolusi yang lebih besar maka beban trafik data yang dilewatkan akan lebih besar sehingga dapat diukur kembali potensi performansi dari teknologi TVWS dimana salah satu keterbatasannya adalah data rate yang tidak lebih besar daripada media transmisi kabel. Metode pengujian pada skenario ini masih sama persis dengan skenario sebelumnya yaitu menggunakan perangkat lunak wireshark untuk memonitor trafik video yang dilewatkan dan kemudian untuk dianalisa.

Tabel 3.3 Hasil pengukuran skenario 1080p mode operasi 5MHz

CH	Freq (MHz)	Link Quality (0-70)	Signal (dBm)	Noise Level (dBm)	Delay 1 (ms)	Delay 2 (ms)	PLR 1 (%)	PLR 2 (%)	Throughput 1 (Kbps)	Throughput 2 (Kbps)	Total Throughput (Kbps)
42	641	26	-40	-66	N/A	N/A	100.00	100.00	0.000	0.000	0.000
46	674	46	-53	-99	3.89	5.62	0.41	0.69	3,163.546	2,001.426	5,164.972
48	689	48	-54	-103	3.94	5.76	0.58	1.00	2,841.194	1,959.142	4,800.336
50	706	44	-59	-104	14.59	10.85	1.52	1.24	921.268	1,183.780	2,105.048
52	721	50	-57	-107	12.87	11.34	1.72	1.65	843.464	951.664	1,795.128
54	739	47	-57	-103	9.20	9.56	0.21	0.14	1,070.529	1,033.799	2,104.328

Tabel 3.4 Hasil pengukuran skenario 1080p mode operasi 10MHz

CH	Freq (MHz)	Link Quality (MHz)	Signal (MHz)	Noise Level (MHz)	Delay 1 (ms)	Delay 2 (ms)	PLR 1 (%)	PLR 2 (%)	Throughput 1 (Kbps)	Throughput 2 (Kbps)	Total throughput (Kbps)
52	719	49	-54	-103	3.66	5.59	0.58	0.83	2,947.575	2,004.509	4,952.084

Berdasarkan tabel 3.3 pada pengujian ini pada kanal 42 dengan mode operasi 5MHz tidak dapat dilakukan pengujian dan nilai "N/A" menunjukan beberapa pengukuran tidak bisa dihasilkan karena kualitas kanal yang buruk terlihat dari link quality sebesar 26/70 saat pengujian dilakukan dan selalu gagal untuk melakukan stream video pada 1080p. Pada skenario resolusi 1080p antara mode operasi 5MHz, hasil pengukuran hanya dapat dibandingkan pada kanal 46, 48, 50, 52, 54 yang ditunjukkan oleh hasil link quality yang terukur lebih baik dari skenario sebelumnya.

Hasil performansi parameter *interarrival delay* dari table 3.3 dan table 3.4 menunjukan bahwa secara keseluruhan penggunaan kanal dengan mode operasi 5MHz kecuali kanal 42 dan mode operasi 10MHz

menghasilkan nilai yang masuk dalam standar yang ditentukan yaitu $<10s$. Namun apabila dibandingkan dengan hasil pengukuran pada skenario 720p secara keseluruhan hasil pengukuran skenario 1080p justru menunjukkan hasil yang lebih baik dimana apabila kita ambil contoh untuk kanal 50 sebagai pemilik nilai delay tertinggi pada skenario ini masih lebih baik dari pada nilai delay kanal 50 pada skenario 720p yaitu 14,59 ms pada skenario 1080p ini dibanding 17,53ms pada skenario 720p. Hal ini menunjukkan peningkatan resolusi tidak berarti membuat performansi pada parameter delay menjadi lebih buruk pula atau bisa dibilang tidak memiliki pengaruh yang sebanding.

Untuk performansi parameter PLR, penggunaan kanal 42 memberikan hasil terburuk dimana dalam pengujian skenario ini kanal 42 yang sebelumnya dapat digunakan, menjadi tidak dapat digunakan karena beban trafik yang meningkat, namun untuk hasil kanal yang lain apabila diperhatikan dari tabel 3.3 dengan tabel 3.1 menunjukkan bahwa penggunaan resolusi yang lebih tinggi menyebabkan peningkatan nilai dari PLR dimana pada skenario ini dalam penggunaan beberapa kanal ada yang memiliki nilai terukur $>1\%$ namun masih $<2\%$ yaitu kanal 48, 50, 52. Berdasarkan standar yang ada, terdapat perbedaan nilai yang ditentukan sesuai standarnya yang disebutkan dalam tabel 2.5 untuk parameter PLR adalah $<1\%$ dan dalam tabel 2.6 untuk parameter PLR adalah $<2\%$. Hal ini menyebabkan untuk kanal 48, 50, dan 52 tidak dapat digunakan dalam standar tertentu sehingga untuk skenario ini lebih baik menggunakan kanal yang 46 dan 54 yang memiliki nilai parameter PLR $<1\%$.

Berdasarkan perbandingan nilai throughput pada skenario 1080p, data antar kanal menunjukkan hasil terbaik diperoleh dengan penggunaan kanal 46 dimana total throughputnya adalah 5.164,97 Kbps dengan rincian tiap transmisi kameranya adalah 3.163,54 Kbps pada transmisi kamera 1 dan 2.001,43 Kbps pada transmisi kamera 2. Selanjutnya, berdasarkan perbandingan nilai throughput skenario 1080p dengan skenario 720p pada mode operasi 5MHz maupun 10MHz menunjukkan bahwa kapabilitas teknologi TVWS pada setiap kanalnya mampu melewati informasi yang lebih banyak dan hasil throughputnya mendekati hasil skenario dasar. Bahkan untuk penggunaan kanal 50 menghasilkan nilai total throughput yang lebih daripada nilai throughput skenario dasar yaitu 2.105,05 Kbps pada skenario 1080p dengan 1.194,71 Kbps pada skenario.

Namun dalam skenario ini ataupun skenario dasar penggunaan mode operasi 10MHz tidak dapat memberikan hasil yang lebih baik daripada penggunaan mode operasi 5MHz yaitu hanya 4.952,09 Kbps pada hasil terbaik dengan mode operasi bandwidth 10MHz dibanding total 5.164,97 Kbps pada hasil terbaik dengan mode operasi bandwidth 5MHz pada skenario ini. Hal tersebut menjadi pertimbangan yang sangat penting dalam penggunaan mode operasinya karena berdasarkan teori, penggunaan mode operasi 10MHz dapat memberikan kecepatan transmisi yang lebih tinggi.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil implementasi, pengujian, dan analisis pada tugas akhir ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut

1. Implementasi Teknologi TVWS untuk aplikasi layanan video surveillance pada aplikasi PPDR di Indonesia berhasil dilakukan dan dari hasil pengujian skenario dasar dapat diketahui tidak semua kanal frekuensi yang kompatibel dengan perangkat whizrage dapat digunakan, hal ini berhubungan dengan kondisi dan masalah koeksistensi dari TVWS di Indonesia dimana penggunaan TVWS terutama dalam perkotaan masih sulit dikarenakan penggunaan frekuensi yang tidak benar-benar kosong.
2. Penggunaan Mode operasi 20MHz tidak memungkinkan karena lebarnya penggunaan bandwidth kanal yang harus digunakan tidak sesuai dengan kanal yang tersedia untuk digunakan.
3. Penggunaan Mode operasi 10MHz menyebabkan pergeseran penggunaan frekuensi serta hanya bisa digunakan pada kanal 52 dengan frekuensi 719MHz
4. Berdasarkan parameter interarrival delay yang diperoleh pada semua skenario transmisi video pada mode operasi 5MHz, kanal 46 merupakan kanal terbaik untuk digunakan dengan nilai delay tiap transmisi kameranya adalah 3,89ms dan 5,62ms pada skenario 1080p, 11,57ms dan 14,27ms pada skenario 720p. Nilai tersebut adalah nilai terbaik dari semua kanal lainnya. Sedangkan untuk mode operasi bandwidth 10MHz hanya memiliki hasil kanal 52 dengan nilai 3,66ms dan 5,59ms pada skenario 1080p, dan 11,86ms dan 14,80ms pada skenario 720p
5. Penggunaan resolusi yang lebih tinggi tidak memberikan dampak penurunan performansi terhadap parameter delay dimana nilai delay dalam skenario 1080p justru lebih baik daripada nilai delay dalam skenario 720p.
6. Berdasarkan parameter PLR, kanal terbaik untuk digunakan dalam mode operasi 5MHz adalah kanal 46 dan kanal 54 karena dua kanal tersebut memenuhi semua standar yang ada dan ditentukan dimana PLR $<1\%$ dalam skenario 720p maupun skenario 1080p, sedangkan kanal 48, 50, dan 52 dalam skenario 1080p tidak memenuhi salah satu standar PLR $<1\%$ walaupun dalam penggunaan standar lainnya dengan PLR $<2\%$ masih dianggap memenuhi.
7. Berdasarkan Parameter throughput, penggunaan mode operasi 10MHz yang seharusnya memberikan transmisi yang lebih baik menunjukkan nilai yang tidak dapat memberikan hasil lebih baik daripada penggunaan sebuah kanal mode operasi 5MHz sehingga berdasarkan parameter ini masih lebih baik

apabila menggunakan mode operasi 5MHz saja dalam implementasi TVWS untuk layanan video surveillance.

8. Kanal 46 mode operasi 5 MHz memberikan hasil pengukuran throughput terbaik dengan nilai total throughput 6.335,33 Kbps dalam skenario dasar, total throughput tertinggi dalam skenario 720p yaitu 1.408,91 Kbps, dan total throughput tertinggi dalam skenario 1080p yaitu 5.164,97 Kbps.
9. Dari seluruh skenario yang dilakukan penggunaan kanal 46 dengan mode operasi 5MHz memberikan hasil yang paling baik dalam hampir seluruh aspek parameter dan standar, sehingga penggunaan kanal ini sangat direkomendasikan

Saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan perbandingan performansi dengan teknologi wireless lainnya seperti Wi-Fi 2.4GHz.
2. Perlu diperhitungkan lebih detail mengenai faktor-faktor eksternal yang dapat mengganggu kualitas kanal pada TVWS
3. Perlu dilakukan implementasi untuk aplikasi lain terutama dalam jarak yang lebih jauh.
4. Perlu dilakukan penelitian mengenai keamanan jaringan penggunaan teknologi TVWS.

Daftar Pustaka:

- [1] Henryk Gierzal, "Migration Towards Broadband PPDR Networks", Federated Conference on Computer Science and Information System pp. 151-158, 2015.
- [2] Tuncer Baykas, Mika Kasslin, Mark Cummings, Hyunduk Kang, Joe Kwak, Richard Paine, Alex Reznik, Rashid Saeed, and Stephen J. Shellhammer. "Developing a Standard for TV White Space Coexistence: Technical Challenges and Solution Approaches". IEEE Wireless Communications, Vol. 19, No. 7, February 2012.
- [3] Demian Lekomtev and Roman Marsalek, "Comparison of 802.11af and 802.22 standards – physical layer and cognitive functionality" Journal of Elektrovrevue ISSN: 1213-1539, Vol. 3, No. 2, June 2012.
- [4] "IEEE P802.11af™/D1.02 Draft Standard for Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements – Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications Amendment 3: TV White Spaces Operation U.S.", June 2011.
- [5] "Whizrange User Manual Ver. 1.8." Whizpace Pte. Ltd. , 2017.
- [6] Kiki Prawiroredjo dan Tjandra Susila, "TANTANGAN DAN SOLUSI APLIKASI TELEVISI WHITE SPACE DI INDONESIA", Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Universitas Trisakti, Volume 11, Nomor 2, Februari 2014, Halaman 12 - 24, ISSN 1412-0372.
- [7] Moshe T. Masonta and Mjumo Mzyece, "Television White Space (TVWS) Access Framework for Developing Regions", Department of Electrical Engineering Tshwane University of Technology (TUT) Pretoria.
- [8] Rashid A. Saeed and Stephen J. Shellhammer, "TV White Space Spectrum Technologie. Regulations, Standards, and Applications", CRC Press by Tylor & Francis Group, 2011.
- [9] Aboul-Magd, Osama. 2011. "Wireless Local Area Networks Quality of Service: An Engineering Perspective". IEEE.
- [10] Lessy Sutiyono Aji, Gunawan Wibisono, dan Dadang Gunawan, "The Adoption of TV White Space Technology as a Rural Telecommunication Solution in Indonesia", Fakultas Teknik Elektro Universitas Indonesia, 2017.
- [11] "DS-2CD2120F-I IP Camera Datasheet", Hikvision, 2014.
- [12] ITU-T, "SERIES G : TRANSMISSION SYSTEM AND MEDIA, DIGITAL SYSTEM AND NETWORK Quality of service performance" End-user multimedia QoS categories, pp. 1 - 10, 2011.
- [13] R. L. Freeman, "Telecommunication Transmission Handbook", New Jersey: Wiley and Sons, 1998.
- [14] Sutrisno, "Microwave Link Design", Bandung Polytechnics, Bandung, 2011.
- [15] Campbell Scientific Inc, "The Link Budget and Fade Margin", App. Note Code 3RF-F, 2016.
- [16] Ratcliffe Jerry, "Video Surveillance of Public Places", Problem-Oriented Guide for Police Response Guides Series, U.S Departemet of Justice, No. 4.
- [17] "H.264+ Bit Rate Chart", Hikvision Technical Bulletin, January 2015.
- [18] ITU-T Recommendation G.1010: "End-user multimedia QoS categories", URL: <http://www.itu-t.org>.
- [19] 3GPP, "Technical Specification Group Services and System Aspects Service aspects; Services and Service Capabilities", TS 22.105 V6.0.0 (2002-09) (Release 6), URL: <http://www.3gpp.org>.
- [20] "User Requirement Specification; Mission Critical Broadband Communication Requirements," ETSI TR 102 022-1, 2012.