

# Analisa Karakteristik Kanal HF Lintasan Jamak

Rizki Nugraha Hidayat<sup>1\*</sup>, Umairah<sup>2</sup>, Said Attamimi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PT. Aplikanusa Lintasarta, Jakarta

<sup>2</sup>Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta

\*rizkinugrahbasic@gmail.com

**Abstrak**— Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia. Oleh karena itu, diperlukan konsep dan perencanaan sistem komunikasi jarak jauh yang murah dan handal agar bisa terhubungnya komunikasi di wilayah kepulauan yang relatif sulit dijangkau oleh sistem kabel yang sudah terhubung saat ini. Sistem komunikasi *high frequency* (HF) yang beroperasi pada frekuensi 3-30 MHz. Sistem ini memanfaatkan lapisan ionosfer sebagai media transmisi gelombang radionya. Lapisan ionosfer sangat dipengaruhi oleh aktivitas matahari dan perubahan waktu sepanjang hari. Hal ini berakibat timbulnya gangguan-gangguan ionosfer yang menyebabkan kinerja sistem komunikasi HF terganggu juga kondisi dimana terdapat interferensi ketika sinyal lebih dari satu jalur pada saat ditransmisikan hal ini dinamakan *multipath* atau lintasan jamak. Karakteristik kanal HF menjadi hal yang sangat penting. Dengan mengetahui karakteristik kanal HF yang tepat kita dapat mencapai kinerja sistem komunikasi yang lebih baik. Perubahan kondisi lapisan ionosfer berpotensi mempengaruhi kinerja sistem komunikasi HF yang disebabkan oleh nilai *delay spread*. Pada penelitian ini dilakukan analisa parameter karakteristik kanal HF mengenai *power delay profile* dan *delay spread* yang dilakukan dengan uji simulasi. Berdasarkan hasil percobaan dalam kurun waktu 2 bulan. Dilakukan sebanyak 8 kali percobaan dalam 4 waktu yang berbeda. Menghasilkan nilai *delay spread* maksimal terjadi pada pagi hari yaitu bernilai 124,1 ms berbeda dengan sore hari yang memiliki nilai 41 ms.

**Kata Kunci**—HF lintasan jamak, respon impuls, power delay profile, delay spread, karakterisasi kanal.

DOI: 10.22441/jte.2020.v11i3.002

## I. PENDAHULUAN

Berdasarkan undang-undang No. 17 (1985) tentang hukum laut kondisi geografis Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan wilayah laut 5,9 juta km<sup>2</sup> dan jumlah pulau 17.504. Oleh karena itu, diperlukan konsep dan perencanaan pembangunan sistem komunikasi jarak jauh yang murah dan handal agar bisa terhubungnya komunikasi di wilayah kepulauan yang relatif tertinggal, terluar dan terpencil di Indonesia, yang sulit dijangkau oleh sistem komunikasi kabel. Menurut *Australian Government* (2007) Sistem komunikasi *high frequency* (HF) yang beroperasi pada frekuensi 3-30 MHz dengan menggunakan pita lebar dapat dimanfaatkan sebagai pendukung infrastruktur sistem komunikasi darurat berkualitas

tinggi yang handal, misalnya komunikasi ketika bencana darurat, monitoring daerah rawan bencana, dan sebagainya [1].

Menurut McNamara (1991) Sistem komunikasi HF telah dikembangkan sejak tahun 1950-1960 sebagai tulang punggung sistem komunikasi jarak jauh, sebelum lahirnya teknologi satelit pada awal tahun 1970an. Sistem komunikasi ini memanfaatkan lapisan ionosfer sebagai media transmisi gelombang radionya. Lapisan ionosfer sangat dipengaruhi oleh aktivitas matahari. Lapisan ionosfer dibagi dalam 3 lapisan yaitu lapisan D, E dan F. Lapisan ini bersifat dinamis karena dipengaruhi oleh perubahan waktu sepanjang hari serta perbedaan ketinggian lapisan ionosfer. Ketika siang hari lapisan F terbagi menjadi 2 lapisan yaitu lapisan F1 dan F2, namun ketika malam hari lapisan D menghilang dan lapisan F kembali menjadi hanya satu lapisan saja, sehingga menyebabkan gangguan pada transmisi sinyal pada sistem komunikasi HF [2]. Selain itu, menurut Lastocvicka (2014) seperti kondisi dimana terdapat interferensi ketika sinyal memiliki lebih dari satu jalur pada saat ditransmisikan hal ini dinamakan *multipath* atau lintasan jamak. Fenomena ini berpotensi mempengaruhi kinerja sistem komunikasi HF yang disebabkan oleh nilai *delay spread* dan variasi waktu yang lebih besar dibanding dengan daerah-daerah pada garis lintang yang lebih tinggi [3].

Parameter mengenai *delay spread* diperlakukan untuk mengetahui karakteristik kanal HF. Hal ini diperlakukan sebagai rekomendasi dalam melakukan perancangan sistem komunikasi HF, dengan mengetahui karakteristik kanal HF yang tepat, kita dapat mencapai kinerja sistem komunikasi yang lebih baik. Dengan demikian, pada tugas akhir ini dilakukan pengolahan data statistik mengenai daya terima dan delay berdasarkan uji simulasi *ray tracing* propagasi gelombang radio HF untuk mengetahui parameter karakteristik kanal HF.

## II. PENELITIAN TERKAIT

Berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan, maka dilakukan berbagai pengamatan terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem analisa yang akan dibuat menjadi salah satu acuan penulis dalam melakukan penelitian, sehingga penulis dapat memperbanyak referensi teori yang digunakan. Penulis menggunakan beberapa referensi penelitian dalam memperbanyak bahan kajian pada penelitian penulis. Berikut merupakan penelitian – penelitian terdahulu sebagai tolak ukur dan referensi berupa beberapa jurnal terkait dengan penelitian yang dilakukan penulis.

Penelitian dari Jan Lastocvicka, Alaiian Bourdillon (2014) pada jurnal yang berjudul “*Ionospheric effect on terrestrial communications : Working Group 3 overview*”. Penelitian ini menyimpulkan bahwa persentase kontribusi dari proses osilasi

lapisan ionosfer F2 telah terjadi penambahan persentase waktu ketika proses isolasi berlangsung. Pentingnya identifikasi / karakterisasi suatu sumber utama osilasi gelombang untuk mengetahui efek penyimpangan yang dapat mengganggu kualitas sistem komunikasi gelombang HF. Informasi mengenai permasalahan *large-scale* pada ionosfer, kemudian selanjutnya akan menjadi referensi apa saja permasalahan yang dapat diidentifikasi dalam penelitian karakterisasi kanal HF.

Selanjutnya penelitian dilakukan Indah Kurniawati, Prasetiyono Hari Mukti, Roberto Corputty, Gamantyo Hendrantoro (2014) pada penelitian yang berjudul “*Complex Impulse Response and Power Delay Profile Characteristics in Low Latitude Region*”. Penelitian tersebut dilakukan untuk memperoleh parameter *power delay profile* dan *delay spread* pada sistem komunikasi HF lintasan Surabaya – Merauke. Kemudian hasil data yang diperoleh dibandingkan dengan hasil statistik parameter jalur lintasan Kupang [4]. Sebagai referensi, jurnal tersebut berisikan karakteristik kanal HF yang dapat dikembangkan kembali dengan data statistik uji sistem yang berbeda dan metode yang berbeda yaitu jarak lintasan Jakarta – Merauke dengan metode simulasi menggunakan perangkat lunak PropLab V3.

Selanjutnya penelitian dilakukan Brian E. Fischer dan Ivan J. LaHaie (2015) pada penelitian yang berjudul “*Measuring the Isolation of the Circularly Polarized Characteristic Waves in NVIS Propagation*”. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui hasil perhitungan isolasi (pemisahan) lintasan jamak. Propagasi *ordinary* (O) dan *extraordinary*(X) menggunakan metode *Near Vertical Incidence Skywave* (NVIS) diperoleh hasil sebesar 25dB dalam waktu tertentu [5]. Beberapa teori mengenai kanal HF yang dianalisa dalam jurnal tersebut dapat digunakan untuk penelitian ini, dengan mengacu pada karakterisasi kanal HD dengan pengamatan hasil propagasi yang diperoleh dalam waktu yang telah ditentukan menggunakan Frekuensi kerja 7MHz. Data selanjutnya disimulasikan dengan jarak pengirim dan penerima yang lebih jauh.

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara kuantitatif dengan pengukuran dan pengambilan data skenario delapan kali percobaan diantaranya dilakukan empat kali dalam bulan April dan empat kali dalam bulan Juni yaitu pada waktu pagi, siang, sore dan malam hari berdasarkan Tabel 1.

Tabel 1. Waktu Skenario Simulasi *Ray Tracing*

Waktu Simulasi <i>Ray Tracing</i>	
22 April 2020	25 Juni 2020
07:00 WIB	07:00 WIB
12:00 WIB	12:00 WIB
17:00 WIB	17:00 WIB
22:00 WIB	22:00 WIB

Parameter karakterisasi kanal menggunakan frekuensi kerja 7 MHz dengan jarak lintasan Jakarta – Merauke, Pengolahan

data dilakukan berdasarkan uji simulasi menggunakan *software* PropLab uji simulasi ini disebut *ray tracing*. Hasil *ray tracing* dikonversikan untuk dianalisa yang kemudian dapat diambil hasil analisa penelitian dan kesimpulan.

Studi literatur dipelajari mengenai cara kerja sistem komunikasi HF dan pengembangan penelitian karakterisasi kanal HF. Hasil uji statistik menggunakan perangkat lunak PropLabPro. Setelah dilakukan uji sistem, data hasil pengukuran diolah menjadi parameter *power delay profile* (PDP) untuk mendapatkan nilai statistic dari *delay spread*.

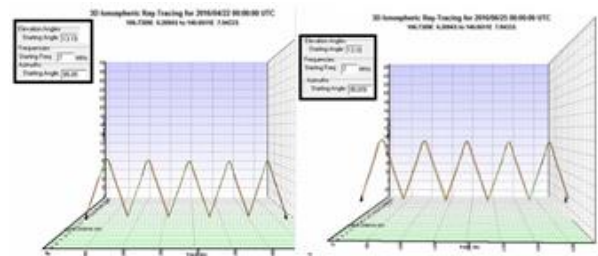
Penerapan sistem, menerapkan secara permasalahan sistem komunikasi HF yang terjadi denganc ara analisa karakterisasi kanal sebagai dasar preancangan sistem komunikasi HF.

### IV. HASIL DAN ANALISA

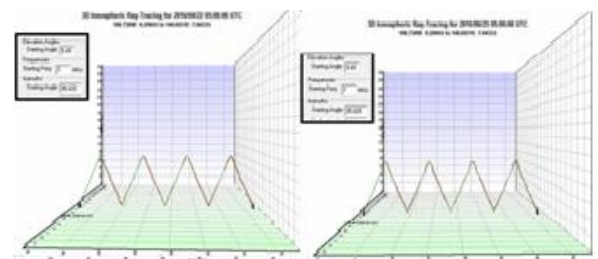
Hasil yang diperoleh berdasarkan proses uji simulasi berupa gambar arah gelombang sinus yang berisi jumlah pantulan *hop* dari titik Jakarta-Merauke.

#### A. Tahapan *Ray Tracing*

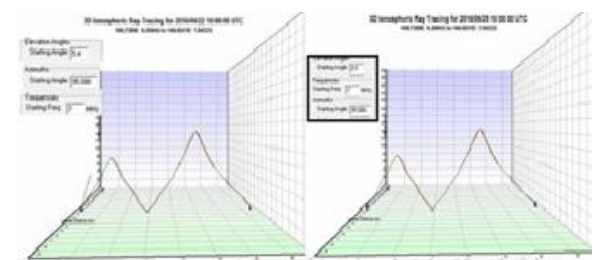
Gambar 1, 2, 3 dan 4 menggambarkan jumlah *hop* yang berbeda di tiap waktu. Pagi 5 *hop*, siang 4 *hop*, sore 2 *hop* dan malam 2 *hop*. Selain jumlah *hop* / pantulan yang berbeda tinggi pantulan ionosfernya berbeda juga. Pada malam hari lapisan ionosfer D yang merupakan lapisan terendah (80 km) menghilang, sehingga pantulan ionosfernya pun lebih tinggi.



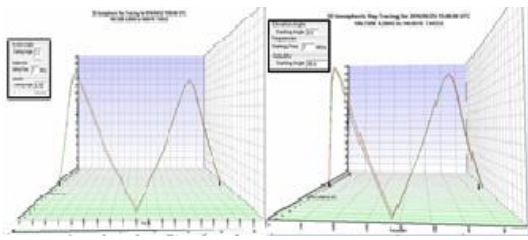
Gambar 1. *Ray tracing* 07:00



Gambar 2. *Ray tracing* 12:00



Gambar 3. *Ray tracing* 17:00



Gambar 4 Ray Tracing 22:00

**B. Tahapan Konversi Hasil Ray Tracing**

Hasil ray tracing kemudian dikonversikan kedalam bentuk tabel yang berisi parameter simulasi diantaranya azimuth dan elevasi pada jam-jam tertentu, kualitas sinyal, jarak terrestrial dari Jakarta – Merauke, total jarak berdasarkan arah propagasi gelombang dari Jakarta-Merauke serta jumlah hop / pantulan ionosfer pada kedua tipe gelombang lintasan ordinary dan extraordinary. Delay diperoleh berdasarkan total jarak (km) dibagi jumlah kecepatan cahaya.

Tabel 2. Tabel Konversi 07:00

T	Jarak	Sinyal	Elev	Azi	Total Jarak	Delay
1	790	25.32	13.19	95.03	822	2.74 ms
1	1556	12.12	13.19	95.02	1618	5.39 ms
1	2305	1.16	13.19	95.02	2397	7.9 ms
1	3037	-9.37	13.19	95.01	3160	10.53 ms
1	3759	-19.45	13.19	95.01	3913	13.04 ms
-1	787	25.07	13.19	95.05	818	2.72 ms
-1	1550	11.56	13.19	95.04	1612	5.39 ms
-1	2295	0.29	13.19	95.03	2388	7.99 ms
-1	3026	-10.61	13.19	95.02	3149	10.49 ms
-1	3746	-21	13.19	95.01	3900	13 ms

Pada Tabel 2 dan Tabel 3 Perbandingan antara pagi dan siang. Jumlah hop pagi hari yaitu 5 dengan nilai delay 13 ms yang lebih besar dari siang hari yang jumlah hopnya 4 dan delay 12.7 ms.

Tabel 3. Tabel Konversi 12:00

T	Jarak	Sinyal	Elev	Azi	Total Jarak	Delay
1	933	23.3	9.49	95.01	958	3.19 ms
1	1869	9.01	9.49	95.01	1918	6.39 ms
1	2806	-2.65	9.49	95.01	2881	9.6 ms
1	3746	-12.8	9.49	95.01	3846	12.82 ms
-1	931	22.94	9.49	95.02	956	3.18 ms
-1	1864	8.28	9.49	95.02	1913	6.37 ms
-1	2797	-3.81	9.49	95.01	2872	9.57 ms
-1	3735	-17.5	9.49	95.01	3835	12.7 ms

Berdasarkan Tabel 4 saat sore hari delay yang dihasilkan yaitu 12,8 ms dengan nilai sinyal yang lebih besar dibandingkan pada saat kondisi pagi dan siang. Hal ini dikarenakan jumlah hop pada saat sore hari lebih sedikit yaitu hanya 2 hop / pantulan saja.

Tabel 4. Tabel Konversi 17:00

T	Jarak	Sinyal	Elev	Azi	Total Jarak	Delay
1	1458	5.71	5.4	95.07	1482	4.9 ms
1	3776	-3.93	5.4	95.01	3862	12.8 ms
-1	1449	5.59	5.4	95.07	1473	4.91 ms
-1	3756	-4.16	5.4	95.01	3844	12.81 ms

Saat malam hari nilai delay dan sinyal terjadi perbandingan dengan periode waktu percobaan lainnya. Pada Tabel 5 nilai sinyal malam hari merupakan sinyal terbaik walaupun delaynya tidak terlalu jauh nilainya jika dibandingkan pada saat sore hari.

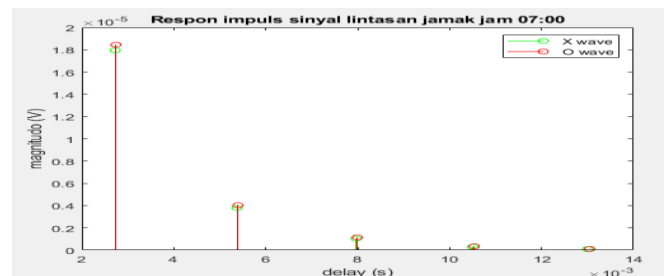
Tabel 5. Tabel Konversi 22:00

T	Jarak	Sinyal	Elev	Azi	Total Jarak	Delay
1	1819	24.74	11.2	95.3	1917	6.39 ms
1	3775	18.03	11.2	95	3956	13.18 ms
-1	1815	24.72	11.2	95.3	1914	6.38 ms
-1	3770	17.99	11.2	95	3950	13.16 ms

**C. Tahapan Respon Impuls Lintasan Jamak**

Setelah parameter pendukung diperoleh maka tahapan selanjutnya akan dianalisis hasil pengolahan data ray tracing menggunakan komputasi program MatLab untuk mengamati respon impuls sehingga diperoleh parameter Power Delay Profile. Hasil respon impuls yang merupakan grafik antara delay dalam bentuk ms dan magnitude dalam bentuk  $\mu V$ .

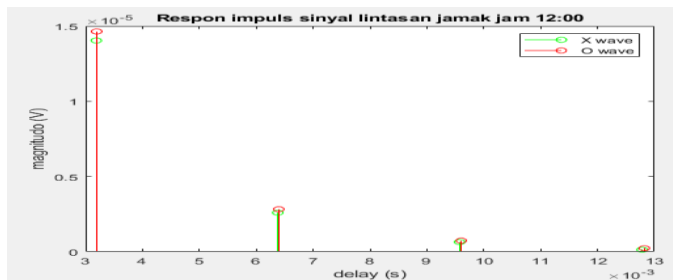
Respon impuls digambarkan pada Gambar 5, 6, 7 dan 8 terdapat perbandingan jumlah power delay profile yang diperoleh berdasarkan jumlah hop / pantulan pada masing-masing percobaan.



Gambar 5. Respon Impuls 07:00

Berdasarkan hasil respon impuls pada Gambar 5 pada jam 7:00 terdapat 5 hop. Daya sinyal dan delay yang diterima untuk ordinary yaitu 18,45  $\mu V$  delay 2,74 ms; 4,03  $\mu V$  - 5,39 ms; 1,14  $\mu V$  - 7,99 ms; 0,339  $\mu V$  - 10,53 ms; 0,106  $\mu V$  - 13,04 ms. Extraordinary 17,943  $\mu V$  delay 2,72 ms; 3,78  $\mu V$  - 5,373 ms;

1,03  $\mu\text{V}$  - 7,96 ms; 0,29  $\mu\text{V}$  - 10,49 ms; 0,088  $\mu\text{V}$  - 13,002 ms. Semakin banyak hop maka semakin besar delay yang diperoleh dan semakin kecil kualitas daya sinyal yang diterima.



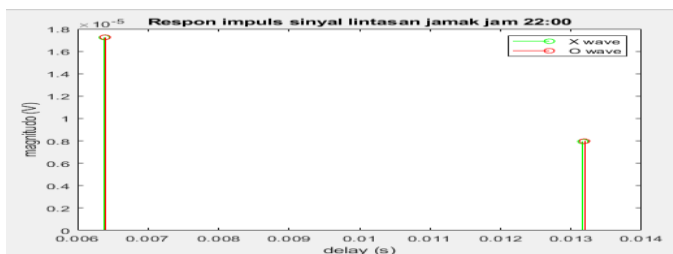
Gambar 6. Respon Impuls 12:00

Pada percobaan kedua, Siang hari respon impuls sebanyak 4 hop, pada hop pertama daya sinyal dan delay lintasan *ordinary* yaitu 14,63  $\mu\text{V}$  delay 3,19 ms; 2,8  $\mu\text{V}$  - 6,3 ms; 0,73  $\mu\text{V}$  - 9,6 ms; 0,227  $\mu\text{V}$  delay 12,8 ms. *Extra-ordinary* dengan nilai 14,04  $\mu\text{V}$  delay 3,18 ms; 2,59  $\mu\text{V}$  - 6,3 ms; 0,64  $\mu\text{V}$  - 9,5ms; 0,133  $\mu\text{V}$  12,7 ms.



Gambar 7. Respon Impuls 17:00

Pada percobaan ketiga, respon impuls sebanyak 2 hop saja, pada lintasan *ordinary* yaitu 1,9  $\mu\text{V}$  delay 4,94 ms; 0,63  $\mu\text{V}$  dengan delay 12,8 ms. *Extra-ordinary* dengan nilai daya 1,9  $\mu\text{V}$  delay 4,9 ms; 0,61  $\mu\text{V}$  delay 12,8 ms.



Gambar 8. Respon Impuls 22:00

Pada percobaan keempat, Malam hari respon impuls sebanyak 2 hop, sinyal dan delay lintasan *ordinary* yaitu 17,2  $\mu\text{V}$  delay 6,3 ms; 7,97  $\mu\text{V}$  - 13,1 ms. *Extra-ordinary* dengan nilai daya 17,2  $\mu\text{V}$  delay 4,9 ms; 7,93  $\mu\text{V}$  delay 13,1 ms.

Berdasarkan perolehan respon impuls, dari pukul 07:00 hingga 22:00 kualitas daya sinyal terus menurun hal ini dipengaruhi oleh posisi matahari yang berganti adanya siang dan malam. Kondisi optimum pada saat kondisi Siang hari.

#### D. Tahapan Delay Spread.

Setelah diperoleh respon impuls dari keseluruhan percobaan, hasil respon impuls ini digunakan untuk memperoleh karakterisasi kanal HF lintasan jamak yaitu delay spread.

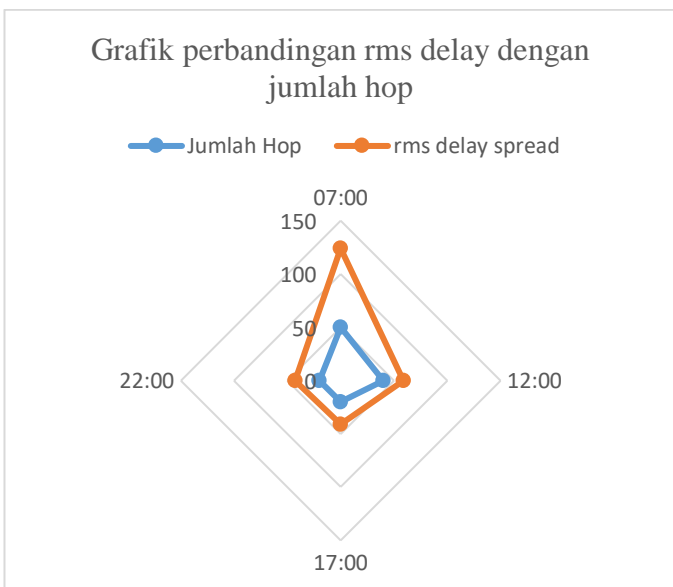
*Mean excess delay* dihitung dari rata-rata komponen lintasan jamak yang pertama sampai yang terakhir dikalikan daya sinyal yang diterima sehingga pada percobaan pertama waktu 07:00 WIB bulan April didapat nilai sebesar 6.9 ms. Namun parameter ini bukan indikator terbaik yang bisa menunjukkan karakteristik dari kanal. Hal ini karena masing-masing data hasil pengukuran dengan *excess delay* yang sama dapat menunjukkan intensitas sinyal pada sebuah *Power Delay Profile* yang sangat berbeda. Intensitas sinyal yang berbeda pada setiap *profile* akan memiliki dampak yang lebih besar atau lebih kecil pada performa sistem kanal HF.

Cara yang terbaik dari *delay spread* yaitu dengan menghitung *rms delay spread* dimana *root mean square* merupakan momen kedua dari *mean excess delay* mendapatkan nilai 109,1 ms. Data statistik *delay spread* keseluruhan dapat dilihat pada Tabel 4.9 yang diperoleh dari hasil pengukuran berdasarkan periode waktu 07:00 , 12:00, 17:00 dan 22:00 juga dilakukan di 2 bulan berikutnya 07:00 , 12:00 dan 17:00 sebagai perbandingan rentang waktu yang cukup lama. Frekuensi kerja keseluruhan sama yaitu pada frekuensi 7 MHz.

Tabel 6. Statistik *Delay Spread* Keseluruhan

Waktu Pengukuran	<i>max excess delay spread</i>	<i>mean excess delay spread</i>	<i>rms delay delay spread</i>
22 April 2020 7:00	10,3	6,9	109,1
22 April 2020 12:00	9,6	6,2	59,8
22 April 2020 17:00	8,0	7,6	45,9
22 April 2020 22:00	6,8	8,7	42,7
25 Juni 2020 07:00	10,4	7,2	139,1
25 Juni 2020 12:00	9,7	6,1	57,9
25 Juni 2020 17:00	7,9	7,1	36,1
25 Juni 2020 22:00	6,6	8,9	43,0

Berdasarkan Tabel 4.10 dari keseluruhan percobaan *maximum excess delay* paling besar pada saat 07:00 25-06-20 yaitu 10,4 ms dan terkecil pada 22:00 25-06-20 yaitu 6,6 ms. Sementara, *mean excess delay* terbesar pada 22:00 25-06-20 yaitu 8,9 ms dan yang terkecil pada 12:00 25-06-20 yaitu 6,1 ms. Sedangkan untuk *rms delay spread* terbesar pada 7:00 25-06-20 yaitu 139,1 ms dan yang terkecil pada jam 17:00 25 Juni 2020 yaitu 36,1 ms.



Gambar 9. Grafik Perbandingan rms delay spread dengan jumlah hop

Berdasarkan hasil dari besarnya rms delay pada saat jam 07:00 dibandingkan jam 22:00, ada banyak faktor yang dapat dijadikan evaluasi, selain berbedanya parameter konfigurasi seperti sudut elevasi dan azimuth. Pada kanal HF terdapat komponen ionosfer yang bisa menguatkan atau bahkan melemahkan sinyal hal ini disebabkan oleh aktifitas matahari. Hal ini menyebabkan perbedaan jumlah hop pada suatu sistem kanal HF lintasan jamak. Semakin banyak hop maka semakin besar delay dan semakin kecil kualitas sinyal yang didapat.

Untuk mendapatkan pengetahuan mengenai perbandingan delay spread berdasarkan rentang waktu 2 bulan. Maka perhitungan nilai rata-rata dari seluruh percobaan yang dilakukan terdapat pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Rata-rata Delay Spread

Delay spread	Periode pengukuran			
	Pagi	Siang	Sore	Malam
rms	124,1 ms	58,85 ms	41 ms	42,85 ms
mean excess	7,05 ms	6,15 ms	7,35 ms	7,9 ms
max excess	10,35 ms	9,65 ms	7,95 ms	6,7 ms

### V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi sistem pengukuran dengan skenario pengukuran periode waktu pagi 07:00, siang 12:00, sore 17:00 dan malam 22:00 dan rentang waktu di bulan April dan Juni maka dapat diketahui bahwa karakteristik kanal HF pada lintasan jamak Jakarta – Merauke memiliki kondisi lapisan ionosfer yang berubah-ubah terhadap waktu, sehingga mengakibatkan terganggunya sistem komunikasi HF yang mempengaruhi kualitas sinyal yang diterima berbeda antara waktu pagi, siang, sore dan malam hari. Delay terbesar pada saat kondisi pagi hari yang memerlukan 5 kali pantulan agar sinyal dapat diterima di sisi penerima.

Penelitian ini dapat dijadikan rekomendasi saat implementasi sistem komunikasi HF. Pada bulan April dan Juni nilai delay terkecil yaitu sore dan malam hari.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih terhadap pihak-pihak yang membantu terselesainya analisa penelitian ini serta ucapan terima kasih terhadap tim editorial Jurnal Teknologi Elektro atas dipublikasinya penelitian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Australian Government, "IPS Radio and Space Services, Introduction to HF Radio Propagation" Sidney, Australia. 2007
- [2] L. F. McNamara, "The Ionosphere: Communication, Surveillance, and Direction Finder". Krieger Publishing Company. 1991
- [3] J. Lastovicka and A. Bourdillon, "Ionospheric Effects on Terrestrial Communications: Working Group 3 Overview, Annals of Geophysics". Supplement to vol. 47, no. 2/3, pp. 1269-1276. 2014
- [4] I. Kurniawati and H. Gamantyo, "Preliminary Study on HF Channel Complex Impulse Response and Power Delay Profile Characteristics in Low Latitude Region", 2014, 978-1-4673-5225-3/14/\$31.00 2014 IEEE. ITS-Surabaya.
- [5] E. B. Fischer and I. LaHaie, "Measuring the Isolation of the Circularly Polarized Characteristic Waves in NVIS Propagation", IEE Antennas and Propagation Magazine. Groningen – Netherlands. 2015