

## PERFORMANCE ANALYSIS OF DOPPLER SHIFT ON VEHICLE SPEED WITH JAKES MODEL

Catur Budi Waluyo, Paulus Setiawan

Teknik Elektro, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto  
Jl. Janti Blok R Lanud Adisutjipto Yogyakarta  
catur\_budiwaluyo@yahoo.co.uk

### Abstract

*In the last decade, the development of communication has increased, so that emerging new infrastructure and technology that can improve high-speed data services in the future. At this time, the technology is using multi-antenna techniques and uses Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). But in mobile communication systems using OFDM will be sensitive to the influence of the Doppler shift and will result in Inter Carrier Interference (ICI). To compensate for the effect of the Doppler shift on the communication system with the rice channel, a modified Jakes model is needed. Based on the simulation, the communication system on the rice channel has a better performance than the rayleigh channel with a small slope width. Doppler shift in the ricean channel with a factor value of  $K$  16.77dB, has a smaller fluctuating curve at magnitude and phase response than the curve on the rayleigh channel. So that the communication system that operates at high speed, to improve the high doppler shift is using a rice channel with a higher  $K$  factor value.*

*Key Word: Jakes Model, Performance, Mobile communication system, Doppler.*

### Abstrak

Pada decade terakhir ini, perkembangan komunikasi semakin meningkat, sehingga muncul infrastruktur dan teknologi baru yang nantinya dapat meningkatkan layanan data yang berkecepatan tinggi. Teknologi yang digunakan untuk mewujudkan pada saat ini, selain menggunakan teknik multi antena juga menggunakan Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). Tetapi pada sistem komunikasi bergerak yang menggunakan OFDM akan sensitif terhadap pengaruh pergeseran doppler dan akan mengakibatkan Inter Carrier Interference (ICI). Untuk mengkompensasi pengaruh dari pergeseran doppler pada sistem komunikasi dengan kanal ricean, maka dibutuhkan model jakes yang dimodifikasi. Berdasarkan simulasi, sistem komunikasi pada kanal ricean mempunyai kinerja yang lebih baik dari pada kanal rayleigh dengan lebar slope yang kecil. Pergeseran doppler pada kanal ricean dengan nilai faktor  $K$  16.77dB, mempunyai kurva fluktuatif pada magnitude dan respon fase yang lebih kecil dibandingkan dengan kurva pada kanal rayleigh. Sehingga pada sistem komunikasi yang beroperasi pada kecepatan tinggi untuk memperbaiki pergeseran doppler yang tinggi yaitu menggunakan kanal ricean dengan nilai faktor  $K$  yang lebih tinggi.

Kata Kunci : Model Jakes, Kinerja, Sistem komunikasi bergerak, Doppler.

### 1. Pendahuluan

Pada perkembangan komunikasi *wireless* untuk menyediakan layanan data yang berkecepatan tinggi dan *bandwidth* yang lebar merupakan sebuah tantangan. Teknologi yang digunakan untuk mewujudkan pada saat ini, selain menggunakan teknik multi antena juga menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)[1],[2]. Tetapi pada sistem yang menggunakan OFDM akan sensitif terhadap pengaruh pergeseran Doppler. Pengaruh pergeseran Doppler tersebut akan mengakibatkan *Inter Carrier Interference* (ICI). Pengaruh dari ICI tersebut akan mengakibatkan rusaknya data. Sehingga untuk

mengkompensasi pengaruh dari pergeseran Doppler tersebut, maka dibutuhkan model *jakes*. Pembangkitan sinyal pada model *jakes* dengan cara menggabungkan beberapa sinyal sinusoidal kompleks. Sehingga hasil dari sinyal pembangkitan dengan model *jakes* akan terasa flat.

Selain itu, ketika sinyal melewati bangunan, kendaraan atau benda lain pada kanal tersebut, maka akan terjadi redaman, pantulan yang mempunyai karakteristik distribusi *Rayleigh*. Pada sinyal yang dilewatkan dengan *bandwidth* lebih kecil daripada *bandwidth* data dan periode simbol lebih kecil dibandingkan *delay spread* maka akan terjadi *fading* selektif dan akan menyebabkan rusaknya data. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut dengan cara menggunakan modulasi OFDM. Sedangkan untuk mengkompensasi kelemahan pada OFDM yang sensitif terhadap pergeseran Doppler pada sistem komunikasi kanal *ricean*, maka pada penelitian menggunakan model *jakes* yang dimodifikasi[3].

Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk menganalisa kinerja pergeseran Doppler terhadap kecepatan pada kendaraan cepat. Model *jakes* yang digunakan pada penelitian ini yaitu model *jakes* yang dimodifikasi mengikuti kanal *ricean*. Pembangkitan model *jakes* dengan cara menggabungkan beberapa sinyal sinusoidal dengan distribusi *Rayleigh*. Pemodelan *jakes* ini menggunakan *software* MATLAB.

## 2. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan simulasi dengan menggunakan parameter seperti pada tabel 1. Pengujian validasi pada penelitian ini dengan cara membandingkan hasil simulasi dan secara teori. Pengujian secara teori, pada penelitian ini mengacu pada hasil penelitian sebelumnya di [3].

Tabel 1. Parameter simulasi yang digunakan.

Parameter	Keterangan
Jumlah Iterasi	10000 dan 20000
Kanal Fading	<i>Ricean</i> dan <i>Rayleigh</i>
Kecepatan	3 dan 30 kmpj
Durasi waktu	1 detik
Model	Model Jakes

Pada sistem komunikasi *High altitude Platform Station*(HAPS) model kanal fading skala kecil dibagi menjadi 2 bagian yaitu *fading* lintasan jamak (*multipath fading*) dan *fading* yang berubah terhadap waktu (*time-variance fading*). Pada *fading* lintasan jamak terbagi menjadi 2 yaitu *fading* selektif dan *fading* flat. Sedangkan *fading* berubah terhadap waktu terbagi menjadi 2 yaitu *fading* cepat dan *fading* lambat.

*Fading* selektif terjadi jika *bandwidth* kanal lebih kecil daripada *bandwidth* data dan periode simbol lebih kecil dibandingkan *delay spread* yang mengakibatkan rusaknya data, *fading* flat terjadi jika *bandwidth* kanal lebih besar dari pada *bandwidth* data, dan periode simbol lebih besar dibanding tunda sebaran (*delay spread*) [4],[5]. Pada kanal *ricean*, terdapat kontribusi dari komponen LOS (*line of sight*) dan komponen *non-LOS* (kontribusi dari kanal *Rayleigh*). Untuk model kanal *rician* yang dinormalisasi [6] dapat dilihat pada persamaan 1.

$$H_{ric} = aH_{LOS} + bH_{Ray} = \sqrt{\frac{K}{K+1}} H_{LOS} + \frac{1}{\sqrt{K+1}} H_{Ray} \quad (1)$$

Dimana  $H_{ric}$  adalah kanal *ricean*,  $H_{LOS}$  adalah kanal dengan kondisi *line of sight*,  $H_{ray}$  adalah kanal *rayleigh*, sedangkan  $K$  adalah faktor *ricean* yang mendefinisikan perbandingan daya LOS dan daya scattering. Untuk nilai faktor  $K$  dapat dilihat pada persamaan 2.

$$K = \frac{a^2}{b^2} \quad (2)$$

### 2.1 Komponen *Line Of Sight* (LOS)

Pada penelitian ini, antena pengirim di asumsikan stasioner dan dengan titik referensi susunan antena berada di tengah, sehingga sudut arah *downlink* ( $\beta$ ) dapat diabaikan. HAPS diasumsikan juga stasioner sehingga tidak mengakibatkan efek doppler tambahan di penerima. Untuk selanjutnya, efek doppler diartikan sebagai efek akibat kecepatan kereta [7]. Untuk menghitung frekuensi doppler didefinisikan pada persamaan 3.

$$fd = \frac{v}{c} f_c \cos \alpha \quad (3)$$

Dimana  $v$ ,  $c$ , dan  $f_c$  masing-masing menyatakan kecepatan kereta api (dalam m/s), kecepatan cahaya (dalam m/s), dan frekuensi carrier (dalam Hz).

### 2.2 Komponen *Non Line Of Sight* (NLOS)

Perbedaan antara komponen LOS dan komponen NLOS yaitu pada komponen LOS, sinyal diasumsikan deterministik sedangkan pada model komponen NLOS sebagai proses acak sehingga diperlukan model statistik dari komponen NLOS. Dengan melihat hubungan K sebagai perbandingan daya LOS dan daya *scattering* serta sudut elevasi pada frekuensi 2.4GHz yang sudah dilakukan pengukuran maka dapat disajikan dalam bentuk Tabel 2 [8].

Tabel 2. Hubungan faktor K dan sudut elevasi pada kanal komunikasi HAPS [8]

Sudut elevasi	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Faktor K (dB)	1.41	1.99	2.33	2.66	4.61	6.35	9.21	12.15	16.77

### 2.3 *Fading* model Jakes

Pada penelitian ini, model *Jakes* digunakan untuk membangkitkan sinyal flat fading dari pergeseran doppler. Karena menurut *Jakes* pada [3] kanal fading *rayleigh* yang dipengaruhi oleh spektrum doppler dapat dibangkitkan dengan menggabungkan sinyal sinusoidal kompleks yang diberi pembobotan tertentu dengan jumlah yang banyak untuk mendekati amplitudo kanal *rayleigh*. Jumlah bidang gelombang (*plane wave*) dapat dinyatakan dalam N pada persamaan 4.

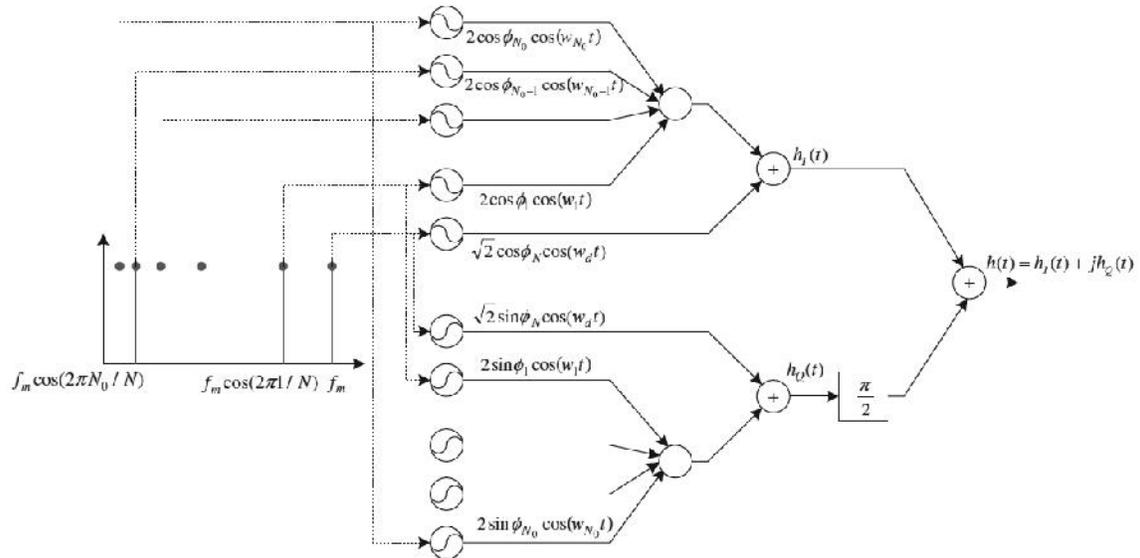
$$N = 4N_0 + 2 \quad (4)$$

Dimana  $N_0$  adalah jumlah osilator kompleks dengan nilai 8. Untuk sinyal keluaran berdasarkan model *jakes* [3] dapat di lihat pada persamaan 5.

$$h(t) = \frac{E_0}{\sqrt{2N_0 + 1}} \{h_I(t) + jh_Q(t)\} \quad (5)$$

Kanal pada komunikasi HAPS mengikuti distribusi *ricean*. Pemodelan *jakes* digunakan pada pendekatan kanal *fading Rayleigh* dengan jumlah pergeseran sinusoidal doppler [3]. Sehingga untuk pemodelan kanal HAPS digunakan model *jakes* yang dimodifikasi sesuai dengan

karakteristik kanal rician. Untuk diagram pembangkitan model jakes dapat dilihat pada Gambar 1.

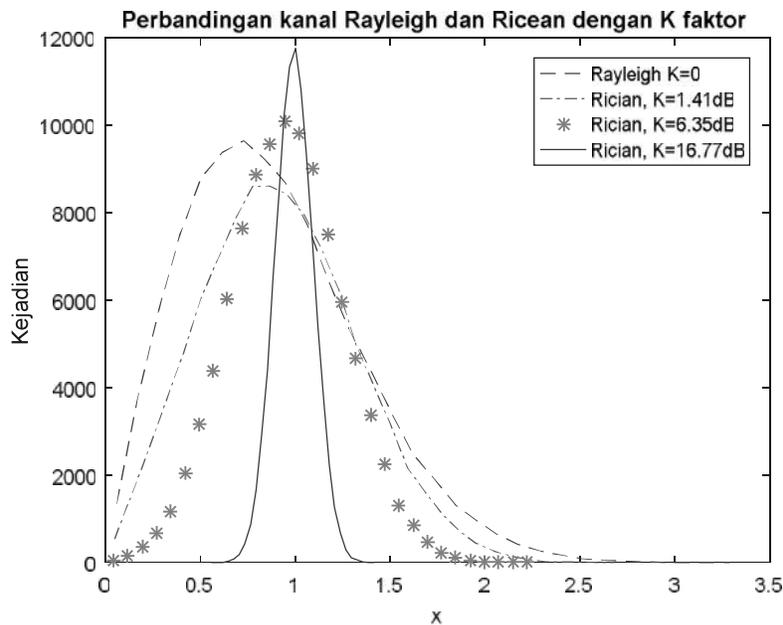


Gambar 1. Diagram implementasi pembangkitan model Jakes[3].

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Perbandingan kinerja kanal Rayleigh dan kanal rician

Pada simulasi ini, untuk mengetahui kinerja dari kanal *rayleigh* dan kanal rician menggunakan jumlah iterasi sebanyak  $N=200000$ , dan faktor K yang digunakan yaitu 1.41, 6.35 dan 16.77dB. Untuk hasil simulasi dapat dilihat pada gambar 2. Berdasarkan gambar 2 dapat dilihat bahwa hasil simulasi pada kanal Rayleigh dengan faktor K bernilai 0 dB mempunyai lebar *slope* pada grafik yang lebih besar dibandingkan hasil simulasi pada kanal rician dengan nilai faktor K 1.41 dB. Berdasarkan Gambar 2 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai faktor K pada kanal rician maka lebar *slope* semakin kecil. Perbedaan lebar *slope* tersebut berkaitan dengan kinerja sistem komunikasi. Semakin kecil lebar *slope* yang dihasilkan pada simulasi maka kinerja system komunikasi semakin baik dan sistem komunikasi tersebut mendekati komunikasi *line of sight* (LOS). Pada komunikasi LOS rugi-rugi sinyal yang dikirimkan juga semakin kecil.



Gambar 2. Perbandingan kanal Rayleigh dan kanal Ricean

### 3.2 Perhitungan pergeseran Doppler pada kanal ricean

Pada penelitian ini, efek Doppler diartikan sebagai efek akibat gerakan penerima secara cepat. Pergeseran doppler berpengaruh terhadap modulasi frekuensi acak pada sinyal radio bergerak. Sehingga hubungan pergeseran doppler, faktor K dan sudut elevasi pada tabel 1 pada sistem komunikasi HAPS arah *downlink* dengan frekuensi pembawa ( $f_c$ ) sebesar  $2.4 \times 10^9$  Hz, kecepatan kendaraan ( $v$ ) yaitu 3, 30,60,120, dan 350 km/jam, sudut elevasi ( $\alpha$ ) yaitu dari  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$  dengan range  $10^\circ$  dan kecepatan cahaya ( $c$ )  $3 \times 10^8$  m/s menggunakan persamaan 4 dapat disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan pergeseran doppler dan faktor K pada sistem komunikasi HAPS

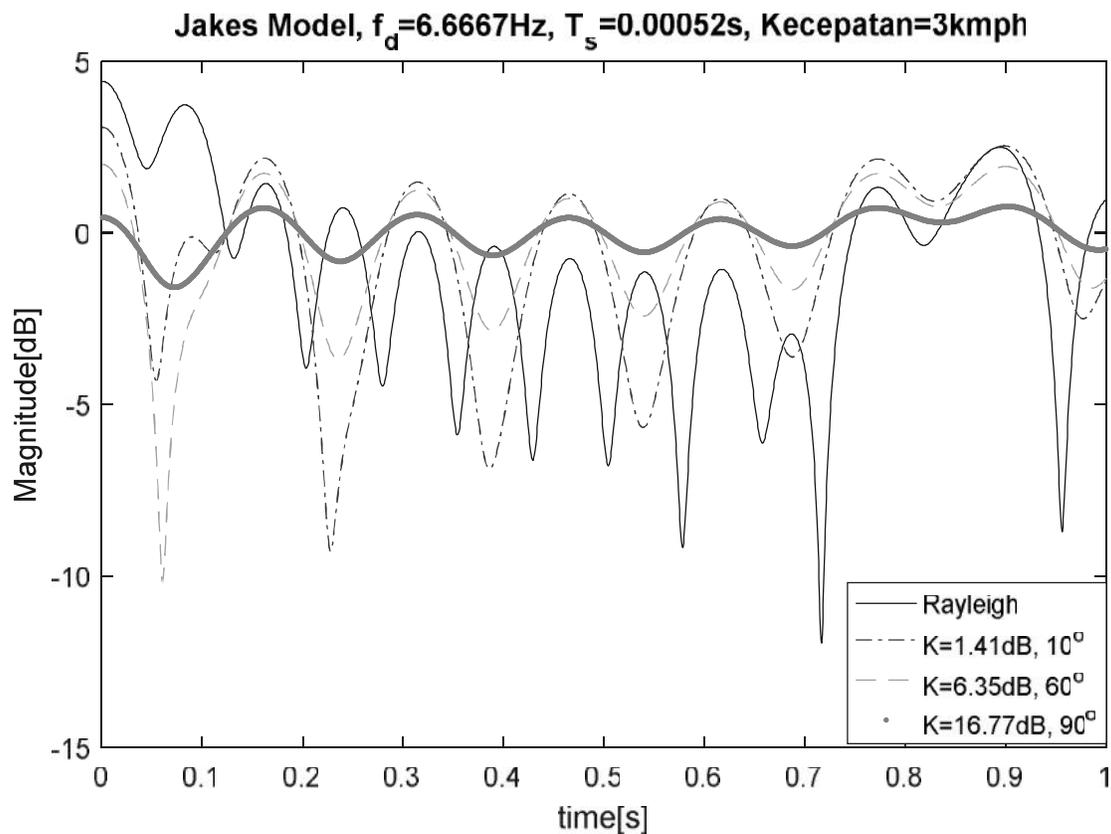
Sudut elevasi [ $^\circ$ ]	Faktor K [dB]	Kecepatan (km/jam)				
		3	30	60	120	350
10	1.41	6.5655 Hz	65.6549 Hz	131.3097 Hz	262.6195 Hz	765.9735 Hz
20	1.99	6.2650 Hz	62.6502 Hz	125.3004 Hz	250.6008 Hz	730.9191 Hz
30	2.33	5.7744 Hz	57.7439 Hz	115.4877 Hz	230.9755 Hz	673.6785 Hz
40	2.66	5.1085 Hz	51.0848 Hz	102.1696 Hz	204.3392 Hz	595.9892 Hz
50	4.61	4.2875 Hz	42.8751 Hz	85.7502 Hz	171.5004 Hz	500.2095 Hz
60	6.35	3.3364 Hz	33.3640 Hz	66.7280 Hz	133.4559 Hz	389.2464 Hz
70	9.21	2.2840 Hz	22.8401 Hz	45.6803 Hz	91.3606 Hz	266.4683 Hz
80	12.15	1.1623 Hz	11.6230 Hz	23.2460 Hz	46.4921 Hz	135.6018 Hz
90	16.77	0.0053 Hz	0.0531 Hz	0.1062 Hz	0.2124 Hz	0.6194 Hz

Berdasarkan Tabel 3 Pada saat faktor K 1.41dB dengan kecepatan 3km/jam pergeseran doppler sebesar 6.5655Hz. pergeseran menurun seiring pertambahan faktor K yaitu menjadi

2.2840 Hz dan 0.0053Hz pada saat faktor K sebesar 9.21dB dan faktor K sebesar 16.77dB. Penambahan kecepatan kendaraan juga berpengaruh terhadap besarnya pergeseran doppler, misalnya pada kecepatan kendaraan 3km/jam dengan faktor K sebesar 1.41dB, pergeseran doppler sebesar 6.56655Hz, dan pada kecepatan kendaraan 350km/jam menjadi 765.9735Hz.

### 3.3. Perbandingan nilai magnitude pada K faktor berdasarkan Jakes model

Berdasarkan simulasi pada kanal ricean dengan model jakes menggunakan 10000 subframe selama 1 detik dengan nilai doppler sebesar 6.6667 Hz. Pada simulasi ini nilai faktor K yang digunakan bervariasi dari 1.41dB, 6.35dB, dan 16.77dB. Nilai Faktor K juga akan berpengaruh terhadap nilai sudut elevasi yang digunakan. Untuk hasil simulasi model jakes dapat dilihat pada Gambar 3.

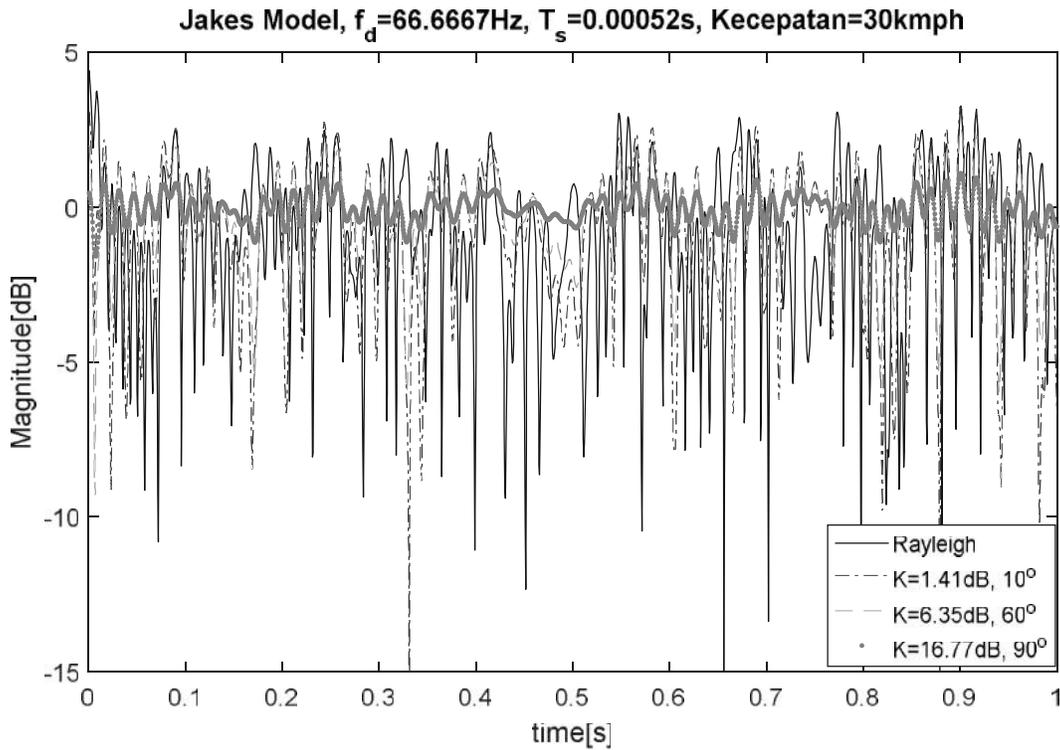


Gambar 3. Model jakes untuk kanal ricean dengan kecepatan pengguna 3 km/jam selama 1 detik pada faktor K 1.41dB, 6.35dB, 16.77dB.

Pada simulasi sinyal dibangkitkan dengan model jakes yang dimodifikasi menjadi kanal ricean dengan faktor K yang digunakan yaitu 1.41, 1.99, 2.33, 2.66, 4.61, 6.35, 9.21, 12.15, 16.77 dengan sudut elevasi  $10^\circ$  sampai  $90^\circ$ . Berdasarkan pada gambar 3 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai faktor K maka nilai magnitude dari kurva tersebut semakin stabil, sedangkan kurva yang dihasilkan dari kanal rayleigh dengan pergeseran doppler 6.6667Hz bersifat fluktuatif.

Pada penelitian ini, simulasi dengan *frekuensi carrier* ( $f_c$ ) 2.4GHz, kecepatan kendaraan 30km/jam, Untuk model jakes dengan nilai doppler yang dihasilkan 66.6667Hz,

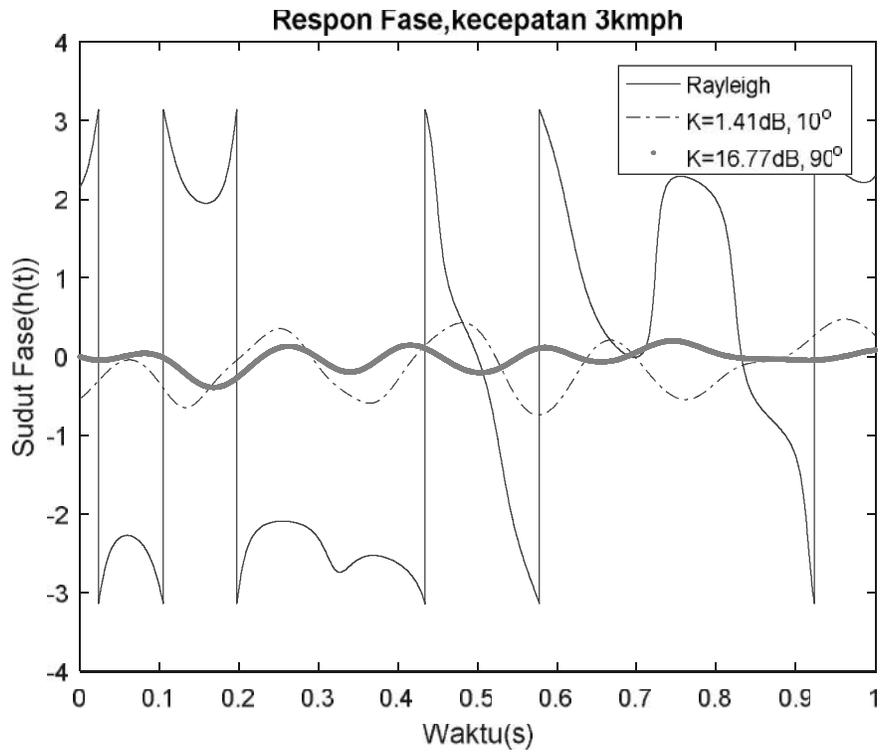
Waktu sampling 0.00052s untuk faktor K sebesar 1.41dB, 6.35dB dan 16.77dB dapat dilihat pada gambar 4.



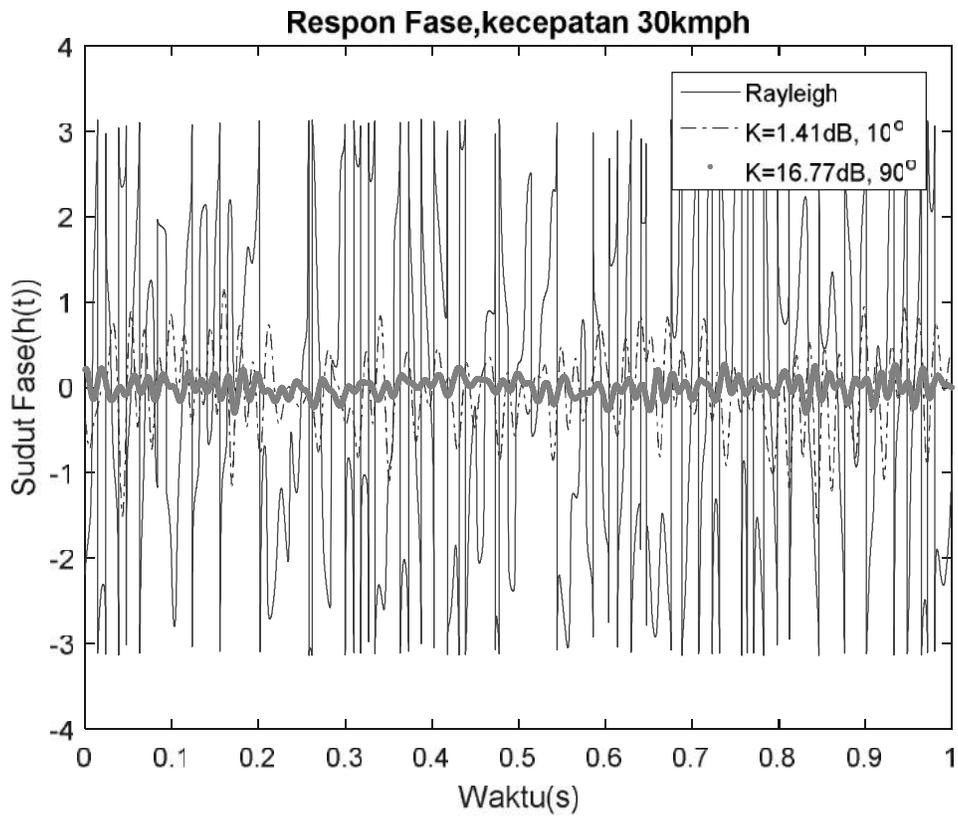
Gambar 4. Model jakes untuk kanal ricean dengan kecepatan pengguna 30 km/jam selama 1 detik pada faktor K 1.41dB, 6.35dB, 16.77dB.

Berdasarkan pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan maka tingkat fluktuasi pada pergeseran doppler semakin tinggi, semakin besar nilai faktor K pada kanal ricean maka kurva yang dihasilkan mempunyai tingkat fluktuasi pergeseran doppler yang lebih rendah seperti pada kurva warna hijau (kurva titik). Pada Gambar 4 kurva warna biru menunjukkan pada kanal rayleigh mempunyai tingkat fluktuatif yang semakin tinggi. Nilai tingkat fluktuatif pada kurva tersebut menggambarkan bahwa sinyal yang dikirimkan oleh pengirim akan mengalami redaman dan pantuan akibat *noise* dan penghalang.

Untuk mengetahui respon fase pada penelitian ini *frekuensi carrier* ( $f_c$ ) yang digunakan 2.4GHz dengan kecepatan kendaraan 30km/hour (kmph) dan 3km/hour (kmph), jumlah N iterasi 10000 *sample*. Untuk Respon fase dengan model jakes pada kecepatan 3kmph dapat dilihat pada Gambar 5. Sedangkan Respon fase dengan model jakes pada kecepatan 30kmph dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Respon fase dengan model jakes pada kecepatan 3kmph



Gambar 6. Respon fase dengan model jakes pada kecepatan 30kmph

Berdasarkan Gambar 5 kurva warna biru (garis lurus solid) dapat dilihat bahwa nilai respon fase yang dihasilkan mempunyai tingkat fluktuasi yang lebih tinggi dibandingkan kurva warna merah (garis putus-putus). Berdasarkan Gambar 5 juga dapat dilihat bahwa terdapat pengaruh faktor K pada kanal ricean, semakin besar nilai faktor K kurva fluktuasi respon fase yang dihasilkan semakin kecil dan sebaliknya.

Berdasarkan pada Gambar 5 dan 6 dapat dilihat bahwa kurva warna biru (garis lurus solid) pada kanal reyleigh, semakin tinggi kecepatan kendaraan maka respon fase yang dihasilkan pada metode jake tingkat fluktuatif juga semakin tinggi. Kurva tingkat fluktuatif kanal ricean pada respon fase mempunyai semakin tinggi seiring bertambahnya kecepatan pada kendaraan dan tingkat fluktuatif semakin kecil jika nilai faktor K pada kanal ricean semakin besar. Faktor K mempunyai hubungan dengan sifat sistem komunikasi yang line of sight (LOS). Selain itu semakin tinggi faktor K, nilai sudut elevasi yang digunakan semakin besar.

#### 4. Kesimpulan

Pada pengujian kinerja kanal ricean dan kanal rayleigh didapatkan kanal ricean mempunyai kinerja yang lebih baik dengan lebar kurva lebih kecil dibandingkan kanal rayleigh yang mempunyai lebar kurva lebih lebar. Hasil simulasi pergeseran doppler dengan menggunakan *metode jakes* menunjukkan bahwa seiring pertambahan kecepatan pada kendaraan maka besar fluktuasi pada magnitude dan respon fase pada pergeseran doppler juga semakin besar. Penambahan kecepatan pada kendaraan juga berpengaruh terhadap besarnya pergeseran doppler, misalnya pada kecepatan kendaraan 3km/jam dengan faktor K sebesar 1.41dB, pergeseran doppler sebesar 6.56655Hz, dan pada kecepatan kendaraan 350km/jam menjadi 765.9735Hz. Berdasarkan simulasi ini, pada sistem komunikasi yang beroperasi pada kecepatan tinggi untuk memperbaiki pergeseran doppler yang tinggi yaitu menggunakan kanal ricean dengan nilai faktor K yang lebih tinggi.

#### 5. Ucapan Terima Kasih

Penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Ristek Dikti atas bantuan dana penelitian dosen pemula yang diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

#### Daftar Pustaka

- [1] C. B. Waluyo and Y. Astuti, "Pada Sistem Komunikasi High Altitude Platform," *J. Angkasa*, vol. IX, no. Nomor 1, pp. 31–42, 2017.
- [2] W. H. Tranter, K. S. Shanmugan, T. S. Rappaport, and K. L. Kosbar, *Principles of Communication Systems Simulation with Wireless Applications*. .
- [3] Y. S. Cho, J. Kim, W. Y. Yang, and C. G. Kang, *MIMO-OFDM Wireless Communications with MATLAB®*. 2010.
- [4] W. H. Tranter, K. S. Shanmugan, T. S. Rappaport, and K. L. Kosbar, *of Communication Systems Simulation with Wireless Applications*. 2003.
- [5] J. Ayadi, A. A. Hutter, and J. Farserotu, "On the multiple input multiple output capacity of Ricean channels," *Int. Symp. Wirel. Pers. Multimed. Commun. WPMC*, vol. 2, pp. 402–406, 2002.
- [6] C. B. Waluyo, "Analisis Mimo Untuk Peningkatan Kapasitas Sistem Seluler 4G Lte Pada Sistem Komunikasi High Altitude," *J. Angkasa*, vol. VIII, no. Nomor 2, pp. 111–120, 2016.
- [7] C. B. Waluyo and Y. Astuti, "Performance analysis for mimo lte on the high altitude

- platform station,” *Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. Informatics*, vol. 4, no. September, pp. 637–641, 2017.
- [8] C. B. Waluyo and Iskandar, “Performance analysis for mimo lte on the high altitude platform station,” *Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. Informatics*, vol. 4, no. 5, pp. 308–313, 2015.