

Kinerja Teknik Transmisi OFDM melalui Kanal HAPS (*High Altitude Platform Station*)

Afriandi FERDINAN^{#1}, Imam SANTOSO^{#2}, DARJAT^{#3}

[#]*Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, Indonesia*
²*immstso@gmail.com*, ³*darjat@undip.ac.id*

Abstract - Provision of broadband communications services in High Altitude Platform Station (HAPS) is a new idea and worthy to be discussed. One is the application of OFDM transmission technique as a medium for digital modulation in HAPS. HAPS is a new technology in the telecommunications sector at an altitude of 18-50 km (the stratosphere) and used to serve the broadband wireless access (BWA) and other multimedia devices. HAPS technology has advantages that can cover the lack of terrestrial and satellite technology.

Performance of OFDM transmission technique in which a HAPS channel Rician channel can be evaluated by looking at the effect of K-factor. K-factor is the dominant signal power ratio (Line Of Sight) with multipath signal power. In real conditions on the ground, the received power is a combination of the dominant signal power and multipath signal power. The increase in elevation angle between the HAPS platform with user terminals resulted in the increasing value of K-factor and the influence that affected the performance of OFDM systems multipath fading. Effect of K-factor can be identified by computer simulation. Effect of K-factor observed by looking at the value of Bit Error Rate (BER) on the system to the value of signal to noise ratio (SNR) by varying the bitrate and frequency doppler.

The results showed that the increasing value of K-factor at the same bitrate the smaller the resulting BER. This shows the better performance of OFDM systems. Meanwhile, the OFDM system performance deteriorated over increasing Doppler frequency. This is because the increasing value of K-factor at the same Doppler frequency resulting more BER value.

Keywords - HAPS, OFDM, K-factor, BER, bit rate, Doppler frequency.

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan akan jasa multimedia yang berpita lebar dan berkecepatan tinggi semakin besar dan meningkat begitu cepat. Hal ini menuntut adanya penambahan lebar pita frekuensi juga kecepatan implementasi. Maka dari itu, lahirlah teknologi *High Altitude Platform Station* (HAPS) sebagai solusi untuk memenuhi kebutuhan-kebutuhan tersebut.

Teknologi HAPS merupakan solusi atas kekurangan

infrastruktur yang terdapat pada sistem terestrial dan satelit. Kekurangan sistem terestrial adalah pada fleksibilitas dan mobilitasnya. Memang sistem ini membuat pemakainya bisa menempatkan *payload* mereka dengan posisi yang dekat dari bumi, tetapi harga yang harus mereka bayar tergolong besar. Sedangkan kekurangan sistem satelit adalah resiko yang tinggi, *limited bandwidth expansion*, dan *time delay* yang tinggi untuk suara dan data interaktif, serta biaya keseluruhan yang mahal (perakitan, perawatan, peluncuran, dan lain-lain). Jadi sebenarnya HAPS mencoba menggabungkan konsep sistem satelit pada jangkauan terestrial. HAPS dengan berbagai kelebihanannya diharapkan mampu menjadi wahana yang bisa dikolaborasikan dengan teknik transmisi OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) yang juga memiliki kelebihan dalam hal keandalannya (*robustness*) terhadap pengaruh *multipath fading*.

Sinyal yang transmisikan pada sistem OFDM berbasis HAPS akan tiba di *receiver* dalam dua keadaan yaitu LOS (*Line of Sight*) dan *multipath fading*. Sehingga dalam melakukan analisa, karakteristik kanal pada sistem dimodelkan dengan distribusi Rician dengan *K-factor* yang merupakan perbandingan daya sinyal langsung (LOS) dengan daya rata-rata sinyal pantul (*multipath*) sebagai parameter utama. Dengan melihat pengaruh *K-factor* dapat diketahui kinerja teknik transmisi OFDM pada kondisi kanal HAPS untuk kondisi *multipath fadi*

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja teknik transmisi OFDM pada kondisi kanal *High Altitude Platform Station* (HAPS) yang merupakan kanal Rician dengan melihat pengaruh *K-factor* yang merupakan perbandingan antara daya rata-rata *Line of Sight* (LOS) dengan daya rata-rata sinyal *multipath* akibat pengaruh *multipath fading*.

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

- Model kanal adalah kanal AWGN dan kanal akibat pengaruh *Rician fading*.
- *K-factor* yang digunakan diperoleh dari penelitian yang terdahulu.

- Performansi sistem yang dibahas adalah perbandingan BER terhadap SNR.
- Jumlah *path* sinyal *multipath* dibatasi sebanyak tiga *path* sinyal.

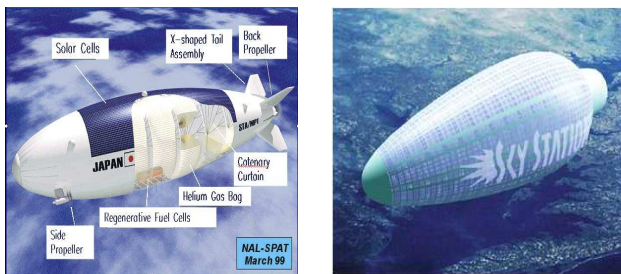
II. SISTEM KOMUNIKASI HAPS

High Altitude Platform Station (HAPS) merupakan teknologi baru yang sangat potensial untuk dipakai dalam industri komunikasi *wireless*.

HAPS terdiri dari dua bagian utama [4]:

- *Platform* atau wahana yang terdiri dari perangkat propulsi, bahan bakar, perangkat komunikasi, pengendalian pengukuran, dan penyediaan energi.
- *Payload* yang terdiri dari perangkat telekomunikasi atau *broadcasting*.

Wahana HAPS berbentuk balon udara raksasa berukuran sepanjang 200 m atau bisa lebih besar. Balon udara raksasa ini berisi helium yang memungkinkannya terbang pada ketinggian 18-50 km (lapisan stratosfer).



Gambar 2.1 Balon Udara HAPS [8]

Teknologi HAPS memiliki kelebihan yang dapat menutupi kekurangan dari teknologi terestrial maupun satelit. Untuk lebih jelasnya berikut tabel perbandingan teknologi HAPS dengan teknologi terestrial dan satelit.

TABEL 2.1
PERBEDAAN KARAKTERISTIK KOMUNIKASI
TERESTRIAL, SATELIT, DAN HAPS [11]

No	Aspek	Terrestrial	HAPS	Satelit
1	Investasi	Sedang	Kecil	Besar
2	Biaya operasi	Sedang	Sedang	Besar
3	Resiko	Kecil	Sedang	Besar
4	Koordinasi	Lokal	Lokal	Internasional
5	Biaya upgrade	Besar	Sedang	Besar
6	Kapasitas sistem	Besar	Besar	Kecil
7	Cakupan geografis	Kecil	Besar	Sangat Besar
8	<i>Delay time</i>	Kecil	Kecil	Besar
9	<i>Fading</i>	Besar	Kecil	Kecil

Karakteristik Kanal Komunikasi HAPS

Kanal komunikasi HAPS dipengaruhi oleh *small-scale fading* yaitu fluktuasi sinyal dalam daerah yang sempit dan periode waktu yang sangat singkat. *Small-*

scale fading, atau disebut juga dengan *multipath fading*, dihasilkan oleh dua macam mekanisme sebagai berikut:

- *time spreading* sinyal sebagai akibat dari *multipath*, yaitu *Delay Spread*
- *time varying channel* yang disebabkan oleh pergerakan, yaitu *Doppler Spread*

Delay Spread adalah perbedaan waktu antara kedatangan sinyal yang pertama dan sinyal *multipath* dilihat oleh stasiun penerima. *Delay spread* bisa memicu terjadinya *Inter Symbol Interference* (ISI). Hal ini dikarenakan sinyal *multipath* yang tertunda bertumpuk (*overlapping*) dan dapat menyebabkan *error* yang signifikan pada sistem dengan *bitrate* yang tinggi. Karena bila *bitrate* transmisi ditingkatkan, maka jumlah ISI juga akan meningkat. Pengaruhnya mulai menjadi sangat signifikan ketika *delay spread* lebih besar dari ~50% durasi bit.

Doppler spread yaitu pelebaran spektrum yang disebabkan oleh laju perubahan waktu terhadap kanal (*time varying*) akibat Pergeseran relatif antara penerima dan *platform* HAPS. Jika suatu sinyal sinusoidal f_c dikirim, spektrum sinyal yang diterima (*spektrum Doppler*) akan memiliki rentang frekuensi $f_c \pm f_d$, dimana f_d merupakan *Doppler Shift* (frekuensi Doppler). Frekuensi Doppler merupakan besaran yang menunjukkan kecepatan gerak penerima. *Doppler Spread* mengakibatkan berkurangnya daya sinyal dan distorsi sinyal.

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos \theta$$

f_d = *Doppler Shift* (frekuensi Doppler)

v = kecepatan pergerakan relatif

λ = panjang gelombang *frekuensi carrier* (f_c)

θ = sudut antara arah propagasi sinyal datang dengan arah pergerakan pengguna.

Kanal Rician

Kanal yang sesuai dengan karakteristik teknologi HAPS adalah kanal Rician dan kanal AWGN. Hal ini disebabkan karena posisi HAPS yang berada pada ketinggian 21 km dari permukaan bumi sehingga pancaran dari stasiun pengirim yang ada pada HAPS dengan *ground station* memiliki satu lintasan (*path*) yang bersifat LOS tetapi tidak memungkinkan juga terjadinya *multipath fading* karena struktur bumi, bangunan maupun pepohonan di sekitar *ground station* yang menjadi acuan yang dapat digambarkan dalam distribusi Rician. Perbandingan daya sinyal LOS dan daya sinyal *multipath* disebut Rician *K-factor* yang menggambarkan kekuatan relatif komponen LOS.

PDF dari distribusi Rician dapat ditulis sebagai berikut :

$$p(R) = \frac{R}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{R^2 + A^2}{2\sigma^2}\right) I_0 \frac{RA}{\sigma^2}$$

dengan R adalah *envelope received signal*, σ adalah daya rata-rata komponen *multipath*, A adalah daya rata-rata komponen LOS, dan I_0 adalah fungsi Bessel orde ke nol. Dengan K -factor (K) = $A^2/2\sigma^2$.

K -factor yang digunakan pada penelitian diperoleh dari penelitian yang terdahulu [3]. K -factor juga merupakan fungsi dari sudut elevasi.

TABEL 2.2
PARAMETER RINCIAN K -FACTOR [3]

Elevation angle	K factor [dB]	2.4 Ghz	
		Local Mean Received Power [dBm]	Standard Deviation of Local Mean Received Power [dB]
10°	1.4	-89.8	7.6
20°	2.0	-84.8	7.0
30°	2.3	-81.4	5.0
40°	2.7	-78.2	5.1
50°	4.6	-74.3	3.3
60°	6.4	-73.5	2.9
70°	9.2	-73.2	3.6
80°	12.2	-72.3	1.6
90°	16.8	-70.1	0.5

III. OFDM

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) adalah teknik transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi yang saling tegak lurus (*orthogonal*).

Prinsip dari OFDM adalah membagi data yang dikirimkan secara seri menjadi beberapa bentuk aliran data paralel dengan kecepatan bit yang lebih rendah dan menggunakannya untuk memodulasi beberapa pembawa (*carrier*) [15]. Cara kerjanya adalah deretan data informasi yang akan dikirim dikonversikan kedalam bentuk paralel, sehingga jika *bit rate* semula adalah B , maka *bit rate* untuk setiap jalur paralel adalah B/N dimana N merupakan jumlah jalur paralel (jumlah *subcarrier*).

Sinyal yang terkirim dapat diekspresikan dengan persamaan matematis sebagai berikut:

$$s(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{n=-\infty}^{+\infty} b_n f(t-nT) e^{j(\omega_0 t + \theta)} \right\}$$

Dengan:

$\text{Re}(\cdot)$ = bagian real dari persamaan

b_n = data informasi yang telah dimodulasi dan menjadi input untuk IFFT

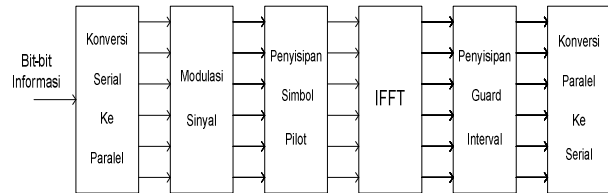
$f(t)$ = respon impuls dari filter transmisi

T = periode simbol

ω_0 = frekuensi pembawa (*frequency carrier*)

II. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT LUNAK

Pemancar



Gambar 3.1 Blok sistem pengiriman

Pembangkitan Bit Informasi

Pembangkitan bit informasi dilakukan secara random atau acak yang terdistribusi *uniform* dengan nilai antara 0 dan 1. Level *threshold* yang digunakan adalah titik 0.5, jadi jika nilai acak yang dibangkitkan lebih kecil dari 0.5 maka nilai akan dikirimkan dengan bit 0, sedangkan jika bit acak yang dibangkitkan lebih besar atau sama dengan 0.5, maka nilai akan dikirimkan dengan bit 1.

Konversi Serial ke Paralel

Blok serial ke paralel berfungsi untuk mengubah aliran data yang terdiri dari satu baris dan beberapa kolom menjadi beberapa baris dan beberapa kolom. Hasil dari konversi serial ke paralel berupa matriks bit-bit dengan jumlah baris menyatakan jumlah *subcarrier* yang digunakan dan jumlah kolom menyatakan jumlah simbol data yang dikirimkan pada tiap *subcarrier*.

Modulasi Sinyal

Setelah melalui *serial to paralel*, maka sinyal akan memasuki blok modulasi. Pada blok ini sinyal akan dimodulasi sesuai dengan jenis modulasi yang digunakan. Pada simulasi ini jenis modulasi adalah QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*).

Penyisipan Simbol Pilot

Pada simulasi ini penyisipan pilot dilakukan pada domain frekuensi. Simbol pilot disisipkan pada frekuensi *subcarrier* tertentu dengan demikian pada frekuensi *subcarrier* tertentu tidak lagi mengirim simbol-simbol informasi akan tetapi digunakan untuk mengirim simbol referensi (simbol pilot).

Inverse Fast Fourier Transform (IFFT)

Blok IFFT pada sistem OFDM bertujuan untuk membangkitkan frekuensi *subcarrier* yang saling *orthogonal* dan mengubah dari domain frekuensi ke domain waktu. Jumlah titik IFFT pada implementasi bernilai 512.

Penyisipan *Guard Interval* (GI)

Pada simulasi ini *Guard Interval* yang digunakan bertipe *Cyclic Prefix*. Panjang *Cyclic Prefix* yang digunakan adalah $\frac{1}{4}$ dari panjang simbol OFDM dan ditempatkan di depan simbol. Tujuan penyisipan *Guard Interval* ini adalah mencegah ISI sehingga simulasi dapat berjalan dengan baik.

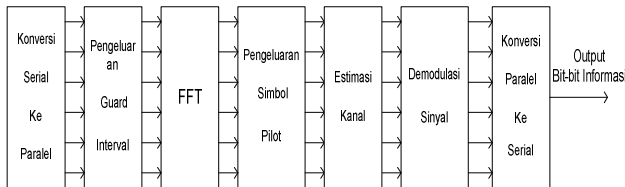
Konversi Paralel ke Serial

Sebelum memasuki kanal transmisi, simbol OFDM dalam bentuk *stream* paralel dikonversi ke bentuk *stream* serial sinyal *baseband* OFDM.

Blok Kanal Transmisi

Pemodelan kanal yang digunakan dalam simulasi ini adalah model kanal AWGN dan model kanal *Rician fading* karena acuan penelitian pada kanal HAPS.

Penerima OFDM



Gambar 3.2 Blok sistem penerimaan

Konversi Serial ke Paralel

Pada blok ini sinyal yang telah melalui kanal transmisi dikonversi kembali dari *stream* serial ke bentuk paralel sehingga proses simbol-simbol yang diterima dapat diolah pada blok-blok operasi selanjutnya.

Pengeluaran *Guard Interval* (GI)

Pada blok ini simbol yang telah disisipkan *Cyclic Prefix* pada blok penyisipan *Guard Interval* dibuang kembali sehingga akan diperoleh simbol asli yang sesuai dengan pengiriman semula. Operasi pada blok ini merupakan kebalikan dari proses penyisipan *Guard Interval* pada blok sistem pengiriman. Langkah-langkah operasinya berupa pengeluaran *Cyclic Prefix* pada awal simbol yang diterima.

Fast Fourier Transform (FFT)

Pada blok ini simbol-simbol OFDM akan dipisahkan dari frekuensi *carriernya*. Prosesnya juga merupakan proses kebalikan dari blok *Inverse Fast Fourier transform (IFFT)*.

Pengeluaran Simbol Pilot

Pada blok ini terjadi proses pengeluaran simbol-simbol referensi (simbol-simbol pilot) yang telah disisipkan pada frekuensi *subcarrier* tertentu. Simbol pilot inilah yang kemudian diambil dan digunakan untuk mengetahui respon frekuensi kanal.

Estimasi Kanal

Pada blok ini simbol pilot diambil dan dianalisis sehingga akan diketahui respon frekuensi kanal yang digunakan. Pada akhirnya kita akan memperoleh *Bit Error Rate (BER)* yang akan menunjukkan performa sinyal OFDM pada kondisi kanal yang bersifat *Rician fading*. Estimasi kanal dilakukan dengan mengubah *K-factor* pada setiap simulasi yang dilakukan sehingga diperoleh respon frekuensi kanal *Rician fading* pada masing-masing *K-factor* yang telah ditentukan sebelumnya.

Demodulasi Sinyal

Sinyal yang telah diestimasi akan diubah kembali ke bentuk bit-bit informasi dengan melakukan proses demodulasi (juga merupakan kebalikan dari proses modulasi di blok sistem pengiriman).

Konversi Paralel ke Serial

Pada blok ini, bit-bit informasi yang masih berupa matriks jumlah *subcarrier* \times jumlah simbol diubah kembali ke bentuk semula dengan cara dikonversi dari bentuk paralel ke bentuk serial.

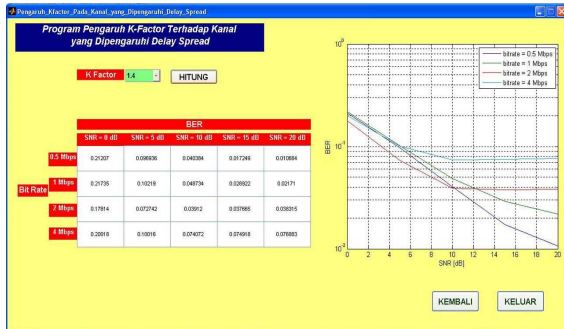
III. ANALISIS HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Analisis dan hasil penelitian yang dilakukan terdiri dari dua bagian yaitu hasil simulasi pengaruh *K-factor* pada kondisi kanal yang terpengaruh *Delay spread* dan pengaruh *K-factor* pada kondisi kanal yang dipengaruhi oleh frekuensi Doppler. Kinerja dari keseluruhan sistem yang digunakan dilihat berdasarkan jumlah *bit error rate (BER)* pada beberapa *signal to noise ratio (SNR)* yang digunakan.

Pengaruh *K-factor* pada Kondisi Kanal yang Dipengaruhi *Delay Spread*

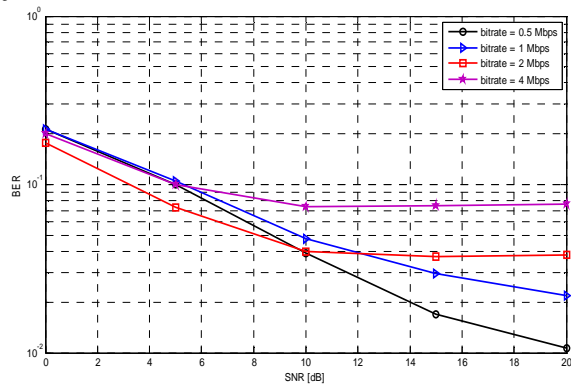
Hasil simulasi pengaruh *K-factor* (perbedaan sudut elevasi pengirim dan penerima) dengan berbagai perbedaan *bitrate* [0.5 1 2 4] Mbps sinyal yang dikirim ditunjukkan oleh Gambar 4.4 sampai Gambar 4.12.

Hasil simulasi menunjukkan kinerja BER pada masing- masing K -factor dengan perbedaan variasi $bitrate$ pada frekuensi Doppler 50 Hz. Pada simulasi ini akan dilihat pengaruh K -factor pada kondisi kanal yang dipengaruhi $time delay spread$.



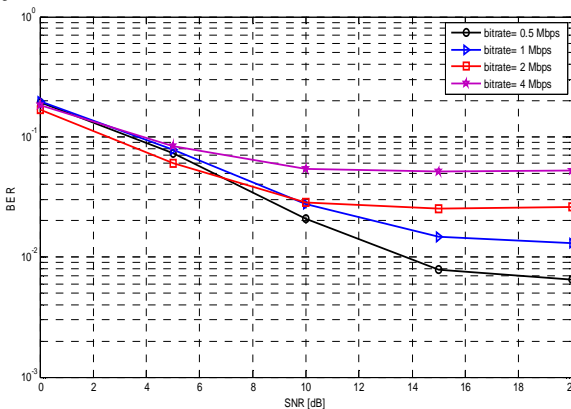
Gambar 4.1 Pengaruh K -factor pada kondisi kanal dipengaruhi $Time Delay Spread$

K -factor = 1.4 (Sudut elevasi 10°)



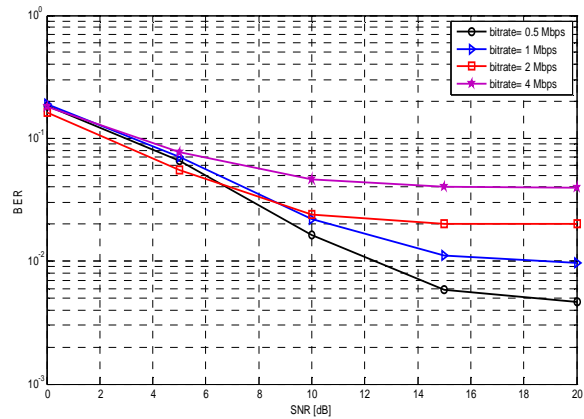
Gambar 4.2 Grafik kinerja BER terhadap SNR pada K -factor 1.4 dengan $bitrate$ yang berbeda

K -factor = 2.0 (Sudut Elevasi 20°)



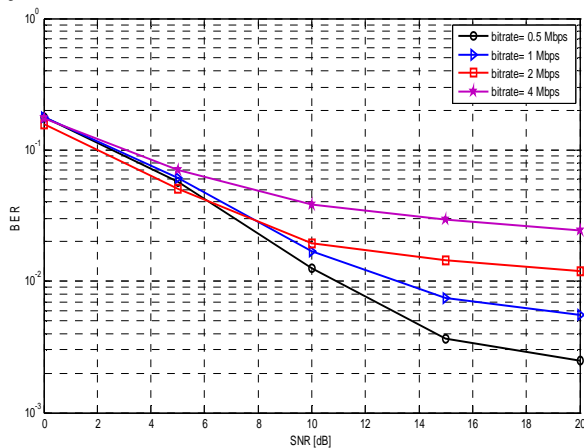
Gambar 4.3 Grafik kinerja BER terhadap SNR pada K -factor 2.0 dengan $bitrate$ yang berbeda

K -factor = 2.3 (Sudut elevasi 30°)



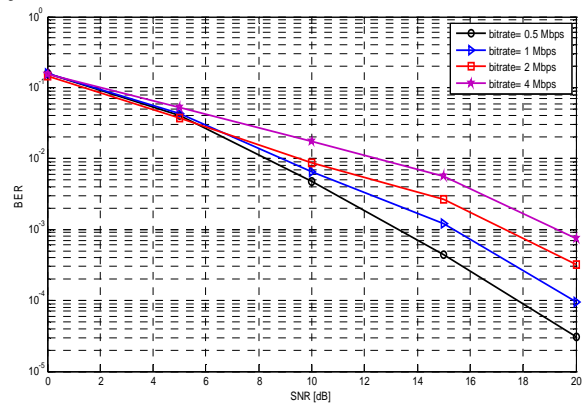
Gambar 4.4 Grafik kinerja BER terhadap SNR pada K -factor 2.3 dengan $bitrate$ yang berbeda

K -factor = 2.7 (Sudut elevasi 40°)



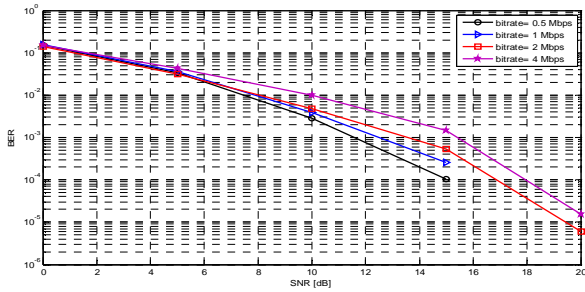
Gambar 4.5 Grafik kinerja BER terhadap SNR pada K -factor 2.7 dengan $bitrate$ yang berbeda

K -factor = 4.6 (Sudut elevasi 50°)



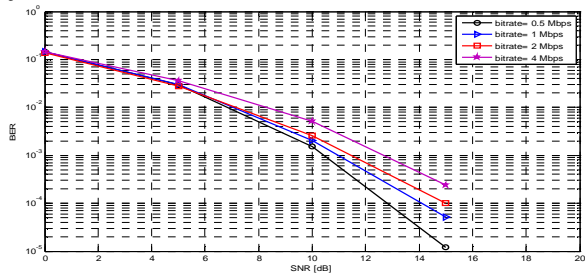
Gambar 4.6 Grafik kinerja BER terhadap SNR pada K factor 4.6 dengan $bitrate$ yang berbeda

K-factor = 6.4 (Sudut elevasi 60°)



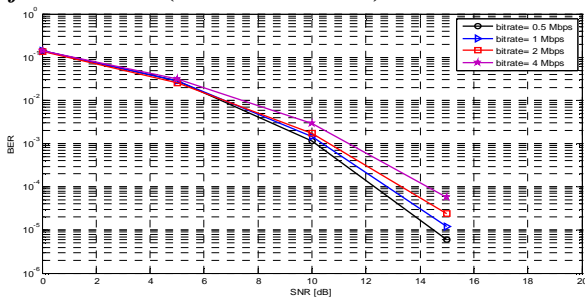
Gambar 4.7 Grafik kinerja BER terhadap SNR pada K-factor 6.4 dengan bitrate yang berbeda

K-factor = 9.2 (Sudut elevasi 70°)



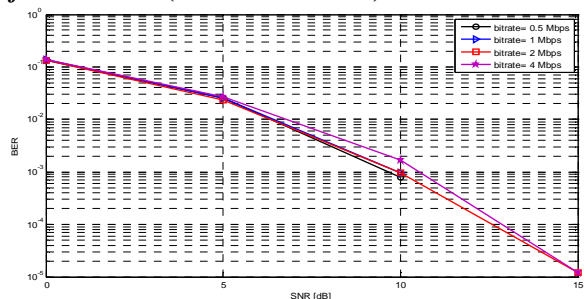
Gambar 4.8 Grafik kinerja BER terhadap SNR pada K-factor 9.2 dengan bitrate yang berbeda

K-factor = 12.2 (Sudut elevasi 80°)



Gambar 4.9 Grafik kinerja BER terhadap SNR pada K-factor 12.2 dengan bitrate yang berbeda

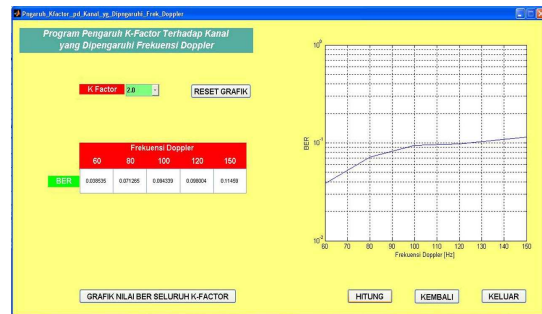
K-factor = 16.8 (Sudut elevasi 90°)



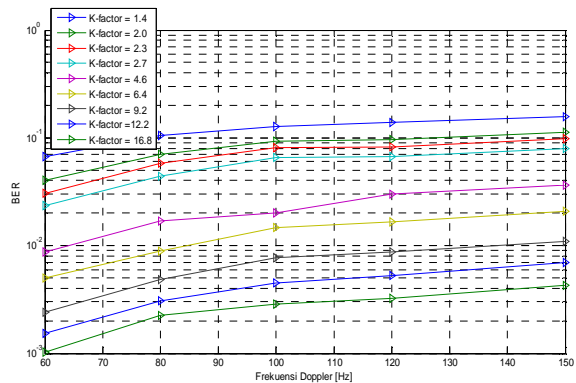
Gambar 4.10 Grafik kinerja BER terhadap SNR pada K-factor 16.8 dengan bitrate yang berbeda

Dari keseluruhan hasil simulasi pengaruh *K-factor* terhadap kanal yang dipengaruhi *delay spread* terlihat bahwa semakin meningkat *bitrate*, maka semakin buruk kinerja sistem. Berubahnya *K-factor* (sudut elevasi) akan mempengaruhi kinerja sistem. Semakin besar *K-factor* juga akan mempengaruhi semakin besar perbaikan pada sistem.

Pengaruh K-factor pada Kondisi Kanal yang Dipengaruhi Doppler Spread



Gambar 4.11 Pengaruh K-factor terhadap kanal yang dipengaruhi oleh Frekuensi Doppler



Gambar 4.12 Grafik kinerja BER terhadap frekuensi Doppler dengan Variasi K-factor

Pada Gambar 4.14 terlihat bahwa naiknya nilai *frekuensi Doppler* mengakibatkan kinerja BER semakin buruk. Hal ini wajar terjadi karena *frekuensi Doppler* sebanding dengan pergerakan pengirim atau penerima dalam mengirimkan ataupun menerima data. Semakin besar laju pergerakan ini mengakibatkan *spread* antara frekuensi *carrier* yang dikirimkan dengan frekuensi yang diterima semakin besar sehingga mengakibatkan adanya fluktuasi fasa sinyal yang memicu terjadinya *error*. Namun semakin bertambahnya *K-factor* (sudut elevasi semakin besar) sangat berpengaruh pada perbaikan kinerja sistem dengan semakin menurunnya nilai BER.

IV. PENUTUP

Semakin tinggi nilai *bitrate* membuat kinerja sistem semakin buruk. Nilai *bitrate* yang semakin cepat membuat meningkatnya *delay* sinyal *multipath* yang menyebabkan ISI.

Semakin bertambahnya *K-factor* (sudut elevasi semakin besar), maka semakin baik performa sistem yang ditandai dengan semakin kecilnya nilai BER..

Semakin besar frekuensi Doppler membuat kinerja sistem semakin buruk. Hal ini disebabkan frekuensi Doppler sebanding dengan laju pergerakan *platform* HAPS maupun penerima dalam mengirimkan ataupun menerima data. Semakin besar laju pergerakan ini mengakibatkan *spread* antara frekuensi yang dikirimkan dengan frekuensi yang diterima semakin besar, sehingga mengakibatkan adanya fluktuasi fasa sinyal yang memicu terjadinya *error*.

Pada kondisi *multipath* yang dipengaruhi *Doppler spread* pengaruh *K-factor* pada kanal HAPS juga sangat besar dalam hal menurunkan BER, semakin besar nilai *K-factor*, maka semakin baik pula kinerja sistem.

Teknik *multiplexing* yang digunakan dapat dikombinasikan dengan CDMA mengingat teknologi HAPS awalnya untuk teknologi CDMA, sehingga kelebihan dari kedua teknologi ini dapat dibandingkan.

Riset mendatang bisa dengan penggunaan model kanal yang lain untuk merepresentasikan kondisi kanal dengan lebih baik, selain itu penerapan ekualiser dan channel *coding* dapat digunakan untuk memperbaiki performansi sistem komunikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Klaus Knoch, Channel Estimation With Linear Interpolation and Decision Feedback for UTRA FDD, IEEE 7th, Sept. 2002.
- [2] Osvaldo Simeone, Pilot-Based Channel Estimation for OFDM System by racking the Delay-Subspace, IEEE Trans. Wireless Commun. Vol. 3, No. 1, pp. 315 – 325, January 2004.
- [3] Iskandar, S. Shimamoto, Channel Characterization and Performance Evaluation of Mobile Communication Employing Stratospheric Platforms, IEICE Trans Commun., Vol. E89-B, No.3, 2005.
- [4] ---, Wahana Dirgantara, http://id.wikipedia.org/wiki/Wahana_dirgantara super, Mei 2008.
- [5] A. Gifson, High Altitude Platform System sebagai wahana baru dalam telekomunikasi, 2006.
- [6] <http://www.capanina.com.org/>, Mei 2008
- [7] Harada, Hiroshi dan Ramjee Prasad, Simulation and Software Radio for Mobile Communications, Artech House, 2003.
- [8] F. Doyis, R. Fantini, M. Mondin, and P. Savi, Small-scale fading for high altitude platform (HAP) propagation channels, IEEE J. Sel. Areas Commun., Vol. 20, No.3, pp.641-647, April 2002
- [9] W.T. Ng, V.K. Dubey, Effect of Employing Beamforming on OFDM Systems in Rician, IEEE Trans Wireless Commun, 2002.
- [10] Anonymous, Overview of High Altitude Platform Station R&D Project, Japan, 2003
- [11] Setiawan Eddy, Wahana Terrestrial Masa Depan, <http://elektroindonesia.com/elektro/assi0500.html> ASSI newsletter. Mei 2008
- [12] STT TELKOM, Modul 1-4 TE 4103 Sistem Komunikasi Bergerak, Teknik Elektro STT TELKOM Bandung, 2006.
- [13] Waskita Henry, "Pemodelan Kanal Mobile Wimax Menggunakan Model Kanal SU", Skripsi Teknik Elektro ITB, 2007.
- [14] http://en.wikipedia.org/wiki/Phase_shift_keying. April 2008
- [15] Yulanda, Erika, Perancangan Estimator Media Transmisi Adaptif pada Sistem Modulasi Multicarrier, Skripsi S1, Teknik Elektro UNDIP, 2005.