

Estimasi Kanal dengan Pendekatan *Linear Piece Wise* untuk Mitigasi ICI pada Sistem OFDM *Mobile*

Adhe Budi Santoso, Titiek Suryani, dan Gamantyo Hendranto
Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111
E-mail: titiks@ee.its.ac.id

Abstrak— Sistem transmisi OFDM merupakan sistem transmisi yang menggunakan beberapa buah frekuensi yang saling orthogonal. Transmisi OFDM digunakan karena dapat mengoptimalkan pemakaian spektrum, memiliki efisiensi pemakaian frekuensi yang lebih baik dan tahan terhadap *frequency selective fading*. Namun untuk aplikasi pada kanal OFDM Mobile, perubahan kanal terhadap waktu akibat *Doppler* akan menimbulkan interferensi yaitu berupa *intercarrier-interference* (ICI) pada OFDM yang dapat mempengaruhi performa kinerja sistem. Untuk itu dibutuhkan estimasi kanal untuk keperluan mitigasi ICI.

Pada simulasi, estimasi pada kanal OFDM Mobile menggunakan pendekatan *linier piece wise* untuk keperluan Mitigasi *intercarrier-interference* (ICI), pada sistem transmisi ini baik dengan bantuan *cyclic prefix* (*satu-slope*) dan menggunakan bantuan *adjacent symbol* (*dua-slope*). Hasil akhir yang ingin dicapai adalah perbandingan dari hasil perhitungan BER pada kanal yang diestimasi dengan *interpolasi linier piece wise* yang menggunakan pencarian slope dengan metode satu slope yang memanfaatkan informasi dari *cyclic prefix* dengan yang menggunakan metode dua slope yang memanfaatkan informasi hasil estimasi titik tengah dari dua simbol yang saling berdekatan.

Dari hasil simulasi berdasarkan variasi banyaknya jumlah iterasi antara dua algoritma pada estimasi *linier piece wise*, dapat disimpulkan bahwa algoritma (*two-slope*) mampu mengestimasi kanal lebih baik daripada dengan menggunakan informasi dari *cyclic prefix* (*one-slope*), hal ini bisa dilihat dari *error* yang dihasilkan lebih kecil yaitu $2 \cdot 10^{-1}$ - $4 \cdot 10^{-5}$ untuk iterasi sebanyak 10 kali dengan $f_d=0.02$, ini jauh lebih baik daripada yang dengan menggunakan metode (*one-slope*) yang memiliki *error* $3 \cdot 10^{-1}$ - $9 \cdot 10^{-5}$ untuk iterasi yang sama dengan nilai f_d sama, lebih buruk $5 \cdot 10^{-5}$ daripada *two-slope* di SNR 40.

Kata Kunci— *Cyclic prefix*, *linier piece wise*, *mobile-to-fix*, OFDM.

I. PENDAHULUAN

KOMUNIKASI *mobile* rentan terhadap *fading* yang menyebabkan kinerja sistem menurun, ini tidak terjadi pada komunikasi *mobile* saja tetapi hampir semua teknik transmisi pada komunikasi *wireless* juga rentan terkena *fading*, tak terkecuali pada teknik transmisi OFDM [1]. Penerapan

OFDM di sistem komunikasi *wireless* merupakan salah satu metode untuk pengoptimalan pemakaian spektrum. Pengoptimalan pemakaian frekuensi yang jauh lebih baik. Namun untuk aplikasi pada kanal OFDM Mobile, perubahan kanal terhadap waktu akibat *Doppler* akan menimbulkan interferensi yaitu berupa *intercarrier-interference* (ICI) pada OFDM yang dapat mempengaruhi performa kinerja sistem [2]. Untuk itu dibutuhkan estimasi kanal untuk keperluan mitigasi ICI.

Posisi antara pemancar MS dan penerima *Fixed* (BTS) pada sistem transmisi Mobile OFDM ini selalu berubah-ubah, mendekat atau menjauh antar keduanya, ini yang menyebabkan frekuensi *Doppler* berubah-ubah pula [3]. *Doppler spread* akan mempengaruhi hasil estimasi kanal yang akan digunakan untuk mendekati keadaan kanal sesungguhnya. Pada kanal OFDM *Mobile* akan menyebabkan munculnya ICI, hal ini terjadi karena adanya *time varying* dari tiap simbol OFDM [1]. Estimasi dilakukan untuk mendapatkan pendekatan seberapa besar ICI yang terdapat pada kanal, namun dengan adanya *Doppler spread* akan semakin sulit mendapatkan nilai ICI, sehingga diperlukan kajian tentang seberapa tahan metode estimasi kanal ini terhadap *Doppler*. Dari hal tersebut akan didapatkan batasan kemampuan *Doppler* yang bisa ditolerir agar estimasi kanal yang digunakan dapat bekerja optimal [4]. Awalnya mitigasi ICI dilakukan dengan mengasumsikan sebuah model linier untuk beberapa kanal [5]. Hal ini berarti kanal berada dalam kondisi *Doppler spread* dan delay yang rendah, pada aplikasi untuk mobilitas yang tinggi mitigasi ICI [2] mutlak diperlukan.

Pada penelitian ini sistem estimasi pada kanal OFDM Mobile dengan menggunakan pendekatan *linier piece wise* [2] untuk Mitigasi *intercarrier-interference* (ICI) diperoleh dengan bantuan *cyclic prefix* dan dengan menggunakan bantuan dari dua simbol yang saling berdekatan [1]. Hasil akhir yang ingin dicapai adalah perbandingan dari hasil perhitungan BER dari 2 metode bantuan yang disimulasikan.

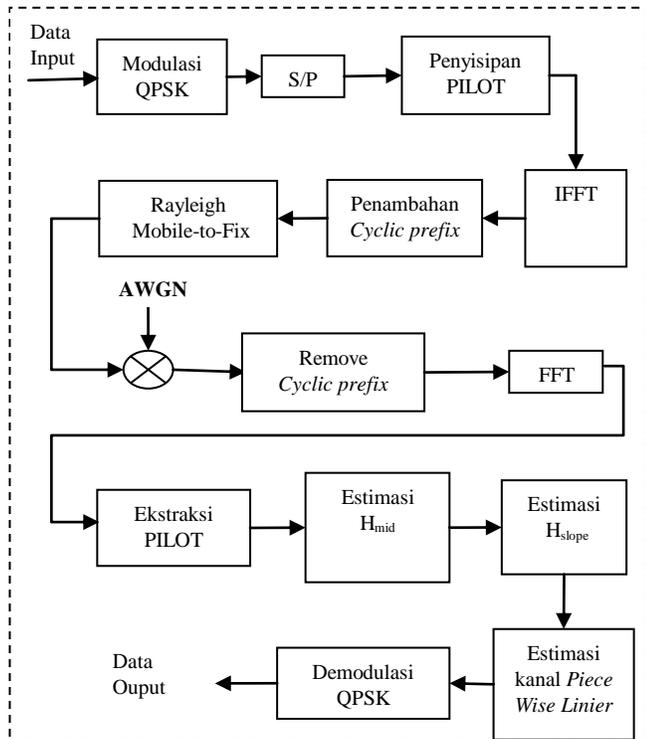
II. METODE PENELITIAN

A. Model Sistem

Pada simulasi, bit informasi akan dibangkitkan secara acak sebanyak 20.480 bit. Bit informasi tersebut akan

dimodulasi menggunakan modulasi QPSK. Selanjutnya pola penyisipan pilot yang digunakan yaitu tipe pola *comb* [6]. Beberapa parameter yang digunakan dalam simulasi ini yaitu jumlah subcarrier $N=64$, Panjang *cyclic prefix* $L_{cp} = 32$ dan jumlah pilot yang disisipkan $P=8$ Sehingga Durasi simbol didapatkan dengan rumus

$$T_s = (N+L_{cp})T$$



Gambar. 1. Diagram blok estimasi kanal dengan pendekatan *Piece Wise Linier* pada sistem OFDM

Pada gambar.1 ditunjukkan bahwa data informasi yang akan dikirim ke tujuan dimodulasi QPSK terlebih dahulu kemudian deretan simbol serial tersebut tersebut diparalelkan. Setelah itu simbol-simbol yang berisi bit informasi disisipkan Simbol Pilot yang digunakan untuk estimasi, Proses selanjutnya yaitu *Inverse Fourier Form Tranform* (IFFT) [7] dan penambahan *Cyclic prefix*, kemudian data dikirim melalui Kanal Rayleigh dan akan terkena Doppler serta Noise AWGN setelah itu akan masuk ke penerima, data yang berasal dari kanal akan melalui proses FFT dan Penghilangan *Cyclic prefix* [4]. Proses Setelah itu adalah ekstraksi Simbol pilot yang akan di gunakan untuk estimasi *linier piece wise*, baik itu dengan metode *one-slope* dan *two-slope* [1], setelah itu dihitung nilai *error* estimasinya.

B. Model Kanal

Model Kanal Zheng Xiao II digunakan untuk keadaan kanal *Mobile-to-fix*. Model Zheng Xiao II merupakan sebuah model statistik yang berguna untuk mensimulasikan *Rayleigh Fading Channels* [8]. Adapun persamaan statistiknya sebagai berikut :

$$g(t) = g_i(t) + jg_q(t) \tag{2}$$

$$g_i(t) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^N \cos[w_d t(\alpha_n) + \phi_{i,n}] \tag{3}$$

$$g_q(t) = \sqrt{\frac{2}{N}} \sum_{n=1}^N \cos[w_d t(\alpha_n) + \phi_{q,n}] \tag{4}$$

α_n adalah sudut acak pada Tx saat sinyal menuju Rx atau biasa disebut dengan AOD (*random angle of departure*), ϕ merupakan pergeseran *phase* acak ke- n [9], dan ω_d merupakan frekuensi *doppler*, Rumus untuk α_n adalah sebagai berikut

$$\alpha_n = \frac{2\pi n - \pi + \theta}{4N} \tag{5}$$

dengan $n = 1, 2, \dots, N$
 Dan untuk $\theta \sim U[-\pi, \pi)$, $\phi_{i,n} \sim U[-\pi, \pi)$, dan $\phi_{q,n} \sim U[-\pi, \pi)$ untuk semua nilai n , dan saling bebas yang satu dengan yang lainnya. Indeks n menyatakan jumlah pantulan sinyal dari pusat Tx atau jumlah *scattering* yang terjadi di penerima. Selanjutnya Model kanal yang digunakan adalah model kanal SUI-3 yang terdiri dari 3 tap yang memiliki *delay* dan *average power* yang berbeda untuk tiap tap.

C. Estimasi Linier piece wise

Ada 2 metode estimasi kanal dengan menggunakan pendekatan *piece wise linier* [1]. Pada metode pertama ialah dengan menggunakan bantuan *cyclic prefix* [2] dan yang kedua adalah dengan menggunakan bantuan dari simbol-simbol [1] terdekat.

Pada estimasi ini, digunakan pilot insertion dengan tipe

Tabel 1. PARAMETER KANAL MODEL SUI-3

Kanal SUI-3				
Terrain : B	Tap 1	Tap 2	Tap 3	Units
<i>Delay</i>	0	0.4	0.9	μs
Power	0	-5	-10	dB
Max. Doppler	0.4	0.3	0.5	Hz

comb dan menggunakan estimasi *piece wise linier* dengan persamaan dari hasil keluaran FFT yang mana H_{slope} akan di set 0 untuk, berikut :

$$Y = H_{mid} X + C \times H_{slope} X + W \tag{6}$$

Y adalah keluaran dari FFT pilot, H_{mid} merupakan hasil diagonal dari matrik FFT pilot, X merupakan sinyal awal yang akan di estimasi, H_{slope} merupakan FFT diagonal dari *psi* dan C merupakan matrix diagonal yang tersimpan pada penerima.

Untuk mendapatkan nilai H_{mid} yang dimulai dari prose pilot extraction, sebagai berikut,

$$H_{l_i,0} = \frac{Y_{l_i}}{P_{l_i}} = H_{l_i,0} + \frac{(I_{l_i} + W_{l_i})}{P_{l_i}} \tag{7}$$

Hl_i adalah matriks kanal, Yl_i merupakan matriks [10] hasil FFT, Pl_i merupakan matriks dari susunan pilot.

Selanjutnya untuk mendapatkan h_k^{ave} dapat dirumuskan sebagai berikut ,

$$h_k^{ave} = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} Hl_{i,0} e^{j2\pi k / L} \quad (8)$$

$Hl_{i,0}$ adalah matriks kanal, L merupakan jumlah pilot, dan untuk $0 \leq k \leq L-1$

Selanjutnya akan dilakukan pendekatan $hk(N/2-1)$ dengan estimasi dari hk^{ave} , akan didapatkan,

$$hk^{\frac{N}{2}-1} = hk^{ave} \quad (9)$$

K adalah lintasan ke- k , dan N merupakan jumlah *subcarrier*.

Nilai H_{mid} didapatkan dari diagonal FFT dari $h_k^{(N/2-1)}$ yang dapat dituliskan dalam persamaan,

$$H_{mid} = \text{diag} \left\{ \text{FFT} \left(\left[h_0^{\frac{N}{2}-1} h_1^{\frac{N}{2}-1} \dots h_g^{\frac{N}{2}-1} 0 \dots 0 \right] \right) \right\} \quad (10)$$

Setelah mendapatkan Nilai X [5], maka yang harus diestimasi berikutnya adalah nilai psi , yang didapat dari persamaan,

$$y_p - R \times p = D \times Xp_{mat} \times \delta + w_p \quad (11)$$

y_p adalah vektor *cyclic prefix* di penerima, R merupakan matriks yang akan dijelaskan pada persamaan 12, p merupakan vektor yang berisi nilai x_p previous dan x_p , D merupakan matriks diagonal yang dijelaskan pada 14 dan Xp_{mat} merupakan matriks reverse p transpose dijelaskan di 15.

Untuk penggunaan matriks R pada persamaan 11 diatas, nilai matriks R dapat didapatkan dari persamaan,

$$R(i, j) = h_{\left(\frac{N}{2}-1\right) - (i-j+G)} \quad (12)$$

G adalah jumlah *guard* atau *cyclic prefix* dan untuk $1 \leq i \leq G$ dan $1 \leq j \leq 2 \times G$

Vektor p , ialah berasal dari vektor x_p dan x_p previous yang dapat dituliskan,

$$p = \begin{bmatrix} x_p^{pre} \\ x_p \end{bmatrix} \quad (13)$$

x_p^{pre} adalah vektor x_p simbol ke $(n-1)$, dan x_p merupakan vektor x_p simbol ke (n) .

Matriks D dari persamaan 11 sebelumnya, dapat dituliskan pada persamaan berikut,

$$D(i, i) = T_s \times \left(-\frac{N}{2} + i - G \right) \quad (14)$$

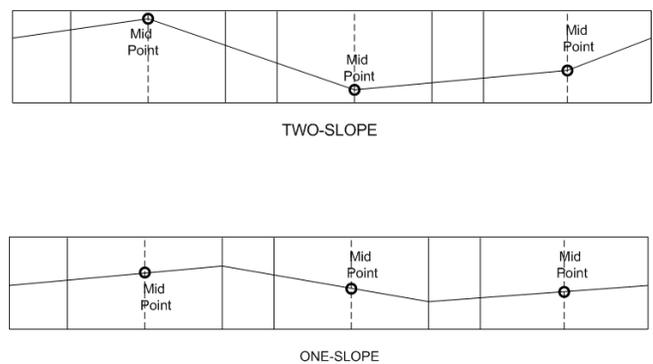
matriks D berbentuk diagonal dikarenakan indeks matriksnya (i, i) dimana nilai $1 \leq i \leq G$

Matriks Xp_{mat} dari persamaan 11 diatas, dapat didefinisikan sebagai,

$$xp_{mat} = \begin{bmatrix} \text{Rev}(p[1 : G + 1]) \\ \text{Rev}(p[2 : G + 2]) \\ \vdots \\ \text{Rev}(p[G : 2 \times G]) \end{bmatrix} \quad (15)$$

p^t adalah transpose dari vektor p , dan G merupakan jumlah *guard*.

Setelah mendapatkan elemen-elemen dari persamaan 12, nilai psi bisa didapatkan, psi dipakai untuk membentuk slope pada visualisasi gambar estimasi.



Gambar. 2. Ilustrasi Two-slope dan One-slope

Pada estimasi simbol pertama pada persamaan 9 [1], untuk simbol pertama nilai H_{slope} di-set bernilai 0, untuk mendapatkan nilai estimasi X , tetapi untuk estimasi simbol [1] selanjutnya yang telah memiliki nilai H_{slope} ikut dimasukkan ke dalam persamaan untuk mendapatkan nilai X , nilai H_{slope} didapatkan dari persamaan berikut,

$$H_{slope} = \text{diag} \left\{ \text{FFT} \left([\alpha_0 \cdot \alpha_1 \dots \alpha_G \cdot 0 \dots 0] \right) \right\} \quad (16)$$

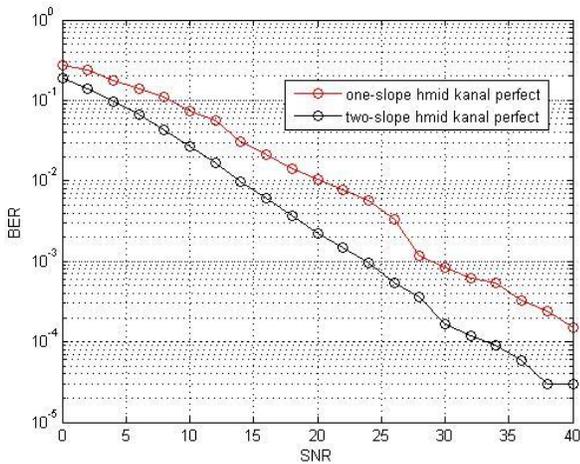
III. HASIL

A. Estimasi piece wise linier dengan bantuan cyclic prefix (one-slope) dan simbol terdekat (two-slope).

Hasil simulasi estimasi kanal dengan pendekatan *linier piece wise*, menggunakan *cyclic prefix (one-slope)* dan menggunakan simbol yang berdekatan (*two-slope*), akan dibandingkan mana performa yang terbaik dari keduanya dalam ukuran Bit Error Rate (BER) sedangkan unjuk kerja tiap estimasi akan dibandingkan dengan menggunakan kanal [14] *mobile to fix* dan menggunakan kanal *perfect*.

Pada simulasi ini digunakan frekuensi doppler 0.02, gambar 3 iterasi dilakukan sebanyak 10 kali untuk hasil lebih akurat, BER pada metode *one-slope* dan *two-slope* meningkat,

peningkatan performa yang meningkat bisa dilihat pada SNR 20, nilai BER untuk metode *one-slope* menjadi 9.10^{-3} yang mulanya 2.10^{-2} begitu pula untuk metode *two-slope* yang pada awalnya bernilai 4.10^{-3} menjadi 3.10^{-3} , terus meningkat sampai SNR 40, untuk *one-slope* bernilai 9.10^{-5} yang awalnya 2.10^{-4}



Gambar 6. Grafik performa BER estimasi *piece wise linier* dengan bantuan cp dan simbol terdekat pada kanal *perfect* iterasi 10 kali

dan untuk *two-slope* bernilai 5.10^{-5} yang mulanya 9.10^{-5} pada iterasi ke-5.

B. Estimasi piece wise linier dengan bantuan cyclic prefix (one-slope) pada kanal mobile-to-fix dan kanal perfect.

Error estimasi pilot akan memberikan pergeseran *mid-point* dari respon kanal. Jika titik *mid-point* bergeser maka nilai *slope* yang terpengaruh oleh *mid-point* juga akan ikut bergeser.

Untuk menganalisa mana yang lebih signifikan menyebabkan error pada hasil estimasi keseluruhan, apakah dari *mid-point* atau *slope*-nya akan dianalisa dengan kanal *perfect*, pada kanal *perfect* dimana nilai *mid-point* bernilai *perfect*, diambil langsung dari simbol kanal bukan lagi dari nilai IFFT pilot, dapat dipastikan *mid-point* tepat.

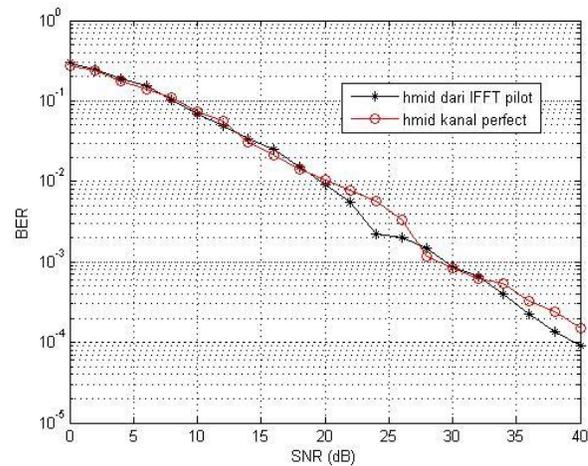
Gambar 4 menunjukkan performa estimasi *piece wise linier* yang menggunakan bantuan dari *cyclic prefix* yang dengan menggunakan kanal *mobile-to-fix* dan kanal *perfect*.

Dari gambar grafik BER pada gambar 3 dimana iterasi telah ditingkatkan menjadi 2 kali lipat dari yang pertama yaitu menjadi iterasi sebanyak 10 kali untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dapat terlihat bahwa nilai BER pada kanal *mobile-to-fix* dan kanal *perfect*, untuk nilai SNR 0 memang masih menunjukkan nilai BER yang sama dengan yang pada hasil iterasi sebanyak 5 kali, peningkatan performa yang meningkat dapat dilihat pada saat SNR 20, nilai BER untuk kanal *perfect* menjadi 2.10^{-2} yang pada mulanya bernilai 4.10^{-2} begitu pula untuk nilai SNR 30 yang pada awalnya BER bernilai 2.10^{-3} menjadi 8.10^{-4} dan terus meningkat sampai SNR 40, BER bernilai 9.10^{-5} yang pada awalnya 2.10^{-3} pada iterasi ke-5. Dari gambar grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa semakin besar SNR maka errornya akan semakin kecil. Nilai

error pada kanal *mobile-to-fix* lebih kecil daripada pada kanal *perfect* karena nilai *slope* yang diestimasi masih dapat mengimbangi pendekatan dari *mid-point* yang didapat dari IFFT pilot.

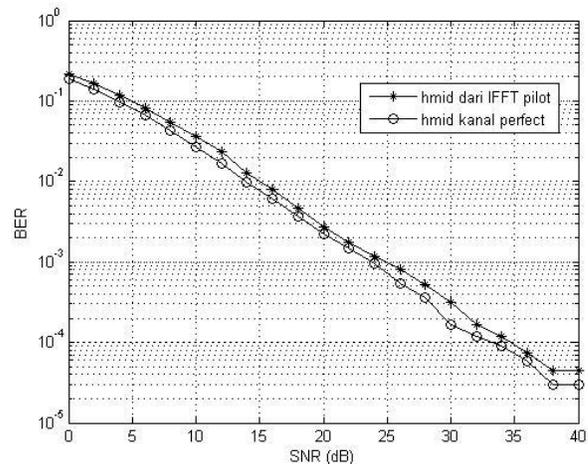
C. Estimasi piece wise linier dengan bantuan simbol terdekat (two-slope) pada kanal mobile-to-fix dan kanal perfect.

Dari gambar grafik BER pada gambar 5 dimana iterasi sebanyak 10 kali untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dapat terlihat bahwa nilai BER pada kanal *mobile-to-fix* dan kanal *perfect*, untuk nilai SNR 0 memang masih menunjukkan



Gambar 4. Grafik performa BER estimasi *piece wise linier* dengan bantuan cp kanal *mobile-to-fix* vs. kanal *perfect* iterasi 10 kali

nilai BER yang sama dengan yang pada hasil iterasi sebanyak 5 kali, untuk SNR 30 yang pada awalnya BER bernilai 2.10^{-3} menjadi 8.10^{-4} dan terus meningkat sampai SNR 40.



Gambar 5. Grafik performa BER estimasi *piece wise linier* dengan bantuan simbol terdekat untuk kanal *mobile-to-fix* vs. kanal *perfect* iterasi 10 kali

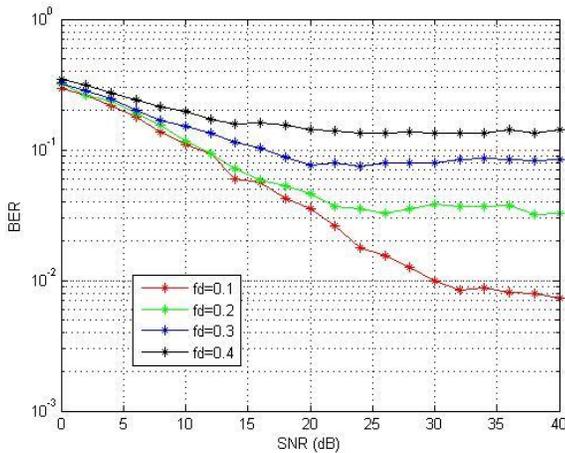
Nilai error pada kanal *perfect* lebih kecil daripada pada kanal *mobile-to-fix* ini sangat berbanding terbalik dengan yang terjadi pada model *one-slope*.

D. Batas kemampuan estimasi piece wise linier terhadap frekuensi doppler ternormalisasi.

Dari 2 jenis algoritma dari metode estimasi *linier piece wise* masih kurang cukup meyakinkan untuk langsung diaplikasikan, pada perbandingan yang pertama telah diketahui seberapa baik dari setiap algoritma yang dibandingkan, tetapi pasti muncul sebuah pertanyaan lagi, yaitu seberapa tahan algoritma tadi jika dilihat dari factor pengganggu utama yaitu berupa *frekuensi Doppler*. Merupakan kewajiban untuk melampirkan sebuah toleransi batasan yang telah diukur untuk salah satu metode atau sebuah mekanisme yang akan dilakukan, maka akan dicobakan kedua algoritma atau metode tadi untuk dilihat performa atau kemampuannya terhadap besar atau kecilnya nilai frekuensi Doppler yang merupakan factor utama dalam komunikasi bergerak. Pada tugas akhir ini akan dicoba membandingkan nilai BER dari beberapa nilai *frekuensi Doppler* ternormalisasi, akan diajukan 4 *frekuensi Doppler* yang berbeda yaitu, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4.

Pada gambar 7 dengan menggunakan nilai f_d yang bervariasi bisa dianalisa bahwa semakin besar nilai f_d , maka nilai BER akan semakin buruk, dapat dilihat pada SNR 40 untuk nilai $f_d = 0.3$ sudah memiliki BER senilai 9.10^{-2} dan bila dilihat dari visualisasi dalam time domain slope terpaut jauh respon kanalnya. Sehingga disarankan untuk estimasi *one-slope* (dengan menggunakan informasi dari CP) ini memiliki batas toleransi untuk *frekuensi* tertinggi sebesar 0.2.

Dari gambar 8 dengan menggunakan nilai f_d yang bervariasi dapat dianalisa bahwa semakin besar nilai f_d , maka



Gambar. 7. Grafik performa BER estimasi *piece wise linier* dengan bantuan CP dengan nilai f_d yang bervariasi dengan iterasi 10 kali

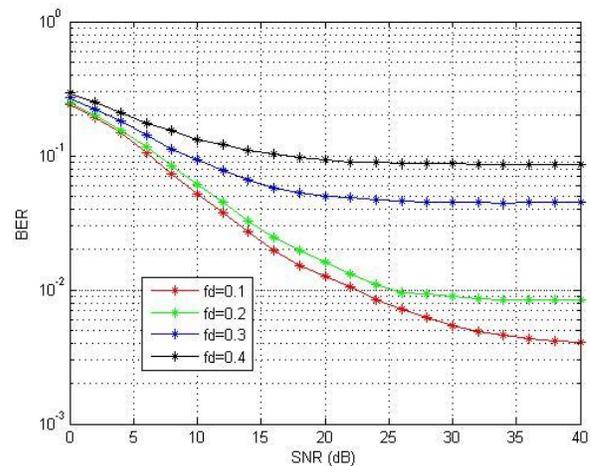
nilai BER akan semakin buruk, dapat dilihat pada SNR 40 untuk nilai $f_d = 0.3$ sudah memiliki BER senilai 4.10^{-2} dan jikalau dilihat dari visualisasi dalam time domainnya sudah terpaut jauh nilai slope dari nilai respon kanalnya. Sehingga disarankan untuk estimasi *two-slope* (dengan menggunakan informasi dari nilai tengah dari 2 simbol terdekat) ini memiliki batas toleransi untuk *frekuensi* tertinggi sebesar 0.2.

IV. KESIMPULAN

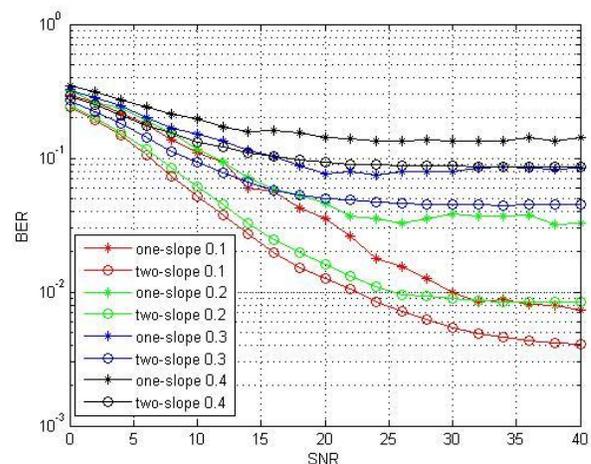
Berdasarkan simulasi dan analisis, estimasi kanal dengan *linier piece wise* yang dengan menggunakan simbol-simbol terdekat (*two-slope*) lebih baik daripada yang dengan menggunakan informasi dari *cyclic prefix* (*one-slope*), ini dapat dilihat dari nilai *error* yang dihasilkan lebih kecil, untuk iterasi 10 kali dengan nilai f_d yang sama, metode *two-slope* lebih baik 5.10^{-5} dari metode *one-slope*.

Performansi berdasarkan nilai BER untuk teknik estimasi kanal dengan pendekatan *linier piece wise* yang menggunakan bantuan *cyclic prefix* lebih bagus terlihat pada saat disimulasikan pada kondisi kanal *mobile-to-fix* daripada yang disimulasikan dengan model kanal *perfect*, ini dapat dilihat dari nilai *error* yang dihasilkan lebih kecil, untuk iterasi 10 kali dengan nilai f_d yang sama, kanal *mobile-to-fix* lebih baik 3.10^{-2} dari kanal *perfect* pada SNR 10.

Pada metode yang dengan menggunakan bantuan simbol



Gambar. 8. Grafik performa BER estimasi *piece wise linier* dengan bantuan dari nilai tengah dari simbol yang terdekat dengan nilai f_d yang bervariasi dengan iterasi 10 kali



Gambar. 9. Grafik performa BER estimasi *piece wise linier* dengan bantuan CP dan simbol yang terdekat dengan nilai f_d yang bervariasi dengan iterasi 10 kali
terdekat, performansi nilai BER lebih bagus terlihat yang pada kondisi kanal *perfect* jika dibandingkan dengan yang pada kondisi kanal *mobile-to-fix*, ini dapat dilihat dari nilai *error*

yang dihasilkan lebih kecil untuk iterasi 10 kali dengan nilai f_d yang sama, kanal *perfect* lebih baik 2.10^{-5} dari kanal *mobile-to-fix* pada SNR 40.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Mostofi and D. Cox: ICI Mitigation for Mobile OFDM Receivers. Proc. IEEE 38th ICC, Anchorage, Alaska, (2003, May).
- [2] V. Fischer, Alexander Kurpiers and Dominik Karsunke, "ICI Reduction Method for OFDM Systems", 8th International OFDM-Workshop 2003 (InOWo'03), Hamburg, Conference Proceedings.
- [3] P. Robertson and S. Kaiser, "The effects of Doppler spreads in OFDM(A) mobile radio systems," in Proc. IEEE Vehicular Technology Conf., Fall (1999) 329–333.
- [4] L.Cimini, "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing," IEEE Trans. Commun., vol.COMM-33, (1985, July)665–675.
- [5] C. T. Kelley, Iterative Methods for Linear and Nonlinear Equations. Philadelphia, PA: Frontiers in Applied Mathematics, (1995).
- [6] R. Negi and J. Cioffi, "Pilot tone selection for channel estimation in a mobile OFDM system," IEEE Trans. Consumer Electron., vol. 44, (1998, Aug)1122–1128.
- [7] W. G. Jeon and K. H. Chang, "An equalization technique for orthogonal frequency-division multiplexing systems in time-variant multipath channels," IEEE Trans. Commun., vol. 47, (1999, Jan) 27–32.
- [8] C. S. Patel, "Wireless Channel Modelling simulation and Estimation", A Thesis , Ch.2 (2006).
- [9] A. Papoulis, Probability, Random Variables and Stochastic Processes,3rd ed. New York: McGraw-Hill International, (1991).
- [10] R.Bronson,. Schaum's outline of Theory and Problems : Matrix Operation. The McGraw-Hill Companies,Inc, Ch. 19, (1989).