

Simulasi Pengaruh Phase Noise pada Kinerja Sistem Komunikasi Nirkabel *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)

Ali Mustofa, Wahyu A. Priyono

Abstrak — *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) merupakan salah satu alternatif terbaik dalam mengurangi pengaruh lintas jamak pada komunikasi bergerak. OFDM mempunyai kelemahan, yaitu sensitivitas tinggi terhadap perubahan waktu pada kanal disebabkan efek Doppler, frekuensi *offset carrier*, dan *phase noise*. Penelitian ini menganalisis kinerja sistem OFDM terhadap *phase noise* dengan perbedaan jumlah *subcarrier* menggunakan modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK). Hasil simulasi menunjukkan, dengan variasi *phase noise* yang berbeda, *phase noise* dapat menyebabkan penurunan rasio sinyal terhadap noise (SNR) dan penurunan laju transmisi.

Kata Kunci -- OFDM, Phase Noise, QPSK

I. PENDAHULUAN

OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) adalah modulasi *multicarrier* yang diterapkan pada banyak aplikasi nirkabel dalam kemampuannya untuk melawan pengaruh *noise* dan kanal lintas jamak juga pemakaian yang baik pada *bandwidth* yang tersedia. Pada saat ini, OFDM telah dijadikan standar dan dioperasikan di Eropa yaitu pada proyek DAB (*Digital Audio Broadcast*) dan standar *Digital Video Terrestrial Broadcasting* (DVB) [6], selain itu juga telah diusulkan untuk UMTS (*Universal Mobile Telecommunication Systems*) [1] dan juga sudah dijadikan standar untuk generasi baru *Local Area Network* nirkabel (HIPERLAN: *High Performance Radio LAN*) [5]. OFDM sedang dikembangkan untuk sistem *ultra-wideband* (UWB), sistem seluler, nirkabel untuk *metropolitan area network* (MAN), dibawah standar IEEE 802.16 [10].

Phase noise harus secara hati-hati dipertimbangkan ketika perancangan suatu sistem komunikasi berdasarkan OFDM karena peramalan/prediksi yang akurat dari *phase noise* maka sistem tersebut dapat ditolerir. Pengaruh *phase noise* OFDM telah dianalisis oleh beberapa peneliti dan degradasi diperkenalkan pada sistem ini dengan karakterisasi khusus dari *phase noise* [2]. Analisis dari [2] mengasumsikan bahwa konstanta *phase error* dapat dikoreksi. Hal ini dapat juga

diperlihatkan dalam [3] bahwa degradasi dalam OFDM akibat *phase noise* adalah sama seperti sistem satu *carrier* jika pengaruh *phase noise* dianggap tanpa adanya koreksi.

Berbagai jenis mekanisme koreksi kanal diperkenalkan pada sistem OFDM dengan dapat mengoreksi *phase noise* dengan beberapa tingkat. Kenyataan ini menjelaskan kemampuan meramalkan kinerja sistem OFDM jika koreksi *phase noise* tersebut diterapkan.

Penelitian terdahulu dari *phase noise* dalam OFDM yaitu menganalisis kinerja tergantung dengan parameter *phase noise* seperti 3 dB *linewidth* dari rapat daya Lorentzian [2] atau korelasi waktu. Akan tetapi, tidaklah mudah bila berhubungan dengan spesifikasi osilator yang dibutuhkan oleh perancang sistem.

II. ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING (OFDM)

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) adalah suatu teknik transmisi *multicarrier*. Inti dari penggunaan modulasi OFDM ini adalah untuk menghindari efek-efek yang terjadi pada kanal nirkabel, seperti *delay spread* dan *doppler spread* yang dapat menyebabkan *Interchannel Interference* (ICI) dan *Intersymbol Interference* (ISI)[3][4]. Pada modulasi OFDM, *bandwidth* yang tersedia dibagi kedalam beberapa sub-kanal untuk mentransmisikan data secara paralel dan data pada masing-masing subkanal tersebut dimodulasikan dengan frekuensi *subcarrier* yang saling *orthogonal* dan ditransmisikan dengan aliran data laju rendah [7]. Masalah *delay spread* yang terjadi pada kanal nirkabel dapat diatasi dengan penambahan *cyclic prefix* pada simbol OFDM sehingga setiap simbolnya tetap saling *orthogonal*[8].

Pada sistem OFDM kebutuhan akan laju bit total. Apabila laju bit total yang tersedia adalah R_{tot} , maka R_{tot} dibagi dengan sejumlah N *subcarrier* sehingga laju datanya [9].

$$R_{sub} = \frac{R_{tot}}{N} \text{ (bps)} \quad (1)$$

Durasi simbol untuk suatu modulasi M -ary pada masing-masing *subcarrier* menjadi :

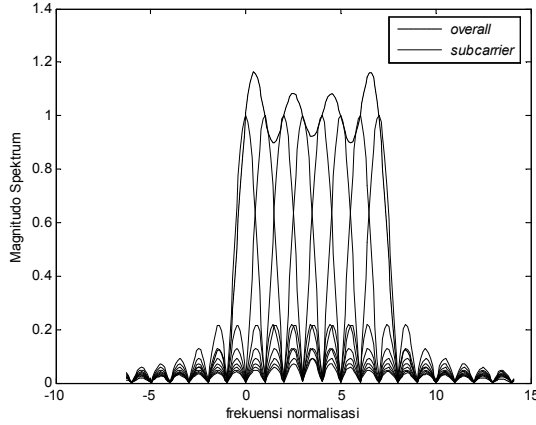
$$T_{sub} = \frac{N \cdot \log_2 M}{R_{tot}} \text{ (s)} \quad (2)$$

Naskah diterima pada tanggal 20 Mei 2007.

Ali Mustofa dan Wahyu A. Priyono bekerja di Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Alamat email penulis alim@brawijaya.ac.id.

Spektrum setiap *subcarrier* pada sistem *multicarrier* OFDM saling *overlap* satu dengan yang lainnya dan tetap saling *orthogonal* seperti dalam Gambar 1.

Pada pemancar OFDM, deretan data-data paralel d_0, d_1, \dots, d_{N-1} masing-masing dimodulasi kedalam sejumlah N frekuensi *subcarrier* dan dijumlahkan dan menghasilkan sinyal OFDM



Gambar 1 Spektrum *subcarrier* dan sinyal keseluruhan. ($N = 8$).

$$x(t) = \sum_{k=0}^{N-1} d_k e^{j\omega_k t} \quad (3)$$

dengan $x(t)$ adalah sinyal OFDM, d_k adalah deretan data kompleks ke- k , ω_k adalah frekuensi *subcarrier* ke- k . Pada penerima, simbol kompleks termodulasi ke- k dikembalikan dengan mengalikan simbol-simbol OFDM tersebut dengan kompleks konjugat dari *subcarrier* ke- k , sehingga data-data d_0, d_1, \dots, d_{N-1} dapat diperoleh kembali. Struktur pemancar dan penerima OFDM seperti dalam Gambar 2.

III. PHASE NOISE PADA OFDM

Phase noise muncul karena perbedaan *phase* antara frekuensi osilator lokal pemancar dengan osilator lokal penerima. Blok diagram sistem OFDM dengan *phase noise* dan AWGN dapat dilihat pada Gambar 3.

Phase noise dapat diinterpretasikan sebagai suatu modulasi fasa parasitik dalam sinyal osilator yang berupa *carrier* unik amplitudo dan frekuensi yang konstan. Dengan adanya *phase noise* dan *additive white gaussian noise* (AWGN), sistem komunikasi OFDM dapat dimodelkan dalam Persamaan (4).

$$r(n) = \{x(n) * h(n)\} \cdot e^{j\phi(n)} + \eta(n) \quad (4)$$

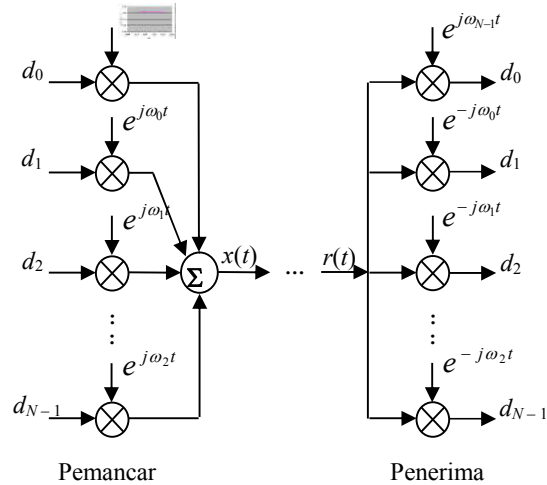
dengan $r(n)$ adalah masukan penerima OFDM, $x(n)$ adalah keluaran pemancar OFDM, $h(n)$ adalah respon kanal, dan $\phi(n)$ adalah *phase noise* dan $\eta(n)$ adalah *noise* AWGN.

Phase noise dapat menyebabkan penurunan kinerja

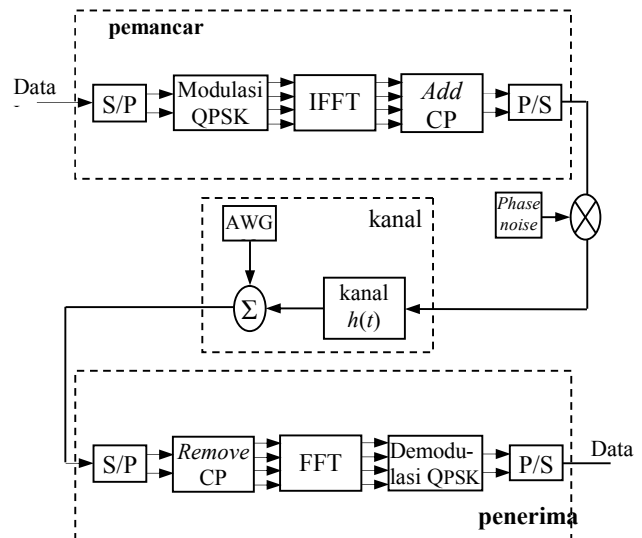
sistem OFDM. Secara matematis, penurunan SNR per simbol pada sistem OFDM karena *phase noise* dinyatakan dalam Persamaan (5).

$$SNR_{\text{degr}} = \frac{E_s}{N_0} \left(\sigma_\theta^2 \left(\frac{N^2 + N - 2}{2N} \right) \dots \left(\frac{E_s}{N_0} + 1 \right)^{-1} \right) \quad (5)$$

dengan E_s/N_0 adalah energi per simbol per rapat spektral *noise*. σ_θ^2 adalah *varians phase noise* (rad^2).



Gambar 2 Struktur dasar pemancar dan penerima *baseband* OFDM.



Keterangan: S = serial, P = paralel, IFFT = *inverse fast fourier transform*, dan CP = *cyclic prefix*

Gambar 3 Blok Diagram sistem OFDM dengan *phase noise* dan AWGN.

Penurunan *signal-to-noise ratio* dari Persamaan (5) dapat juga berpengaruh pada laju transmisi maksimum yang dapat dicapai. Laju transmisi maksimum yang dapat diperoleh akibat pengaruh *phase noise* dapat dinyatakan dalam Persamaan (6).

$$C = B_{OFDM} \cdot \log_2(1 + SNR_{degr}) \quad (6)$$

Penurunan laju transmisi pada kanal ini selain disebabkan oleh AWGN juga disebabkan oleh *phase noise* yang ditimbulkan oleh masing-masing *sub-carrier*.

Penurunan *signal to noise ratio* (SNR) yang diakibatkan oleh *phase noise* pada setiap simbol akan mempengaruhi bit-bit yang diterima pada penerima. Dalam sistem komunikasi diharapkan jumlah bit yang diterima lebih besar dari jumlah bit yang salah. *Bit Error Rate* (BER) sistem OFDM yang disebabkan oleh pengaruh *phase noise* dinyatakan dalam Persamaan (7).

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{SNR_{degr}}\right) \quad (7)$$

IV. METODE PENELITIAN

Nilai parameter-parameter OFDM yang diperlukan dalam simulasi untuk standarisasi IEEE 802.11a diperoleh dari IEEE Std 802.11a-1999 [8] yang meliputi laju data yang digunakan adalah 24 Mbps, Jumlah bit per simbol dengan menggunakan tipe modulasi QPSK adalah dua. Komposisi durasi *cyclic prefix* yang digunakan untuk mengeliminasi *delay spread* adalah 20%. Sensitifitas penerima untuk laju data 24 Mbps adalah -74 dBm. *Band* frekuensi kerja yang digunakan adalah pada 5.15-5.25 GHz yaitu berdasarkan rekomendasi dari FCC (*Federal Communications Commission*). Untuk melihat pengaruh *phase noise* pada kinerja sistem OFDM, varians *phase noise* yang digunakan adalah 0.004 rad², 0.01 rad², 0.03 rad², dan 0.1 rad². Jumlah *subcarrier* (*N*) yang digunakan adalah 2, 4, 8, 16, 32, 64, dan 128 untuk melihat pengaruh jumlah *subcarrier* pada sistem OFDM.

Metode analisis data menggunakan parameter diatas dan digunakan untuk menganalisis pengaruh *phase noise* terhadap kinerja sistem OFDM yang meliputi pengaruh *phase noise* terhadap penurunan *signal-to-noise ratio*, pengaruh *phase noise* terhadap laju transmisi maksimum, dan pengaruh *noise phase* terhadap *bit error rate*.

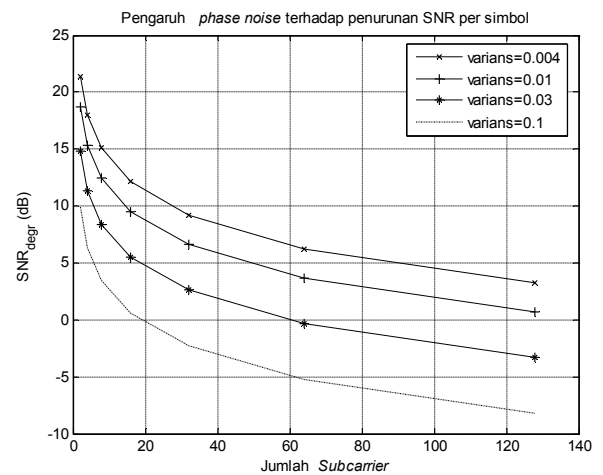
V. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan jumlah *subcarrier* dan SNR per simbol dengan varians *phase noise* yang berbeda, maka hasilnya seperti dalam Gambar 4. Apabila jumlah *subcarrier* diperbanyak dengan varians *phase noise* yang semakin besar menyebabkan penurunan SNR per simbol yang semakin besar pula. Hal ini disebabkan karena pada jumlah *subcarrier* yang semakin besar selain terjadi penurunan SNR per bit yang semakin besar

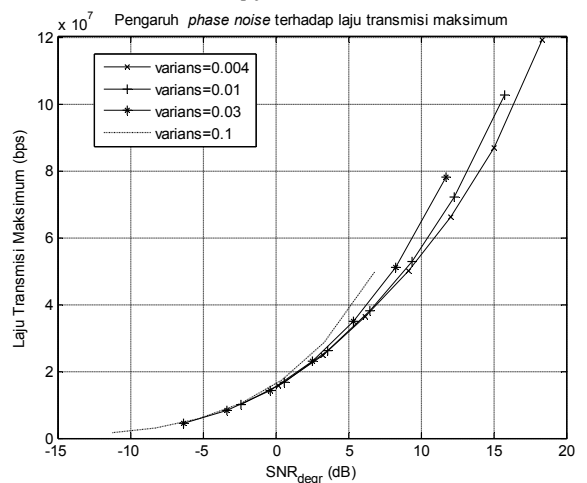
juga terdapat banyak osilator lokal yang menyebabkan penurunan akibat *phase noise* yang ditimbulkan oleh masing-masing osilatornya.

Akibat penurunan yang terjadi pada SNR sistem OFDM yang disebabkan *phase noise*, maka laju transmisi yang dapat diperoleh pada kanal juga menurun. Hal ini berdasarkan Persamaan (6).

Penurunan laju transmisi ini akan semakin besar apabila *phase noise* yang terjadi meningkat. Laju transmisi ini juga akan menurun secara logaritmik terhadap penurunan SNR bit, seperti ditunjukkan dalam Gambar 5. *Bit Error Rate* sistem OFDM yang disebabkan oleh pengaruh *phase noise* dari persamaan (7) maka hasilnya dapat dilihat dalam Gambar 5. BER yang diharapkan dalam suatu sistem komunikasi adalah seminimum mungkin.



Gambar 4 Hubungan penurunan SNR per simbol terhadap jumlah *subcarrier*.



Gambar 5 Hubungan laju transmisi maksimum terhadap SNR_{degr} .

Tabel 1 menunjukkan nilai BER tergantung pada rasio daya sinyal terhadap daya *noise* yang diterima. Pada varians *noise phase* 0.004 rad² BER yang dapat diperoleh adalah 7.13×10^{-10} ($N=2$), sedangkan pada

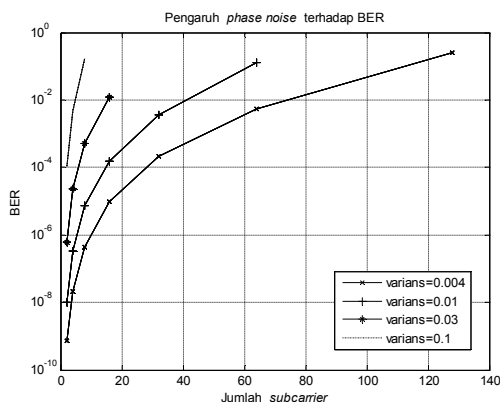
jumlah *sub-carrier* terbesar ($N = 128$) BER yang dapat diperoleh adalah 2.46×10^{-1} . Apabila *varians noise phase* diperbesar menjadi 0.01 rad^2 , BER yang dapat diperoleh untuk jumlah *subcarrier* terkecil ($N = 2$) adalah 1.02×10^{-8} , sedangkan BER maksimum hanya dapat diperoleh pada jumlah *subcarrier* 64 yaitu sebesar 1.31×10^{-1} .

TABEL 1 BER SISTEM OFDM KARENA PENGARUH *NOISE PHASE*.

N	SNR _{degr} (dB)		SNR _{degr} (dB)		SNR _{degr} (dB)		SNR _{degr} (dB)	
	BER	BER	BER	BER	BER	BER	BER	BER
	0.004 rad ²	0.01 rad ²	0.03 rad ²	0.1 rad ²				
2	18.3	7.13x10 ⁻¹⁰	15.7	1.02x10 ⁻⁸	11.8	6.20x10 ⁻⁷	69	1.08x10 ⁻⁴
4	15.0	2.11 x10 ⁻⁸	12.3	3.42 x10 ⁻⁷	8.3	235 x10 ⁻⁵	3.4	4.88 x10 ⁻³
8	12.1	4.43 x10 ⁻⁷	9.4	7.15 x10 ⁻⁶	5.4	5.16 x10 ⁻⁴	0.5	1.72 x10 ⁻¹
16	9.2	9.35 x10 ⁻⁶	6.5	1.52 x10 ⁻⁴	2.5	1.24x x10 ⁻²	-2.4	-
32	6.2	2.13 x10 ⁻⁴	3.6	3.67 x10 ⁻³	-0.4		-5.3	-
64	3.2	2.52 x10 ⁻³	0.6	1.31 x10 ⁻¹	-3.4		-8.3	-
128	0.2	2.46 x10 ⁻¹	-2.4	-	-6.3		-11.2	-

Pada *varians noise phase* 0.01 rad^2 ini BER yang ditargetkan untuk 802.11a hanya dapat diperoleh antara jumlah *subcarrier* 32 dan 64. Pada *varians noise phase* 0.03 rad^2 ini BER yang ditargetkan untuk 802.11a hanya dapat diperoleh pada jumlah *subcarrier* 16. Dan apabila *varians noise phase* diperbesar lagi menjadi 0.1 rad^2 BER yang dapat diperoleh untuk jumlah *subcarrier* terkecil ($N = 2$) adalah 1.08×10^{-4} , sedangkan BER maksimum hanya dapat diperoleh pada jumlah *subcarrier* 8 yaitu sebesar 1.72×10^{-1} .

Dan Pada *varians noise phase* 0.1 rad^2 ini BER yang ditargetkan untuk 802.11a hanya dapat diperoleh antara jumlah *subcarrier* 4 dan 8. Sedangkan hubungan BER terhadap jumlah *subcarrier* seperti ditunjukkan dalam Gambar 7. Dalam gambar tersebut semakin besar jumlah *subcarrier*-nya dengan variansnya yang berbeda maka nilai BER akan meningkat secara logaritmik.

Gambar 7. Hubungan BER karena pengaruh *phase noise* terhadap jumlah *subcarrier*.

VI. KESIMPULAN

Hasil simulasi kinerja sistem OFDM dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Phase noise* dengan varians yang berlainan dapat menyebabkan penurunan SNR OFDM semakin besar terhadap jumlah *sub carrier*.
2. Laju transmisi OFDM dengan varians *phase noise* yang berlainan akan meningkat terhadap nilai penurunan SNR.
3. BER pada OFDM dengan varians *phase noise* yang berlainan akan menurun terhadap nilai SNR.
4. BER akan meningkat dengan *phase noise* terhadap meningkatnya penggunaan jumlah *subcarrier*.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih ditujukan pada Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah membiayai penelitian ini melalui anggaran DPP/SPP tahun 2006.

PUSTAKA

- [1] Beek, J.V, et al., 1997, "On synchronization in an OFDM based UMTS proposal," in Proc. COST 254 (Emergent Techniques for Communication Terminals, Toulouse, France.
- [2] Lee, W, et al, 2004, "Effect of Carrier Frequency Offset on OFDM Systems for Multipath Fading Channels", IEEE Trans. Commun.
- [3] Moeneclacy, M. 1997, "The effect of synchronization errors on the performance of orthogonal frequency-division multiplexed (OFDM) systems," in Proc. COST 254 (Emergent Techniques for Communication Terminals), Toulouse, France.
- [4] Munier, F, et al. "Receiver Algorithms for OFDM Systems in Phase Noise and AWGN". Proceedings IEEE International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications. 2004.
- [5] <http://www.etsi.fr/bran>, diakses tanggal 2 Februari 2006
- [6] Price. H.M., 1992, vol.38, pp.131-135,"CD by radio: Digital Audio Broadcasting", IEE Review.
- [7] Robertson, et al. 1995. "Analysis of the Effects of Phase-Noise in Orthogonal Frequency Division Multiplex (OFDM) Systems". pp. 1652-1657 in Proc. IEEE International Conference on Communications.
- [8] Supplement to IEEE Standard. 1999. "Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High-Speed Physical Layer in the 5 GHz Band". IEEE Std 802.11.
- [9] Tufvesson, et al. 1998. "Optimization of Sub-Channel Bandwidth for Mobile OFDM Systems". Dept. of Applied Electronic, Lund University.
- [10] Wimax, 2003, "The Critical Wireless Standard Report" (Part of the Blueprint Wi-Fi subscription package).