

SINKRONISASI FRAME PADA MODEM OFDM DALAM RENTANG FREKUENSI AUDIO

Yulia Fitri

Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Muhammadiyah Riau
Jl. KH Ahmad Dahlan No. 88 Sukajadi Pekanbaru
e-mail: yulia_fitri18@yahoo.com

ABSTRAK

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) adalah sebuah teknik transmisi paralel menggunakan banyak frekuensi yang saling tegak lurus (orthogonal) sebagai carrier-nya. OFDM telah dikembangkan untuk berbagai aplikasi sistem telekomunikasi karena transmisi data berkecepatan tinggi dan efisiensi dalam pemakaian bandwidth. Namun, OFDM juga memiliki kelemahan terutama kesalahan dalam menentukan awal data sinyal. Pada penelitian ini, sinkronisasi frame modem OFDM didesain untuk menentukan awal data sinyal yang ditransmisikan dalam rentang frekuensi audio. Sinkronisasi frame ini menggunakan teknik cross correlation preamble. Sistem dimodelkan dan disimulasikan menggunakan software Matlab dan diimplementasikan pada OMAP L137 TMS320C6747. Dari hasil simulasi, variasi frekuensi preamble tidak mempengaruhi performa sinkronisasi frame. Pada implementasi secara real time, sinkronisasi frame modem OFDM menghasilkan suara dan spektrum yang jelas pada frekuensi preamble lebih besar dari 250 Hz.

Kata kunci: OFDM, preamble, sinkronisasi frame

1. PENDAHULUAN

OFDM merupakan sebuah teknik transmisi yang menggunakan banyak frekuensi *subcarrier* (*multicarrier*) yang saling tegak lurus (*orthogonal*). OFDM telah dikembangkan untuk berbagai aplikasi karena transmisi data berkecepatan tinggi dan efisiensi dalam pemakaian *bandwidth* [1]. Pada teknologi telekomunikasi, OFDM dijadikan sebagai standar *Digital Audio Broadcast* (DAB) [2] dan *Digital Video Broadcast* (DVB) [3,4]. Selain itu, OFDM diaplikasikan juga pada *Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting* (ISDB-T), *Digital Subscriber Line* (xDSL), sistem WLAN [5], *Flash OFDM*, *Power Line Communication* (PLC) dan pada komunikasi radio [6,7]. Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah mendesain modem (modulasi demodulasi) OFDM pada rentang frekuensi audio dengan *bandwidth* < 3 KHz [8]. Karena data ditransmisikan pada rentang frekuensi audio, maka modem yang didesain bersifat universal yang dapat diaplikasikan pada berbagai perangkat komunikasi. Selain itu, modem OFDM ini dapat mengirimkan data file, teks, gambar dan suara.

Dalam penelitian ini, modem OFDM diaplikasikan untuk pengiriman dan penerimaan suara.

Di sisi lain, teknik OFDM juga memiliki kelemahan terutama sensitivitas yang tinggi terhadap kesalahan sinkronisasi antara *transmitter* dan *receiver*. Kesalahan sinkronisasi diantaranya disebabkan oleh kesalahan menentukan *starting point* (awal data) sinyal OFDM untuk memulai operasi FFT, sehingga simbol akan *overlap* dan menimbulkan *Inter Symbol Interference* (ISI). Untuk mengatasi kesalahan sinkronisasi antara *transmitter* dan *receiver* pada modem OFDM, maka pada *receiver* harus ditambahkan sinkronisasi *frame* untuk menentukan *start point* sinyal OFDM. Pada penelitian ini akan fokus pada sinkronisasi *frame* untuk menentukan awal data dari sinyal OFDM, karena kesalahan sinkronisasi *frame* akan mempengaruhi semua simbol pada *frame* yang akan masuk ke FFT di *receiver*. Dalam beberapa dekade terakhir, banyak metode yang telah dikembangkan untuk sinkronisasi *frame* pada modem OFDM [9-14]. Pada penelitian ini, sinkronisasi *frame* didesain dengan

menambahkan *preamble* sebagai awal data dari sinyal OFDM. *Preamble* yang digunakan berupa gelombang sinusoidal.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Sistem Modem OFDM

OFDM adalah salah satu jenis dari *multicarrier* (FDM), memiliki efisiensi spektrum yang jauh lebih baik karena antara satu *subcarrier* dengan *subcarrier* lainnya saling *orthogonal*. OFDM pertama kali dikembangkan pada tahun 1960-an. Chang [1] memperkenalkan teknik modulasi *multicarrier*, kemudian Saltzberg [16] menganalisis performa Chang dan memperoleh kesimpulan bahwa untuk merancang transmisi *multicarrier* lebih difokuskan pada solusi untuk mengurangi *overlap* antara *carrier* yang bersebelahan. Pada tahun 1971, Weinstein dan Ebert [17] memberikan kontribusi yang besar pada OFDM. Mereka mengusulkan metode *Discrete Fourier Transform* (DFT) untuk modulasi dan demodulasi sinyal. Pada OFDM *overlap* antara *subcarrier-subcarrier* diperbolehkan tanpa interferensi satu sama lain, karena masing-masing sudah saling *orthogonal* [18,19]. Persamaan sinyal OFDM secara matematika dapat dituliskan:

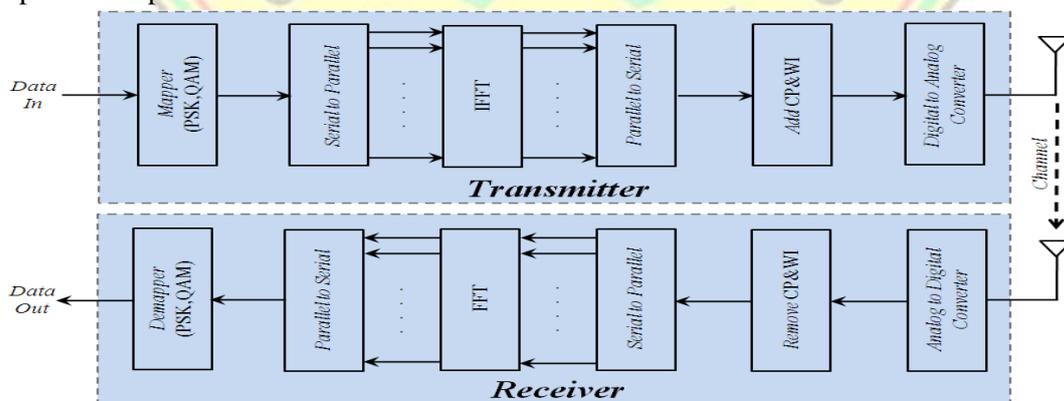
$$y(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{j2\pi n k / N}$$

Modem OFDM terdiri dari dua blok diagram *transmitter* dan *receiver*, blok diagram secara umum dapat dilihat pada Gambar 1. Deretan data

yang akan ditransmisikan (*data in*) merupakan deretan bit-bit serial dari *Analog to Digital Converter* (ADC) yang dipetakan (*mapper*) menggunakan PSK atau QAM. Kemudian data dikonversikan ke dalam bentuk data paralel oleh *serial to parallel conversion*, sehingga bila *bitrate* semula adalah *R* maka *bitrate* setiap jalur paralel adalah *R/N* dimana *N* adalah jumlah *subcarrier*.

N-bit data paralel ini diaplikasikan ke dalam IFFT untuk membuat simbol OFDM. IFFT akan mengubah sinyal dari domain frekuensi kedalam sinyal domain waktu. Selanjutnya, sinyal dikonversi kembali ke dalam bentuk serial. WI ditambahkan untuk mengurangi ukuran *sidelobe*, karena *sidelobe* yang besar akan menimbulkan ISI [20]. Sedangkan CP ditambahkan untuk mempertahankan keortogonalitas antar-*subcarrier* [21]. Sebelum sinyal ditransmisikan, sinyal dikonversi kembali menjadi sinyal analog oleh DAC (*Digital to Analog Converter*).

Pada bagian *receiver* dilakukan proses yang berkebalikan dengan proses dilakukan pada *transmitter*. Sinyal analog dikonversi ke bentuk digital oleh ADC dan sinyal data serial yang diterima oleh *receiver* dikonversi terlebih dahulu ke dalam bentuk data paralel. Selanjutnya dengan FFT sinyal dalam domain waktu diubah kembali menjadi domain frekuensi. Sebelum sinyal di-*demapper*, sinyal dikonversi kembali ke bentuk serial. Setelah *demapper*, sinyal digital dikonversi kembali menjadi sinyal analog dan akhirnya kembali menjadi deretan data awal.



Gambar 1. Blok diagram modem OFDM.

Sinkronisasi Frame

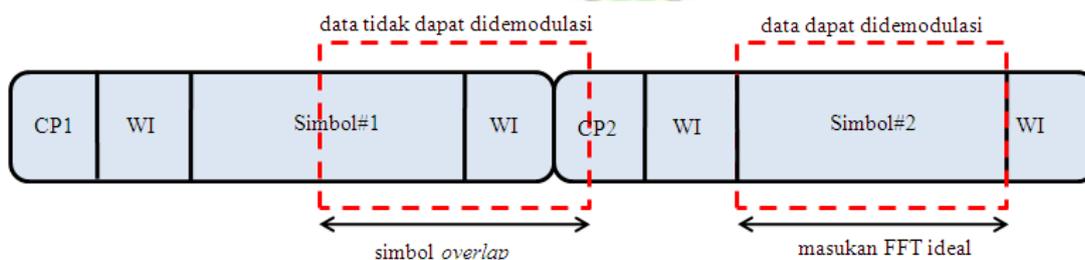
Ketika teknologi OFDM diaplikasikan pada sistem telekomunikasi, sinkronisasi adalah hal

yang sangat penting dalam membangun dan menjaga komunikasi antara *transmitter* dan *receiver*. Salah satunya, sinkronisasi frame

dibutuhkan untuk menentukan awal data (starting point) dari sinyal yang ditransmisikan oleh transmitter modem OFDM. Blok receiver tidak dapat menentukan posisi awal data yang diterima dari transmitter. Jika awal data sinyal OFDM tidak diketahui, maka FFT akan menerima simbol overlap yang akan menimbulkan ISI.

Sinyal OFDM dapat didemodulasi, bila FFT di receiver hanya diisi data dari satu simbol OFDM saja. Jika data yang masuk ke FFT dari simbol overlap yang ditunjukkan Gambar 2, maka data OFDM akan rusak. Simbol OFDM

tidak akan *overlap* bila awal data dari sinyal OFDM yang diterima oleh *receiver* dapat diketahui. Untuk mengatasi kesalahan sinkronisasi *frame*, maka ditambahkan N sampel data yang diketahui sebagai awal data dari sinyal yang ditransmisikan oleh *transmitter* OFDM. N sampel data yang diketahui tersebut dikenal dengan *preamble*. *Preamble* tidak membawa informasi, hanya untuk sinkronisasi *frame* di *receiver*. Sebelum sinyal OFDM ditransmisikan, *preamble* ditambahkan setelah blok IFFT di *transmitter* sebagai awal data.



Gambar 2. Kenapa Sinkronisasi Frame Dibutuhkan.

Preamble yang ditambahkan sebagai awal data dari sinyal OFDM dilambangkan dengan $p(k)$ dan sinyal OFDM yang diterima oleh *receiver* dilambangkan dengan $r(k+n)$. Maka proses *cross correlation* antara *preamble* dengan sinyal OFDM yang diterima oleh *receiver* secara matematika dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C(n) = \sum_{k=0}^{N-1} r(k+n) p(k)$$

Dimana $C(n)$ merupakan hasil *cross correlation*. Posisi maksimum dari *cross correlation* terjadi pada saat posisi *preamble* yang ditambahkan di *transmitter* sejajar dengan *preamble* yang diterima oleh *receiver*, yaitu saat $p(k) = r(k)$.

Cross correlation akan menghasilkan puncak, dimana dengan menentukan posisi puncak maksimum sinyal maka pergeseran sinyal dapat dihitung. Setelah pergeseran sinyal diketahui, maka awal data dari sinyal dapat ditentukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi

Pengujian performa dari sinkronisasi *frame* modem OFDM yang telah didesain menggunakan simulasi *simulink* Matlab. Pengujian performa

modem OFDM dengan simulasi dipengaruhi oleh kanal *Additive White Gaussian Noise* (AWGN), frekuensi *offset* dan *delay*. Kesalahan menentukan awal data dari sinyal OFDM digunakan untuk menganalisa performa sinkronisasi *frame* modem OFDM.

Tabel 1 menunjukkan hasil simulasi sinkronisasi *frame* modem OFDM berdasarkan kesalahan menentukan awal data pada algoritma sinkronisasi *frame* terhadap frekuensi *preamble*. Frekuensi *preamble* divariasikan dari 125 Hz sampai 1000 Hz dan jumlah *delay* yang ditambahkan pada simulasi adalah 17 sampel. Setiap *frame* sinyal OFDM berisi 72 sampel, karena ditambahkan *delay* maka awal data dari sinyal berada pada sampel ke 89 dan sampel ke 17 bila awal data dideteksi pada *frame* berikutnya.

Pada tabel 1 juga terlihat bahwa algoritma sinkronisasi *frame* yang didesain dapat menentukan awal data dengan benar pada *Signal to Noise Ratio* (SNR) lebih besar dari 15 dB. Variasi frekuensi *preamble* tidak mempengaruhi performa dari sinkronisasi *frame*, dimana semua frekuensi *preamble* yang divariasikan dapat bekerja dengan baik pada SNR yang sama.

Tabel 1. Kesalahan menentukan awal data terhadap variasi frekuensi *preamble*

Frekuensi <i>Preamble</i> (Hz)	SNR			
	0	5	10	15
125	84	92	95	89
250	98	100	73	89
500	93	83	75	89
750	96	129	80	89
1000	94	99	85	89

Untuk menentukan besarnya pergeseran sinyal yang diakibatkan oleh *delay* selama transmisi antara *transmitter* dan *receiver*, maka dihitung puncak maksimum dari hasil *cross correlation preamble*. Hasil *cross correlation* pada berbagai frekuensi *preamble* menghasilkan puncak maksimum yang sama, karena amplitudo *preamble* yang dikirimkan sama. Hal inilah yang menyebabkan variasi frekuensi *preamble* tidak mempengaruhi performa sinkronisasi *frame* modem OFDM.

Hasil implementasi

Pada implementasi modem OFDM secara *real time*, frekuensi *preamble* yang digunakan untuk sinkronisasi *frame* divariasikan yaitu 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 750 Hz dan 1 KHz. Frekuensi *preamble* divariasikan untuk melihat performa algoritma sinkronisasi *frame* yang telah didesain secara *real time*. Dengan bervariasi frekuensi *preamble* dapat diketahui frekuensi minimum yang bisa digunakan untuk menentukan awal data sinyal OFDM pada sinkronisasi *frame*. Hasil implementasi modem OFDM untuk frekuensi *preamble* 125 Hz, suara dan spektrum hasil implementasi kurang jelas. Sedangkan pada frekuensi *preamble* besar dari 250 Hz, menghasilkan suara dan spektrum yang jelas.

Hasil implementasi secara *real time* ini berbeda dengan hasil simulasi, dimana pada simulasi frekuensi *preamble* tidak mempengaruhi performa dari sinkronisasi *frame* modem OFDM yang didesain. Kurang jelasnya suara yang dihasilkan pada frekuensi *preamble* 125 Hz, diperkirakan karena pengaruh frekuensi *offset* yang lebih besar terhadap frekuensi yang rendah. Pada frekuensi *preamble* lebih besar dari 250 Hz, frekuensi *offset* hanya memberikan pengaruh

yang kecil sehingga tidak merusak performa sinkronisasi *frame* modem OFDM.

4. KESIMPULAN

Sinkronisasi *frame* pada modem OFDM telah didesain dan diimplementasikan pada OMAP L137 TMS320C6747. Di dalam penelitian ini, sistem modem OFDM didesain dan ditransmisikan pada rentang frekuensi audio dengan *bandwidth* < 3 KHz. Sinkronisasi *frame* didesain untuk menentukan awal data sinyal OFDM menggunakan *preamble* berupa gelombang sinusoidal yang ditambahkan sebagai awal data sinyal OFDM. Untuk menganalisa performa sinkronisasi *frame*, maka divariasikan frekuensi *preamble* dan frekuensi *offset*.

Dari hasil analisa simulasi menunjukkan bahwa variasi frekuensi *preamble* tidak mempengaruhi performa sinkronisasi *frame*. Hal ini terlihat dari awal data sinyal OFDM dapat ditentukan

dengan benar pada SNR yang sama. Selain itu, sinkronisasi *frame* masih dapat bekerja dengan baik pada pengaruh frekuensi *offset* yang rendah.

Pada implementasi secara *real time*, sinkronisasi *frame* modem OFDM menghasilkan suara dan spektrum yang jelas pada frekuensi *preamble* lebih besar dari 250 Hz.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chang, R.W., "Synthesis of band-limited orthogonal signals formultichannel data transmission," Bell Syst. Tech. J, vol. 45, pp. 1775–1796, December 1966.
- [2] Plenge G., "DAB - a new radio broadcasting system - state of development and ways for its introduction," Rundfunktech. Mitt., vol. 35, no. 2, 1991.
- [3] Sari H., Karam G., and Jeanclaude I., "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," IEEE Communications Magazine, pp. 100-109, February 1995.
- [4] ETSI, "Digital video Broadcasting (DVB)," 1.1.2 ed., EN 300 744, August 1997.
- [5] IEEE Std. 802.11a., "Part 11: Wireless LAN Media Access Control and Physical Layer Specifications." IEEE SA-Standards Board. June 12, 2003.

- [6] C. Sonntag, "Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Implementation as Part of a Software Defined Radio (SDR) Environment," University of Stellenbosch, South Africa, 2005.
- [7] L. Vercimak dan K. Weyeneth, "Software Defined Radio," Bradley University, 2006.
- [8] Mcloughlin I., "Applied speech and audio processing," Cambridge University Press, 2009.
- [9] Van de Beek J.-J., Sandell M., Isaksson M., and Börjesson P. O., "Low-complex frame synchronization in OFDM systems," in Proceedings of IEEE International Conference on Universal Personal Communication (ICUPC, 1995), pp. 982–986, Tokyo, Japan, November 1995.
- [10] Schmidl T. M. and Cox D. C., "Robust frequency and timing synchronization for OFDM," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 45, no. 12, pp. 1613-1621, December 1997.
- [11] Minn H., Bhargava V., and Letaief K., "A robust timing and frequency synchronization for OFDM systems," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 2, pp. 822-839, 2003.
- [12] Williams C., Beach M. A., and McLaughlin S., "Robust OFDM timing synchronisation," *Electron. Lett.*, vol. 41, pp. 751-752, June 2005.
- [13] Feng J., Mei S., Da Guo, Jun-de S., "OFDM frame synchronization based on energy difference of the received preamble," *The Journal of China Universities of Post and Telecommunication*, Vo. 14, March 2007.
- [14] Eyadeh A., "Frame synchronization symbols for an OFDM system," *International Journal of Communication*, Vol. 2, 2008.
- [15] Texas Instruments/Spectrum Digital, "TMS320C6747 technical reference," 511345-0001 Rev. A, November 2008.
- [16] Saltzberg, B. R., "Performance of an efficient parallel data transmission system," *IEEE Trans. Comm. Technol.*, vol. 15, December 1967.
- [17] Weinstein, B., and Ebert P., "Data transmission by frequency division multiplexing using the discrete Fourier transform," *IEEE Trans. Comm. Technol.*, vol. 19, no. 5, October 1971.
- [18] Edfors, O., et al., "An Introduction to Orthogonal Frequency-Division Multiplexing," Research Report TULEA, Division of Signal Processing, Luleå University of Technology, 1996.
- [19] Van de Beek J. J., et al., "Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)," *The International Union of Radio Science (URSI)*, Lulea University of technology, 2002
- [20] Prasad, Ramjee., *OFDM for Wireless Communication Systems*, Artech House, 2004.
- [21] Heiskala J., Terry J., *OFDM Wireless LANS: A Theoretical and Practical Guide*, SAMS Publication, 2002.