

# ANALISIS KINERJA ALGORITMA SHORT TIME FOURIER TRANSFORM (STFT) UNTUK DETEKSI SINYAL CARRIER FREQUENCY HOPPING SPREAD SPECTRUM (FHSS) CDMA

Kalfika Yani<sup>1)</sup>, Achmad Rizal<sup>2)</sup> Budi Prasetya<sup>3)</sup>

Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Telkom

Jln Telekomunikasi No. 1, Bandung, 40275

Telp : (022) 7564108 ext. 2326, Fax : (022) 7565933

E-mail : [Kalfika\\_yani@yahoo.com](mailto:Kalfika_yani@yahoo.com)<sup>1)</sup>, [arz@ittelkom.ac.id](mailto:arz@ittelkom.ac.id)<sup>2)</sup>, [bpy@ittelkom.ac.id](mailto:bpy@ittelkom.ac.id)<sup>3)</sup>

---

## Abstract

*In CDMA 2000 system, there are 2 kinds of spreading, first direct sequence spread spectrum (DSSS) and the second is frequency hopping. In direct sequence spread spectrum, PN code spread the signal. But in frequency hopping, signal will be spread using PN code yielded by frequency synthesizer that generated by PRG (Pseudo Random Generator). At receiver frequency hopping have a complex block. To get the same format signal with the signal from transmitter needed PRG and frequency synthesizer which have same parameter with transmitter. The main problem in frequency hopping is time accuracy of the tracking and acquisition process.*

*STFT (Short Time Fourier Transform) Algorithm is development from FFT (Fast Fourier Transform). Signal will be sampled during  $t$  second then translated in domain frequency, so that the signal will be known its position in time and frequency domain. At this research, STFT algorithm is used to generate the pattern PRG in receiver. So that without owning PRG which have same characteristic with transmitter, we can get hop of frequency hopping. Transmission channel that using in this algorithm is AWGN and multipath fading channel.*

*STFT algorithm will give 100% in accuracy at all of channel condition if the receiver's window length is as wide as transmitter's time hopping or  $(1/2)^n$  of wide of transmitter's time hopping. In multipath fading channel STFT have 100% in accuracy at  $SNR \geq -10$  dB. At  $SNR = -15$  dB STFT algorithm have 70% in accuracy and at  $SNR = -20$  dB is 43%.*

**Keyword :** STFT algorithm, carrier frequency detection, FHSS

## Abstrak

*Pada sistem CDMA 2000 terdapat 2 macam spreading, yaitu direct sequence spread spectrum (DSSS) dan frequency hopping. Pada direct sequence spread spectrum, sinyal ditebar oleh PN code. Sedangkan pada frequency hopping, sinyal ditebar oleh PN code yang dihasilkan oleh frequency synthesizer yang dibangkitkan oleh PRG (Pseudo Random Generator). Bagian penerima sistem frekuensi hopping memiliki blok yang sangat kompleks. Untuk mendapatkan format sinyal yang sama dengan sinyal yang dikirim oleh pengirim, diperlukan PRG dan frequency synthesizer yang memiliki parameter sama dengan pengirim. Permasalahan utama dalam frekuensi hopping adalah ketepatan pada saat proses tracking dan akuisisi.*

*Algoritma STFT (Short Time Fourier Transform) adalah pengembangan dari FFT (Fast Fourier Transform). Sinyal akan dicuplik selama  $t$  detik yang kemudian diterjemahkan dalam domain frekuensi, sehingga sinyal tersebut akan diketahui posisinya dalam domain waktu dan frekuensi. Pada penelitian ini digunakan algoritma STFT untuk membangkitkan pola PRG di penerima. Sehingga tanpa memiliki PRG dengan karakteristik sama dengan pengirim, dapat diperoleh pola loncatan frequency hopping. Kanal transmisi yang mendukung algoritma ini adalah kanal AWGN dan kanal multipath fading.*

*Algoritma STFT akan menghasilkan akurasi 100 % pada semua kondisi kanal jika window receiver memiliki lebar yang sama dengan time hopping pada transmitter, atau window pada receiver memiliki window selebar  $(1/2)^n$  dari time hopping transmitter. Pada kanal multipath fading, algoritma STFT memiliki tingkat akurasi sebesar 100% pada  $SNR \geq -10$  dB. Untuk  $SNR = -15$  dB algoritma STFT memiliki akurasi sebesar 70 %, dan untuk  $SNR = -20$  dB sebesar 43 %.*

**Keyword:** algoritma STFT, deteksi frekuensi carrier, FHSS

---

## 1. PENDAHULUAN

Pada awalnya sistem komunikasi ditentukan oleh efisiensi penggunaan energi sinyal dan lebar pita. Tetapi pada saat sekarang, tuntutan akan kebutuhan sistem komunikasi yang handal berkembang, yaitu sistem komunikasi yang tahan terhadap interferensi dari luar, dapat beroperasi dengan rapat spektral daya rendah, dapat menyediakan kemampuan akses jamak, dan tingkat keamanan yang tinggi.

Tuntutan akan kualitas komunikasi tersebut, dapat dipenuhi dengan menggunakan teknik “*Spread Spectrum*”. Teknik ini mulanya digunakan untuk kebutuhan komunikasi militer, dan pada perkembangannya dimanfaatkan untuk bidang non-militer. Dinamakan *spread spectrum*, karena lebar bidang (BW) transmisi yang digunakan jauh lebih besar dari pada BW minimum yang dibutuhkan untuk mentransmisikan informasi (digital), sementara tidak ada kaitan langsung antara sinyal keluaran dengan modulasi oleh sinyal informasinya. Salah satu teknik spread spectrum yang dikenal adalah “*Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)*”.

Pada frekuensi hopping, sinyal penebar (*spreader*) dihasilkan oleh *frequency synthesizer* yang dihasilkan oleh PRG (*Pseudo Random Generator*), sehingga dalam pemodelannya, frekuensi hopping lebih kompleks dibandingkan dengan *direct sequence spread spectrum*.

Pada sistem penerima FHSS CDMA 2000 konvensional, setelah sinyal diterima oleh antena penerima, sinyal akan masuk ke blok *image rejection*, kemudian di *dehopping* dengan menggunakan *frequency synthesizer* yang dibangkitkan oleh PRG yang memiliki karakteristik sama persis dengan PRG pengirim. Jika penerima tidak memiliki PRG yang memiliki karakteristik sama dengan pengirim, maka penerima tidak akan dapat memperoleh sinyalnya.

Dengan menggunakan algoritma STFT, sinyal yang keluar dari antenna pengirim dapat langsung diketahui pola hoppingnya tanpa harus melalui *dehopping* dengan menggunakan *frequency synthesizer*. Dengan penskalaan waktu yang tepat, pola hopping akan diperoleh dan sinyal dapat langsung didemodulasikan.

## 2. DASAR TEORI

### 2.1 CDMA 2000

CDMA 2000 merupakan pengembangan dari sistem CDMA One yang mampu mengakomodasi layanan data berkecepatan tinggi. Dibandingkan dengan sistem IS 95, jaringan radio sistem CDMA 2000 memiliki

berbagai pengembangan seperti metode *power control* yang lebih baik, *uplink pilot channel*, teknik *vocoder* baru, pengembangan *Walsh code*, serta perubahan skema modulasi.

### 2.2 Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

Frequency hopping adalah salah satu teknik *spread spectrum*, yaitu suatu jenis modulasi dimana lebar bidang transmisi yang digunakan jauh lebih besar dari pada lebar bidang minimum yang dibutuhkan untuk mentransmisikan informasi, sementara tidak ada kaitan langsung antara lebar pita sinyal keluaran dengan modulasi oleh sinyal informasinya. Dengan adanya pemodulasian, sinyal informasi akan ditebarkan pada daerah frekuensi yang cukup lebar. Pada frequency hopping, proses penebaran dilakukan dengan mengubah-ubah frekuensi gelombang pembawa secara periodik. Daerah sinyal informasi ditebarkan tergantung pada sinyal penebar, dimana sinyal penebar ini dihasilkan oleh suatu pensintesis frekuensi yang dikendalikan oleh suatu urutan kode penebar.

### 2.3 Pseudo Random Generator (PRG)

*PN sequence* dihasilkan oleh *Pseudo Random Generator (PRG)*. PRG dapat dibangkitkan dengan *MLS (Maximum Length Sequence)*, *Gold code*, dan *Walsh-Hadamard*.

Sebuah *feedback shift register* memiliki 4 tingkat register untuk menyimpan dan menggeser, sebuah *modulo-2 adder*, dan jalur *feedback* dari *adder* ke input register. Operasi *shift register* dikontrol oleh pulsa *clock sequens*. Pada setiap pulsa *clock*, isi dari setiap tingkat bergeser 1 tingkat ke kanan. Dan isi dari tingkat X3 dan X4 ditambahkan dan hasilnya diumpanbalikan ke X1.

### 2.4 Short Time Fourier Transform (STFT)

Algoritma STFT adalah pengembangan dari FFT (*Fast Fourier Transform*). Dimana pada algoritma ini, sinyal akan dicuplik dalam waktu tertentu. Sinyal yang diterima akan diterjemahkan dalam domain frekuensi. Kemudian sinyal dicuplik selama  $t$  detik, sehingga akan sinyal tersebut akan diketahui posisinya dalam domain waktu dan frekuensi. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$STFT(t_n, f_k) = \sum_{l=t_n D - \frac{T}{2}}^{t_n D + \frac{T}{2} - 1} w(t_n D - l) x(l) e^{-j2\pi f_k l / T} \quad (1)$$

Pada STFT digunakan fungsi window ( $w$ ), dengan lebar ( $T$ ) yang sesuai dengan sinyal hasil pencuplikan. Fungsi window diletakkan pada sinyal yang pertama, yaitu pada saat  $t=0$ . Lebar  $T$  adalah sebesar minimal  $T/2$  kali besar frekuensi maksimal

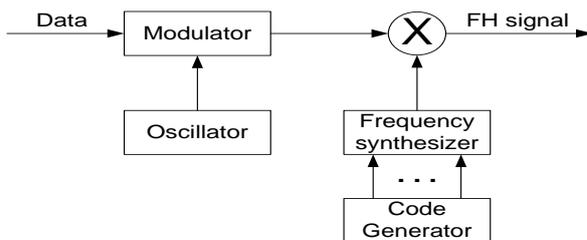
### 3. STFT UNTUK DETEKSI SINYAL CARRIER FHSS CDMA

Diagram blok di atas pada prinsipnya terdiri dari 3 bagian utama, yaitu :

1. Pengirim : pada blok ini terjadi proses pengiriman data yang telah dilakukan proses spreading dan scrambling.
2. Kanal : kanal yang digunakan adalah AWGN dan Rayleigh.
3. Penerima : pada blok ini terjadi analisis pola hopping menggunakan algoritma STFT.

#### 3.1 Blok Transmitter FHSS CDMA

Bagian pengirim dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Bagian transmitter

##### 3.1.1 Generator Data

Data kirim merupakan data yang terdistribusi *uniform* dan dibangkitkan secara random. Data yang dibangkitkan merupakan data biner yang hanya mempunyai dua level amplitude yaitu bit 1 dan bit 0. Karena berdistribusi *uniform* maka masing-masing data memiliki peluang yang sama untuk muncul.

##### 3.1.2 Oscillator

*Oscillator* berfungsi membangkitkan sinyal *output* tanpa sinyal *input*. Dimana sinyal *output* yang dihasilkan digunakan sebagai sinyal pembawa frekuensi IF (*Intermediate Frequency*). Pada tugas akhir ini dibangkitkan oscillator dengan frekuensi IF sebesar 10,700 Hz. Parameter ini juga mengalami penskalaan. Frekuensinya diubah menjadi 10 Hz.

##### 3.1.3 Modulator

Modulator yang akan digunakan dalam simulasi ini adalah QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*). Modulasi QPSK merupakan salah satu bentuk modulasi PSK dengan cara mengubah fasa dari frekuensi pembawa dengan informasi yang berupa data biner.

#### 3.1.4 Pseudo Random Generator (PRG)

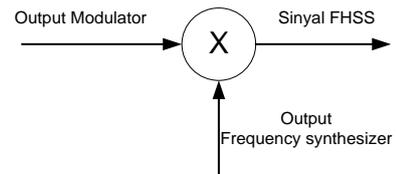
*PN sequence* dihasilkan oleh *Pseudo Random Generator (PRG)*, yang terdiri dari beberapa bagian. Sebuah *feedback shift register* memiliki 3 tingkat register untuk menyimpan dan menggeser, sebuah modulo-2 adder, dan jalur feedback dari adder ke input register. Operasi shift register dikontrol oleh *pulsa clock sequens*. Pada setiap pulsa clock, isi dari setiap tingkat bergeser 1 tingkat ke kanan. Dan isi dari tingkat SR2 dan SR1 ditambahkan dan hasilnya diumpanbalikan ke SR2.

#### 3.1.4 Frequency Synthesizer

*Frequency synthesizer* berfungsi untuk melompatkan *frequency hopping* dengan pola loncatan yang dibangkitkan oleh PRG. Selain itu *frequency synthesizer* juga berfungsi sebagai *up converter*, yang berfungsi untuk mengubah frekuensi IF menjadi frekuensi RF.

#### 3.1.5 Mixer

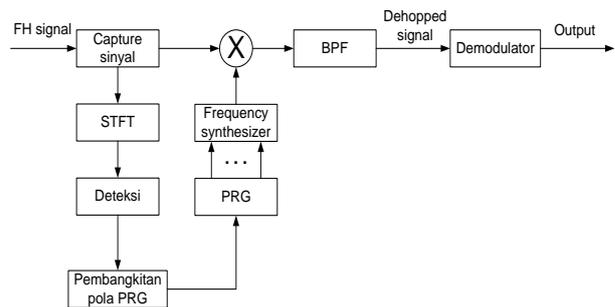
Dalam *mixer*, sinyal keluaran dari modulator QPSK dikalikan dengan sinyal keluaran *frequency synthesizer*.



Gambar 2. Mixer

### 3.2 Blok Diagram Receiver FHSS CDMA dengan Algoritma STFT

Bagian pengirim dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 3. Bagian receiver

Setelah sinyal diterima antenna receiver, maka sinyal akan dicapture untuk kemudian dianalisis. Sinyal akan diterjemahkan dalam domain frekuensi yang kemudian dicuplik selama  $t$  detik, sehingga akan sinyal tersebut akan diketahui posisinya dalam domain waktu dan frekuensi. Hasil dari perhitungan STFT ini akan digambarkan pada suatu *spectrogram*.

Setelah sinyal dianalisa posisinya dengan algoritma STFT, sinyal ini akan dianalisa posisinya. Kemudian sinyal diketahui posisinya dalam domain frekuensi. Dari sini, diperoleh pola lompatan FHSS pada PRG nya.

**3.3 ALGORITMA STFT**

Pada simulasi ini dimodelkan algoritma STFT seperti gambar di atas. Adapun langkah-langkah memodelkannya adalah sebagai berikut :

- 1) Baca input sinyal dalam M sample  
 $x_m(n) = x(n - mR),$   
 $n = -M_h, -M_h + 1, \dots, -1, 0, 1, \dots, M_h - 1, M_h$

- (2) dengan :  
 $x_m$  : m frame input sinyal  
 $M = 2 M_h + 1$  : panjang frame data  
 $R$  : waktu sample (hop size)
- 2) Kalikan frame data dengan panjang  $M$  dengan window:

- $w(n), n = -M_h, \dots, M_h$
- (3) Untuk mendapatkan frame window data sepanjang  $m$ .

$$\tilde{x}_m(n) = x_m(n)w(n),$$

$$n = -\frac{M-1}{2}, \dots, \frac{M-1}{2}$$

- (4) 3) Perpanjang  $\tilde{x}_m$  dengan nol di kedua sisinya dengan menambahkan *zero-padded* pada frame *window data*

$$\tilde{x}_m^1(n) = \begin{cases} \tilde{x}_m(n), & |n| \leq \frac{M-1}{2} \\ 0, & \frac{M-1}{2} < n \leq \frac{N}{2} - 1 \\ 0, & -\frac{N}{2} \leq n \leq -\frac{M-1}{2} \end{cases}$$

- (5) Dimana  $N$  adalah panjang FFT, yang bernilai 2 kali lebih besar daripada  $M$ .  $N/M$  disebut dengan faktor *zero-padding*
- 4) Tentukan panjang NFFT untuk mendapatkan STFT dalam domain waktu

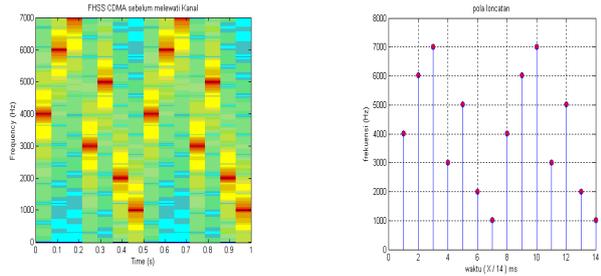
$$\tilde{x}_m^1(e^{j\omega k}) = \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} \tilde{x}_m^1(n)e^{-j\omega_k nT}$$

(6)

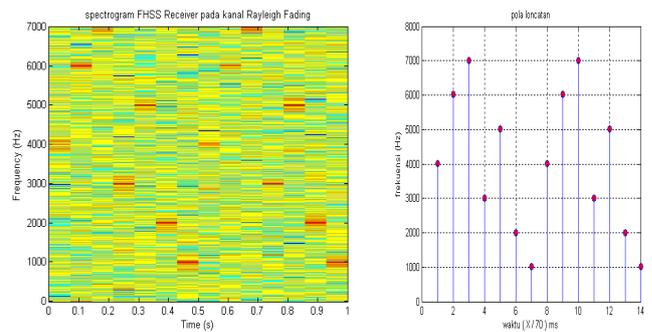
Dimana  $\omega_k = 2\pi k f_s / N$  dan  $f_s = 1/T$  adalah *sampling rate* (Hz). Nilai STFT adalah  $k$ . setiap  $\tilde{x}_m^1(e^{j\omega k})$  pada STFT dapat dianggap sebagai sample dari sinyal kompleks pada *output low pass filter* dengan inputan  $\tilde{x}_m^1(n)e^{-j\omega_k nT}$ , dimana  $\tilde{x}_m^1(n)$  digeser sehingga  $\omega_k$  berubah menjadi 0 Hz. Pada kondisi ini, hop size  $R$  adalah factor *downsampling* yang diaplikasikan pada *output bandpass*, dan analisis *window*  $\omega(.)$  adalah respons impuls dari anti-aliasing filter yang digunakan oleh *downsampling*. Faktor zero padding adalah faktor interpolasi untuk spektrum, setiap FFT akan diganti menjadi  $N=M$ , spektrum interpolasi

**4. ANALISIS KINERJA ALGORITMA STFT**

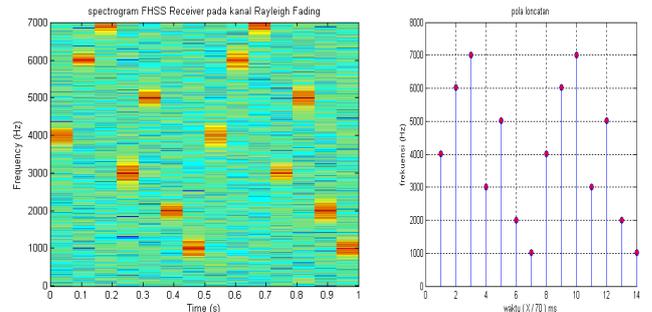
Hasil spectrogram sinyal FHSS CDMA dan hasil deteksi frekuensi carrier dapat dilihat pada Gambar 4-7.



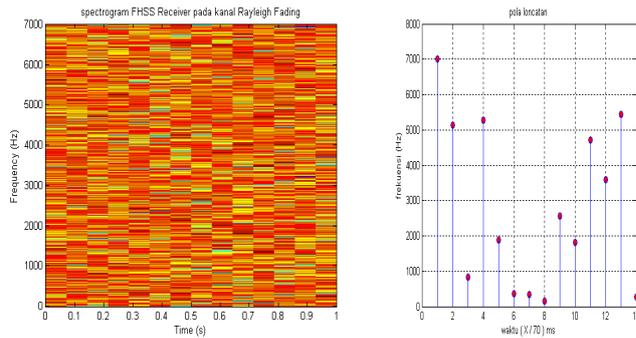
Gambar 4. Spectrogram slow FHSS pada output antenna transmitter



Gambar 5. Spectrogram pada SNR=0 dB



Gambar 6. Spectrogram pada SNR=20 dB



Gambar 7. Spectrogram pada SNR=-20 dB

Dari hasil gambar dari simulasi di atas, maka dapat dianalisis sebagai berikut :

#### a. Analisis algoritma STFT pada kanal AWGN

Pada kanal AWGN, algoritma STFT masih dapat digunakan dengan baik. Pada kanal ini, lompatan *frequency hopping* terlihat dengan jelas, walaupun ada sedikit gangguan pada spectrogramnya, karena adanya noise yang terdeteksi.

Jika sinyal dicapture dan dianalisa dengan window yang tidak tepat pada  $t=0$ , (window receiver  $\neq$  window transmitter), sinyal masih dapat dianalisis pola lompatannya. Hanya saja, jumlah frequency hoppingnya jumlahnya kurang dari frekuensi hopping keseluruhan, akibat adanya pemotongan window.

Jika window yang digunakan adalah sebesar 2 kali time hopping, maka pada satu window akan terdapat 2 frekuensi. Hal ini dikarenakan pada saat window mengcapture sinyal, yang terdeteksi ada 2 frekuensi carrier.

Jika window yang digunakan adalah sebesar 0,5 kali *time hopping*, maka pada 2 window akan terdapat nilai frekuensi yang sama. Hal ini dikarenakan pada saat mengcapture sinyal, 1 window hanya akan mendeteksi setengah frekuensi carrier saja, sehingga setengahnya lagi akan dideteksi oleh window yang berikutnya.

#### b. Analisis algoritma STFT pada kanal Multipath Fading

Pada kanal multipath fading, algoritma STFT dapat bekerja dengan baik. Namun pada SNR =-20 dB, akurasi algoritma ini hanya mencapai 43%.

## 5. KESIMPULAN

Pada penelitian yang dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Algoritma STFT dapat digunakan untuk mengetahui pola lompatan Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS). Dari pola lompatan ini, maka antara pengirim dan penerima tidak memerlukan kesepakatan tentang pola PRG terlebih dahulu sebelum mengirimkan sinyal informasi, karena pola PRG di penerima dapat dibangkitkan menggunakan algoritma STFT.
2. Algoritma STFT dapat digunakan untuk mendeteksi *fast hopping* dan *slow hopping* pada FHSS.
3. Jika spectrogram receiver mendeteksi sinyal setelah setengah window sinyal dikirim, namun panjang window receiver = panjang window transmitter, maka frekuensi carrier yang terdeteksi pada  $t=0$  adalah setengah frekuensi  $fc_4$  dan setengah frekuensi  $fc_6$ . spectrogram mnggambarkan keduanya, namun sinyal yang terdeteksinya adalah frekuensi yang tertinggi dalam satu windownya. Pola lompatan yang diperoleh pada *fast hopping* adalah :  $fc_6$ - $fc_7$ - $fc_7$ - $fc_5$ - $fc_2$ - $fc_2$ - $fc_1$ , dan pada *slow hopping* diperoleh :  $fc_7$ - $fc_6$ - $fc_3$ - $fc_5$ - $fc_2$ - $fc_1$ .
4. Jika window pada spectrogram receiver mendeteksi setengah dari window transmitter, maka pola hopping dapat diperoleh dengan benar, tetapi time hopping di penerima menjadi setengahnya. Pada *slow hopping* dan *fast hopping* diperoleh pola lompatan sebagai berikut :  $fc_4$ - $fc_4$ - $fc_6$ - $fc_6$ - $fc_7$ - $fc_7$ - $fc_3$ - $fc_3$ - $fc_5$ - $fc_5$ - $fc_2$ - $fc_2$ - $fc_1$ - $fc_1$ .
5. Jika window pada spectrogram receiver mendeteksi dua kali dari window transmitter, maka pola lompatan FHSS yang benar tidak didapatkan. Pola lompatan pada *slow* dan *fast hopping* adalah :  $fc_4$ - $fc_7$ - $fc_5$ - $fc_4$ - $fc_7$ - $fc_5$ - $fc_1$ .
6. Semakin kecil window, akan menghasilkan pola lompatan FHSS yang lebih akurat.
7. Pada algoritma STFT, penskalaan frekuensi tidak terlalu berpengaruh pada hasil akhir, namun fft harus lebih kecil dari pada panjang window.
8. Algoritma STFT dapat digunakan baik pada kanal AWGN dan multipath fading. Pada kanal multipath fading, frekuensi doppler tidak mempengaruhi kinerja algoritma STFT.
9. Algoritma STFT dapat bekerja dengan baik pada SNR  $\geq$  -10 dB. Pada SNR=20 dB, akurasi algoritma ini hanya 43%.

## 6. PUSTAKA

- Torrieri, Don, 2005. "Principles Of Spread Spectrum Communication Systems", Boston : Springer
- Akay, Metin, 1998. "Time Frequency And Wavelets In Biomedical Signal Processing", New York : IEEE Engineering in Medicine and Biology Society.
- Usman, Uke Kurniawan, 2006. "Diktat Sistem Komunikasi Bergerak", Bandung : STT Telkom.
- Prasetya, Budi, ST., 2003. "Diktat Teknik Transmisi", Bandung : STT Telkom.
- TE 4103. "Sistem Komunikasi Bergerak", Modul 12 Standar CDMA2000 1x.2005. Jurusan Teknik Elektro : STT Telkom.
- Vanghi, V., Alexander D., and Branimir V. 2004. "The CDMA 2000 System for Mobile Communications". New Jersey : Prentice Hall.
- Motorola. 2002. "CDMA/CDMA 2000 RF Planning Guide".
- Ludeman, Lonnie C. 1987. "Fundamentals of Digital Signal Processing". Canada : John Wiley & Sons.
- Polikar, Robi. "The Wavelet Tutorial Part 2 : Fundamentals The Fourier Transform and Short Term Fourier Transform". Rowan University.
- Serra, Xavier. (1985). "An Analysis / Synthesis Program for Non-Harmonic Sounds Based on a Sinusoidal Representation". California : PARSHL.
- Seo, Naotoshi. 2006. "Short Time Fourier Transform". Japan : Sonots.
- Glas, Jack P.F. 1992. "Code Sequences for Frequency Hopping CDMA". Netherlands : Delft University of Technology.

Medicine and Biology Society (EMB) sejak tahun 2007.



**Budi Prasetya**, lahir di Purworejo tahun 1975, mengajar di ITTelkom sejak tahun 2001, menyelesaikan S1 tahun 2001 dari STT Telkom dan menyelesaikan S2 tahun 2006 dari ITB, keduanya di bidang Telekomunikasi.

Mata kuliah yang pernah diajarkan diantaranya: Antena dan Propagasi, Elektronika Komunikasi, Sistem Komunikasi, Teknik Transmisi, Sistem Komunikasi Seluler. Riset-riset yang telah dan sedang dilakukan: Hardware IF dan RF Processing, OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, MIMO (Multiple Input Multiple Output), Perencanaan Sistem Radio Fixed dan Mobile.

## RIWAYAT PENULIS

**Kalfika Yani**, sekarang alumni STT Telkom /ITTelkom, selama menjadi mahasiswa aktif dalam kegiatan riset di laboratoria Sistem Elektronik dan Sistem Komunikasi

**Achmad Rizal** lahir di kota Jember, Jawa Timur pada 22 Juli 1975. Penulis menamatkan pendidikan S1 di STT Telkom dalam bidang Telekomunikasi dan S2 di ITB dalam bidang Teknik Biomedika tahun 2006. Saat ini bekerja sebagai dosen di Departemen Teknik Eketro Institut Teknologi Telkom, Bandung. Penulis tercatat sebagai anggota IEEE pada Engineer in