

Rancang Bangun Sistem Spread-Spectrum dan Simulasi Kanal Multipath dengan Menggunakan PN Gold Code

Anang Budikarso, Aries Pratiarso, dan Arifin

Abstrak—Penelitian ini dilakukan rancang bangun simulator kanal multipath dan sistem *spread spectrum* berbasis *Field Programmable Gate Array*, sebagai kode acak semu dipilih jenis kode Gold. Untuk melihat kinerja sistem tersebut dilakukan uji coba dan pengukuran hasil terhadap pengaturan pen-delay-an pada lintasan jamaknya. Dari hasil penelitian yang dilakukan di kanal multipath sifat kanal frekwensi selektif muncul saat *rms delay spreadnya* 215,723 nS, dengan *time symbol* 125 nS, perbedaan yang agak jauh dikarenakan keterbatasan pembuatan delay dalam skala kecil. Modul penelitian yang dibuat dapat digunakan sebagai simulator secara hardware dimana untuk melihat sinyal-sinyal *spreading-despreading*, sinyal-sinyal PN serta simulasi sederhana kanal multipath.

Kata Kunci—Multipath, PN Code, Spreading-Despreading, FPGA



1 PENDAHULUAN

TEKNOLOGI *spread spectrum* dikembangkan bertujuan untuk memenuhi kebutuhan akan sistem komunikasi yang handal terhadap interferensi, keamanan tinggi, bisa bekerja pada S/N yang rendah, melalui konsep *spreading*. Pada dasarnya keandalan sistem *spread-spectrum* tergantung pada karakteristik kode kode yang digunakan. Untuk itu didalam penerapannya telah dikembangkan banyak kode kode acak semu seperti kode panjang maksimal (*m-sequences*), kode Gold, kode Kasami, dan kode lainnya, kode merupakan kunci utama pada sistem *spread-spectrum* [1].

Pada penelitian ini, dirancang dan dibangun sistem *spread spectrum* dan analisa terhadap interferensi di kanal multipath berbasis FPGA yang dibuat dalam bentuk modul untuk sarana pendukung praktikum sistem *spread spectrum*.

Didalam sistem *spread-spectrum* [5], peran PN Code sangatlah penting untuk mendapat perhatian khusus. PN-Code yang mempunyai satuan *chips*, merupakan pemerlebar sinyal informasi dan digunakan untuk membedakan antara kanal/pengguna satu dengan yang lainnya. Pemilihan PN-Code harus dilakukan hati-hati dengan memperhatikan beberapa kriteria: mudah diterapkan, mempunyai 2 level (-1 dan 1) atau (0 dan 1), mempunyai *autocorrelation* yang tajam untuk memungkinkan sinkronisasi kode, mempunyai beda jumlah '0' dan '1' hanya satu (*one zero balance*) untuk memperoleh *spectrum density* yang bagus, dan harga *cross correlation* yang rendah.

Adapun *Field Programmable Gate Array* (FPGA) adalah *programmable device* besar yang tersusun atas modul-modul logika independen yang dapat dikonfigurasi oleh pemakai yang dihubungkan melalui kanal-kanal *routing* yang dapat diprogram [8]. Dalam hal ini kita mencoba mengaplikasikannya, yaitu membangun *pseudo-noise*, proses *spreading*, *despreading* serta *multipath* dengan FPGA sebagai realisasi teknik untuk akses dari pada *spread-spectrum*.

Untuk melengkapi beberapa riset yang telah dilakukan dan sedang dikerjakan, penelitian

- Anang Budikarso, Jurusan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS Keputih Sukolilo, Telp:031-5947280. E-mail:anang-bk@eepis-its.edu.
- Aries Pratiarso dan Arifin, Jurusan Teknik Telekomunikasi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl. Raya ITS Keputih Sukolilo, Telp:031-5947280. E-mail:aries@eepis-its.edu, arifin@eepis-its.edu.

ini melengkapi *Pseudo Noise* yang dilakukan pada *A simple digital FPGA Pseudo Chaos Generator* [12] sedangkan penelitian yang dilakukan disini menggunakan *Pseudo Noise Code Gold* juga dilengkapi dengan rangkaian kanal *multi-path* sebagai kanal untuk analisa pengukurannya, juga didukung pada jurnal *Design and realization of an FPGA based generator for chaotic frequency hopping sequences* [13] teknik pembangkitan kode sekuen pada frekwensi *hopping*.

2 DASAR TEORI

2.1 Spread Spectrum

Komunikasi *spread spectrum* lahir pada pertengahan tahun 1950 dilatar belakangi oleh kebutuhan akan sistem komunikasi yang dapat mengatasi masalah interferensi, jaminan kerahasiaan informasi yang dikirim dan beroperasi pada tingkat S/N (*signal to noise ratio*) yang rendah.

Pada sistem komunikasi *spread spectrum* dilakukan proses penebaran (*spreading process*) lebar bidang frekuensi bit informasi oleh sebuah deretan sinyal penebar yang dikenal dengan *spreading waveforms* atau PN (*pseudo noise*)code. Lebar bidang PN (*pseudo noise*)code jauh lebih besar dibanding dengan lebar bidang bit atau sinyal informasi yang hendak dikirimkan.

Sistem komunikasi *spread spectrum* sebagai salah satu sistem komunikasi digital, memiliki beberapa kelebihan dibandingkan sistem komunikasi konvensional yaitu :

- Lebih kebal terhadap *jamming*
- Mampu menekan interferensi
- Dapat dioperasikan pada level daya yang rendah
- Kemampuan *multiple access* secara CDMA (*Code Division Multiple Access*)
- Kerahasiaan lebih terjamin

2.2 Pembangkitan Pseudo Noise (PN)

2.2.1 Kode Pseudonoise Gold

Metode pembangkitan PN *sequences* dengan periode crosskorelasi yang lebih baik dari pada *m-sequence* telah dibuat oleh Gold (1967,1968). Teori Gold membuktikan bahwa pasangan

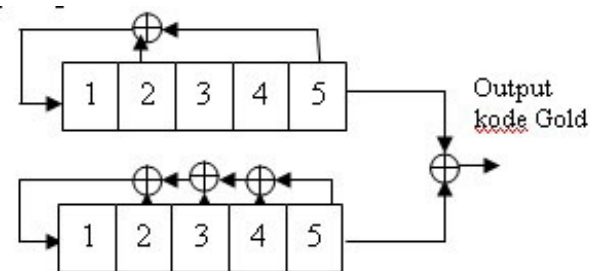
yang cocok dari kode panjang maksimal dengan periode $L = 2^N - 1$ memiliki tiga nilai fungsi crosskorelasi, yaitu: $\{-1, -t(N), t(N) - 2\}$, dimana $t(N) = 2^{(N+1)/2} - 1$ untuk N bernilai ganjil dan $t(N) = 2^{(N+2)/2} + 1$ untuk N bernilai genap. Dua deretan panjang maksimal dengan periode L dan mempunyai crosskorelasi periodik yang dibatasi harga $\{-1, -t(N), t(N) - 2\}$ dinamakan deretan *preferred*. Dari pasangan deretan *preferred* ini kita sebut saja $a = \{a_1, a_2, a_3, \dots\}$ dan $b = \{b_1, b_2, b_3, \dots\}$ membentuk suatu deretan dengan mengambil penjumlahan *modulo - 2* dari a dengan pergeseran N siklik dari b . Sehingga, diperoleh N deretan periodik yang baru dengan periode $L = 2^N - 1$. Jadi dengan memasukkan deretan asal a dan b maka jumlah totalnya menjadi $L = 2$ deretan dan deretan $L + 2$ inilah yang disebut **kode Gold**.

Pembangkitan kode Gold dengan nilai $N = 5$, sehingga panjang periode $L = 2^5 - 1 = 31$. Berdasarkan teori Peterson dan Weldon pasangan *preferred* yang dapat terbentuk adalah :

$$g_1(D) = 1 + D^2 + D^5$$

$$g_2(D) = 1 + D^2 + D^3 + D^4 + D^5$$

Bentuk blok diagram dari persamaan diatas adalah seperti Gambar 1 di bawah ini :



Gambar 1. Ilustrasi kode gold[3]

Beberapa keuntungan yang diperoleh dari penggunaan kode ini antara lain adalah :

- Kode-kode yang ditambahkan melalui proses penambahan chip per chip dengan clock yang disinkronkan mempunyai panjang periode yang sama, sehingga kedua pembangkitan kode panjang maksimal tersebut dapat menjaga agar fase-nya selalu sama.

- Dengan konfigurasi kode Gold akan dihasilkan konfigurasi yang panjangnya ditambahkan dua deretan dari maksimal dasarnya $L = 2^N - 1$.
- Crosskorelasi dari kode-kode panjang maksimalnya yang rendah dan terbatas.
- Untuk teknologi CDMA yang menginginkan kerja simultan banyak digunakan kode Gold ini untuk membawa banyak sinyal pada frekuensi pembawa yang sama.

Untuk memperoleh nilai korelasi yang baik pada sebuah kode Gold terdapat tap-tap khusus yang dapat membuat output kode Pseudonoise memiliki umpan balik yang baik.

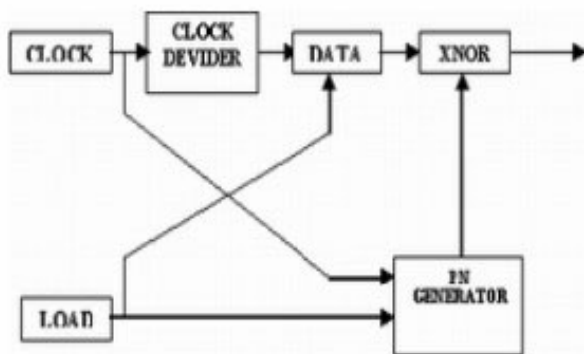
2.2.2 FPGA

Penggunaan FPGA pada penelitian ini karena fleksibilitas dari device ini. Flexibel artinya kita bisa menggunakan device ini berdasarkan keinginan, tergantung dari program yang dibuat. Setelah itu di-download-kan ke FPGA. Dan proses pengerjaannya melalui software Webpack 7.1.

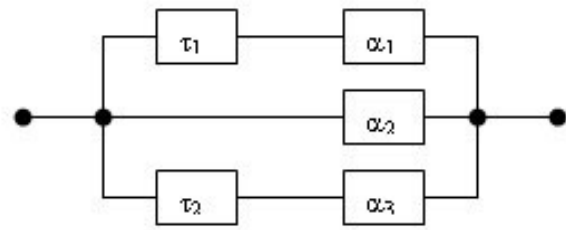
3 DESAIN

3.1 Blok Diagram

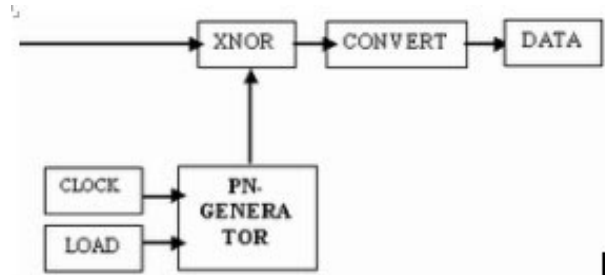
Desain dari sistem yang akan dibuat ditunjukkan pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 berikut:



Gambar 2. Blok diagram proses spreading



Gambar 3. Blok diagram simulator kanal multipath



Gambar 4. Blok diagram proses despreading

3.2 Prinsip Kerja

Prinsip kerja dari sistem ini adalah sinyal pulsa yang masuk kedalam sistem ini yang merupakan data informasi yang telah diinisialisasi sebelumnya akan mengalami proses XNOR-ing dengan kode pseudonoise yang dibangkitkan. Agar dapat dilakukan proses XNOR-ing ini, clock yang dihasilkan harus diolah terlebih dahulu karena frekuensi yang digunakan berbeda. Pseudonoise code mendapatkan clock secara langsung dari oscillator, sedangkan clock yang akan masuk ke data informasi harus dibagi terlebih dahulu dengan clock divider. Pembagian clock disesuaikan dengan banyaknya jumlah register dari kode pseudonoise yang mengkodekan. Misal: untuk pseudonoise code dengan 5 register maka pembagi clock-nya adalah $2^5 - 1 = 31$.

Setelah proses spreading kemudian dilewatkan kanal multipath, yaitu dengan melalui proses delay dan attenuasi baru setelah itu di despreading yang merupakan proses kebalikan dari sistem spreading, data informasi yang telah diacak pada sistem spreading (sinyal spread) dan proses multipath di-XNOR-kan lagi dengan PN code. Output dari XNOR merupakan sinyal informasi yang diperoleh dari proses

yang terjadi.

3.3 Komponen Pendukung

Sistem yang dibuat berupa suatu paket *spreading-despreading* yang mempunyai konfigurasi sebagai berikut:

- Perangkat keras:
 - 1) FPGA type Spartan II, XSA 100
 - 2) Rangkaian load (monostabil)
 - 3) Rangkaian power supply
- Perangkat lunak:

Perangkat lunak yang digunakan dalam membuat sistem ini adalah Webpack 7.1. dan Model SIM 6.2.

4 PENGUJIAN DAN PENGUKURAN

4.1 Peralatan yang Digunakan

Dalam pengukuran dibutuhkan alat-alat penunjang untuk melihat sinyal-sinyal yang diproses pada sistem. Alat-alat yang digunakan:

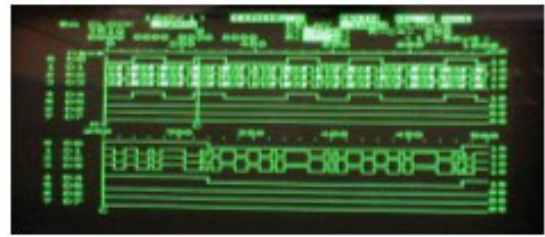
- 1) FPGA type *Spartan II XSA 100*
- 2) *Oscilloscope Kenwood CS4125A*
- 3) *Logic Analyzer National VP-3621A*
- 4) *Spectrum Analyzer Agilent E4403B*
- 5) *Power supply, Mono stable multivibrator*

4.2 Pengujian

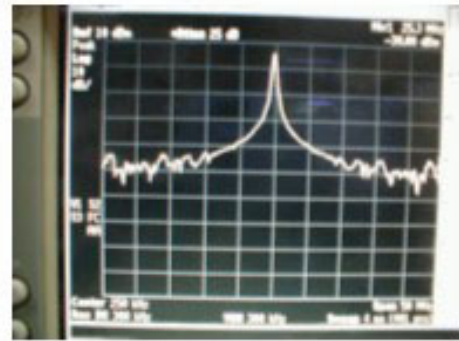
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan dari sistem. Frekuensi *pseudonoise code* yang digunakan adalah 8 MHz, berasal dari internal IC XILINX FPGA. Dalam pengujian ini dilakukan juga dengan mengatur laju data hingga sistem tidak mampu lagi memproses data, artinya data hasil proses *despreading* menjadi kacau (terdapat *noise*) atau tidak sama lagi dengan data masukan.

4.3 Hasil Pengujian

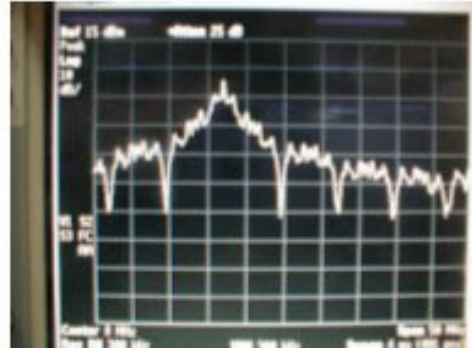
Hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 5 merupakan proses pengukuran hasil sinyal data, sinyal PN, sinyal spreading dan sinyal despreading dengan laju bit data 256 KHz, laju PN 4 MHz, laju spreading 4 MHz dan setelah melalui proses spreading dan despreading diperoleh data keluaran dengan laju 256



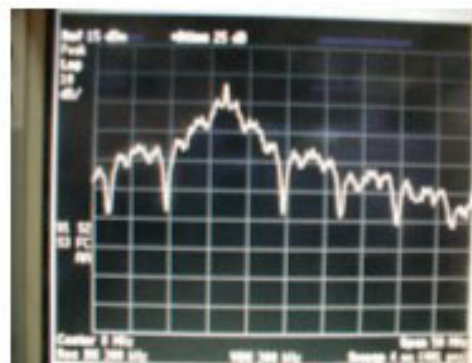
Gambar 5. Hasil pengujian proses *spreading-despreading* PN-Code Gold [5,3]-[5,4,3,2]



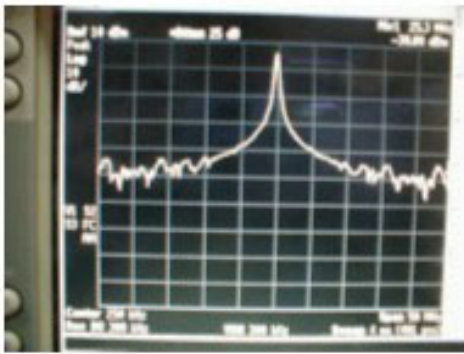
Gambar 6. Hasil pengukuran data input



Gambar 7. Hasil pengukuran PN Code



Gambar 8. Hasil pengukuran sinyal *spreading*



Gambar 9. Hasil pengukuran sinyal output

KhZ, pengukuran menggunakan Logic Analyzer National VP-3621A.

Gambar 6 merupakan hasil pengukuran sinyal data yang akan *dispreading* dengan alat *Spectrum Analyzer Agilent E4403B* dengan laju bit data 256 KHz.

Gambar 7 merupakan hasil pengukuran sinyal *pseudonoise* yang akan di gunakan untuk *menspreading* data dengan menggunakan alat *Spectrum Analyzer Agilent E4403B* dengan laju bit *pseudonoise* 4 MHz.

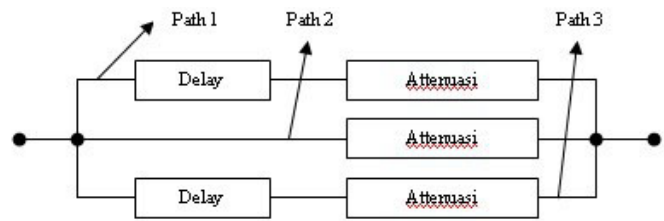
Gambar 8 merupakan hasil pengukuran sinyal *spreading* merupakan *multiplier* antara data dengan Pseudo Noise menggunakan alat *Spectrum Analyzer Agilent E4403B* dengan laju bit 4MHz.

Gambar 9 merupakan hasil pengukuran sinyal *despreading*, yaitu yang merupakan *multiplier* antara sinyal *spreading* dengan sinyal *pseudonoise* dengan alat pengukur *Spectrum Analyzer Agilent E4403B* dengan laju bit *despreading* yang diperoleh 256 K.

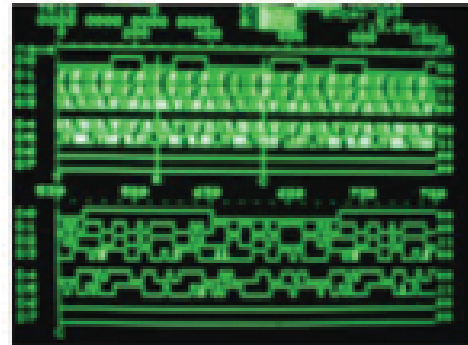
4.3.1 Pengukuran di Simulator Kanal Multipath.

- 3 element path
- PN Gold 5 register.
- Path 1 di delay = 1500 nS, attenuasi = - 8,794 dB
- Path 2 tanpa di delay, attenuasi = -0,830 dB
- Path 3 di delay = 1750 nS, attenuasi = - 13,872 dB

Gambar 11 merupakan proses pengukuran simulasi dengan lintasan jamak 3 lintasan hasil sinyal data, sinyal PN, sinyal *spreading* dan sinyal *despreading* dengan laju bit data 256 KHz,



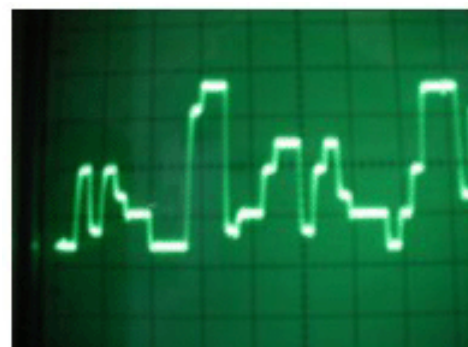
Gambar 10. Diagram rangkaian simulasi kanal multipath



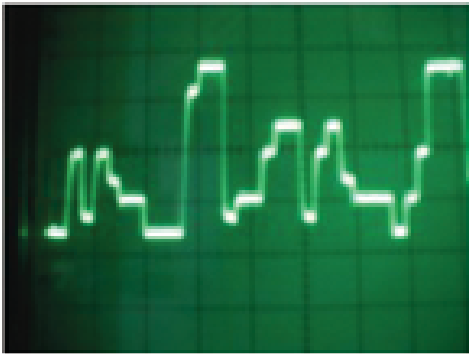
Gambar 11. Hasil pengukuran P7 di simulasi kanal multipath dengan PN Gold [5,3]-[5,4,3,2]



Gambar 12. Hasil pengukuran P7 path 1



Gambar 13. Hasil pengukuran P7 path 2



Gambar 14. Hasil pengukuran P7 path 3



Gambar 15. Hasil pengukuran P7 penjumlahan ketiga path

laju PN 4 MHz, laju *spreading* 4 MHz dan setelah melalui proses *spreading* dan *despreading* diperoleh data keluaran dengan laju 256 KHz. pengukuran menggunakan *Logic Analyzer National VP-3621A*.

Gambar 12 merupakan hasil pengukuran sinyal kanal multipath setelah proses *spreading* data di lintasan 1 pada Percobaan 7, pada frekwensi 4MKhz dengan tegangan 5 Volt DC menggunakan alat *Oscilloscope Kenwood CS 4125A*.

Gambar 13 merupakan hasil pengukuran sinyal kanal multipath setelah proses *spreading* data di lintasan 2 pada Percobaan 7, pada frekwensi 4MKhz dengan tegangan 5 Volt DC menggunakan alat *Oscilloscope Kenwood CS 4125A*.

Gambar 14 merupakan hasil pengukuran sinyal kanal multipath setelah proses *spreading* data di lintasan 3 pada Percobaan 7, pada frekwensi 4MKhz dengan tegangan 5 Volt DC menggunakan alat *Oscilloscope Kenwood CS 4125A*.

Gambar 15 merupakan hasil pengukuran sinyal kanal multipath setelah proses *spreading* data pada gabungan lintasan 1, 2 dan 3 percobaan 7, pada frekwensi 4MKhz dengan tegangan 5 Volt DC menggunakan alat *Oscilloscope Kenwood CS 4125A*.

Tabel 1
Data lintasan jamak P1

Path	Excess Delay (ns)	Resistansi (Ohm)	Attenuasi (db)	Power mwatt
1	0	5	-0,830	80
2	40	20	-8,794	12,8
3	250	100	-13,872	4

Untuk tabel P2, P3, P4, P5, P6 dan P7 sama seperti Tabel 2, hanya berbeda pada nilai *excess delay*.

5 PARAMETER MULTIPATH

5.1 Maximum Excess Delay

Maximum Excess Delay ini, dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1 :

$$\text{Maximum excess delay} = \tau_{max} - \tau_1 \quad (1)$$

Berdasarkan data pada Tabel 1, maka nilai *Maximum excess delay*nya adalah:

$$\text{Maximum excess delay} = 250nS - 0nS = 250nS$$

5.2 Mean Excess Delay

Mean Excess Delay, $\bar{\tau}$, dihitung mulai munculnya komponen lintasan jamak pertama sampai terakhir, untuk menghitung dapat digunakan persamaan 2:

$$\bar{\tau} = \frac{\frac{1}{N} \sum \tau_k P(\tau_k)}{\frac{1}{N} \sum P(\tau_k)} \quad (2)$$

Berdasarkan data pada Tabel 1, maka *Mean Excess Delay* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Pt &= \{(0 \times 80) + (40 \times 12,8) + (250 \times 4)\} \times 10^{-18} \\ &= 1512 \times 10^{-18} \end{aligned}$$

$$P = (80 + 12,8 + 4)x10^{-3} = 96,8x10^{-3}$$

Mean Exceeds Delay

$$\begin{aligned}\bar{\tau} &= \frac{\frac{Pt}{N}}{\frac{P}{N}} \\ &= \frac{504 \times 10^{-12}}{32,27 \times 10^{-3}} \\ &= 5,618 \times 10^{-9} \text{second}\end{aligned}$$

5.3 RMS Delay Spread

Berdasarkan data dari tabel 1, RMS Delay spread, σ_{τ} , dapat dihitung berdasarkan persamaan 3:

$$\sigma_{\tau} = \left[\frac{\sum (\tau_k - \bar{\tau})^2 P(\tau_k)}{\sum P(\tau_k)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Berdasarkan data pada Tabel 1. maka *RMS Delay Spread* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}Ptt &= ((15,618)^2 \times 80 + (24,382)^2 \times 12,8 + \\ &\quad (234,382)^2 \times 4) \times 10^{21} \\ P &= (80 + 12,8 + 4)x10^{-3} = 96,8x10^{-3}\end{aligned}$$

RMS Delay Spread

$$\begin{aligned}\sigma_{\tau} &= \left[\frac{\frac{Ptt}{N}}{\frac{P}{N}} \right]^{1/2} \\ &= \left[\frac{246862,81 \times 10^{-21}}{96,8 \times 10^{-3}} \right]^{1/2} \\ &= 50,45 \times 10^{-9} \text{second}\end{aligned}$$

5.4 Coherence Bandwidth

Coherence bandwidth, B_C , dapat dihitung dengan persamaan 4:

$$B_C \approx \frac{1}{5\sigma_{\tau}} \quad (4)$$

Berdasarkan data pada Tabel 1. maka *Coherence Bandwidth* dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}B_C &= 1/5x(50,45x10^{-9}) \\ &= 3,964x10^6 \text{Hz}\end{aligned}$$

Setiap percobaan diperoleh parameter-parameter lintasan jamak seperti: *maximum*

excess delay, *mean excess delay* dan *RMS delay spread*.

Dari hasil perhitungan parameter-parameter lintasan jamak dari masing-masing percobaan dari sejumlah data pengukuran akan ditampilkan pada tabel 2. Parameter-parameter tersebut akan berbeda tergantung pada *delay* yang diberikan pada lintasan jamak.

Tabel 2

Parameter lintasan jamak P1 sampai P7

Sampel ke	Maximum Excess Delay (nSec)	Mean Excess Delay (nSec)	RMS Delay Spread (nSec)	Coherence Bandwidth
1	250	15,618	50,45	3,964
2	500	25,950	99,341	2,013
3	750	97,107	215,723	0,927
4	1000	140,495	309,779	0,645
5	1250	183,884	403,713	0,495
6	1500	227,272	497,929	0,402
7	1750	270,661	592,294	0,338

6 KESIMPULAN

Berdasarkan pengukuran, perhitungan dan analisa yang dilakukan pada penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan antara lain:

- 1) Pada hasil pengukuran P1 dan P2 pada simulasi kanal multipath, belum nampak bentuk kanal frekwensi selektifnya, karena *RMS delay spread* lebih kecil 125nS yaitu 50,45nS dan 99,341nS pengukuran P3 sampai P7 mulai nampak bentuk kanal frekwensi selektifnya karena outputnya sudah mengalami perubahan dari bentuk inputnya dengan PN Gold Code [5,3]-[5,3,2].
- 2) Dengan PN Gold Code [5,3]-[5,3,2] analisa perhitungan bentuk kanal frekwensi selektif muncul, bila rms delay spread lebih besar 125 nS dan pada percobaan yang dilakukan diperoleh mulai 215,723 nS. Hal ini diperoleh karena keterbatasan dalam mendelay komponen lintasan jamaknya.

- 3) Dari hasil pengukuran dengan PN Gold Code [5,3]-[5,3,2] pada simulasi sistem spread spectrum dapat dilihat dan diperoleh bahwa hasil data inputan dengan laju 250 kbps dan bentuk output tidak mengalami perubahan walaupun mengalami proses penebaran sehingga bisa dianggap simulasi kanal yang digunakan adalah kanal ideal.



Anang Budikarso lahir tanggal 8 Mei 1963, lulus program pasca sarjana ITS Surabaya pada tahun 2004 Jurusan Teknik Telekomunikasi Multimedia. Mengajar di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya sejak tahun 1991 sampai sekarang. Bidang yang dipelajari berkaitan dengan *system embedded* dan *wireless communication*. Fokus penelitian pada PN code yang direalisasikan menggunakan *Field Programmable Gate Array*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Iwan Dwi Santoso, Endroyono, *Simulasi pembangkitan kode-kode acak semu dan evaluasi performansinya dalam aplikasi CDMA*, Surabaya 2001.
- [2] R. L. Peterson, R. E. Ziemer, and D. E Borth, *Introduction to Spread-spectrum Communication*, Prentice Hall, Englewood Cliffs" 1995.
- [3] Robert C. Dixon, *Spread spectrum Systems with Commercial Application*, 3th Edition, John Wiley and Sons, New York 1995.
- [4] J. G. Proakis, *Digital Communication. 3th edition*, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1989.
- [5] M. K. Simon, J. K Omura, R. A Scultz, and B. K. Levitt, *Spread Spectrum Communication Handbook*, New York, Mc Graw-Hill, 1994.
- [6] Kevin Skahill, *VHDL for programmable Logic*, Addison-Wesley, 1996.
- [7] Young-Ki Han, *Implementation of PIPNLMS on FPGA*, proc. ICSPAT, 1996.
- [8] DJ Ridge, *Advance DSP on FPGAs and CPLDs*, proc. ICSPAT, 1996.
- [9] Anang budikarso, M. Syafrudin, *Implementasi FPGA pada Digital Logic Trainer*, Proceedings IES 2001, October 27-28, Surabaya 2001.
- [10] Anang budikarso, *Implementasi Verilog HDL pada rangkaian kombinatorial dan sekuensial*, penelitian PENS-ITS 2000, April 14, Surabaya 2000.
- [11] Abdulqadir Alaqeeli and Janusz Starzyk, *Hardware Implementation for Fast Convolution with a PN Code Using Field Programmable Gate Array*, IEEE 2001.
- [12] L Azzinnari, A Mozsary, K Krol. E Karpela, V Porra, *A Simple Digital FPGA Pseudo Chaos Generator*, Proceeding ECCTD 2001 Web search
- [13] L Cong. W Xiaofu, *Design and realization of an FPGA based generator for chaotic frequency hopping sequences*, IEEE Transactions on circuits and system Fundamental 2001.



Aries Pratiarso lahir di Surabaya, 17 Nopember 1966, lulus program pasca sarjana ITS Surabaya pada tahun 2005 Jurusan Teknik Telekomunikasi Multimedia. Mengajar di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya sejak tahun 1994 sampai sekarang. Lingkup penelitiannya pada *wireless communication* fokus pada MIMO.



Arifin lahir pada tanggal 3 Mei 1960, lulus program pasca sarjana ITS Surabaya pada tahun 2004 Jurusan Teknik Telekomunikasi Multimedia. Mengajar di Politeknik Elektronika Negeri Surabaya sejak tahun 1994 sampai sekarang. Penelitian terfokus pada bidang *wireless communication* utamanya pada Equalisasi.