



TUGAS AKHIR - TE 141599

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA KODE KASAMI  
PADA *CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS* (CDMA)  
MENGUNAKAN *WIRELESS OPEN-ACCESS RESEARCH  
PLATFORM* (WARP)**

Ariadna Najmy  
NRP. 2213105034

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT  
Dr. Ir. Suwadi, MT

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknik Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TE 141599

**IMPLEMENTATION AND PERFORMANCE EVALUATION OF  
KASAMI CODE IN *CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS*  
(CDMA) USING WIRELESS OPEN-ACCESS RESEARCH  
PLATFORM (WARP)**

Ariadna Najmy  
NRP. 2213105034

Supervisors  
Dr. Ir. Titiek Suryani, MT  
Dr. Ir. Suwadi, MT

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI KINERJA KODE KASAMI  
PADA CDMA MENGGUNAKAN *WIRELESS OPEN-ACCESS  
RESEARCH PLATFORM (WARP)***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik**

**Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga**

**Jurusan Teknik Elektro**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

**Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.**

**NIP. 196411301989032001**

**Dr. Ir. Suwadi, MT.**

**NIP. 196808181993031002**



# Implementasi dan Evaluasi Kinerja Kode Kasami pada *Code Division Multiple Access* (CDMA) Menggunakan WARP

Nama : Ariadna Najmy  
Pembimbing : Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.  
Dr. Ir. Suwadi, MT.

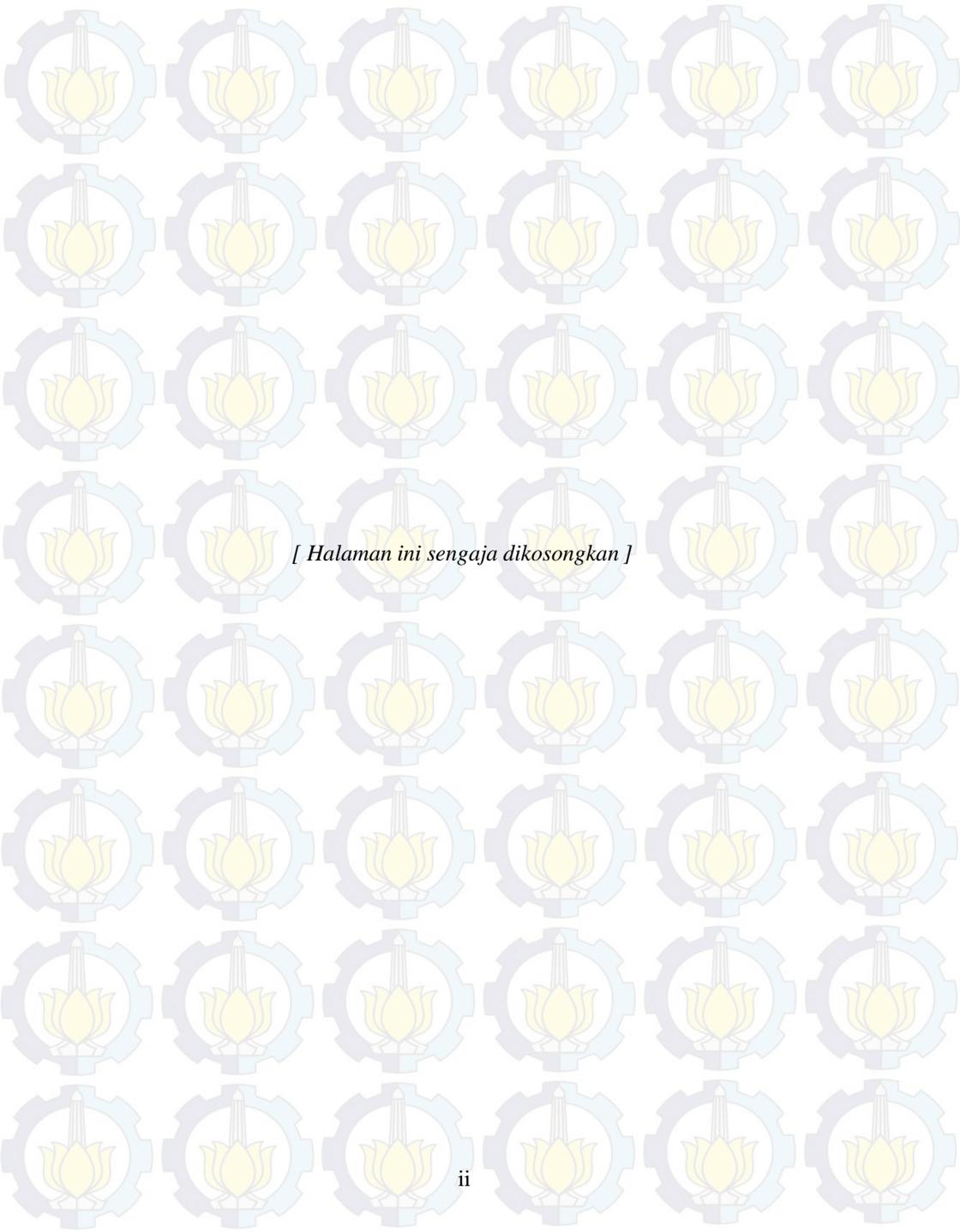
## ABSTRAK

*Code Division Multiple Access* (CDMA) adalah salah satu teknik *multiple access*, yang mendukung penggunaan *user* pada *bandwidth* frekuensi dan waktu yang sama. Masing – masing kanal pengguna dibedakan oleh kode *spread*. Kemampuan akses jamak yang besar pada sistem CDMA untuk memperbanyak jumlah *user* yang dapat dilayani, membutuhkan pemilihan kode *Pseudo Noise* (PN) yang banyak dengan memastikan korelasi silang yang rendah pada tiap *user* salah satunya dapat dipilih kode Kasami.

Pada tugas akhir ini, CDMA dengan kode Kasami akan diimplementasikan pada modul *Wireless Open-Access Research Platform* (WARP) yang merupakan salah satu dari jenis *Software Define Radio* (SDR). Dengan WARP dapat terlihat unjuk kerja sistem secara *real* pada kanal nirkabel.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja kode Kasami pada CDMA menggunakan WARP yang ditampilkan dalam bentuk grafik *bit error rate* (BER). Hasil implementasi menunjukkan nilai *Bit Error Rate* (BER) pada jarak 3 meter dengan pengiriman 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 user mempunyai nilai BER 0.0056, 0.0180, 0.03687, 0.0561, 0.1207, 0.171, dan 0.2. Adanya MUI menyebabkan nilai BER meningkat seiring dengan penambahan *user*. Batas pengiriman *user* maksimal pada implementasi ini adalah 20 *user* secara serentak. Dengan adanya MUI jumlah yang dapat dilayani secara efektif dan kinerja dari sistem akan menurun.

Kata kunci: PN *code*, kode *large* Kasami, CDMA, WARP



*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

# Implementation and Performance Evaluation Kasami Code in CDMA Using Wireless Open-Access Research Platform (WARP)

**Name** : Ariadna Najmy  
**Supervisors** : Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.  
Dr. Ir. Suwadi, MT.

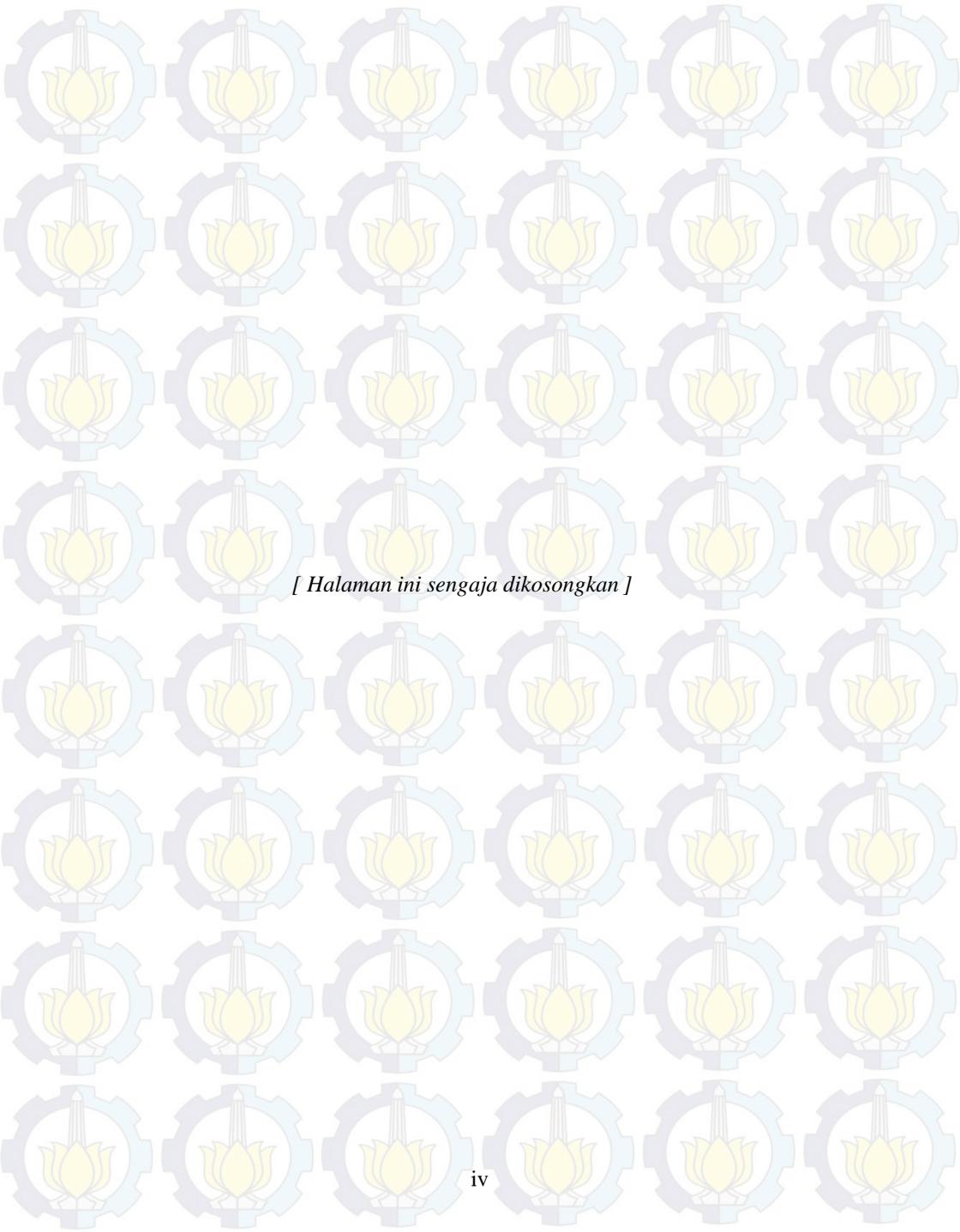
## ABSTRACT

*Code Division Multiple Access (CDMA) is a multiple access technique, which supports the use of user in the frequency bandwidth and the same time. Each - each user channel is distinguished by a code spread. Large multiple access capability in CDMA systems to increase the number of users that can be served, requiring election code Pseudo Noise (PN) which is a lot by ensuring low cross correlation to each user one of which can be selected Kasami codes.*

*In this thesis, CDMA and Kasami codes will be implemented on the module Wireless Open-Access Research Platform (WARP), which is one of the types of Software Define Radio (SDR). With WARP can be seen in real system performance on the wireless channel.*

*Tests conducted to determine the performance Kasami codes in CDMA using WARP are displayed in graphical form the bit error rate (BER). The implementation results show the value of Bit Error Rate (BER) at a distance of 3 meters with shipping 2, 4, 6, 8, 10, and 12 user has a value of BER 0.0056, 0.0180, 0.03687, 0.0561, 0.1207, 0.1 71 and 0.2. MUI their causes BER value increases with the user. Limit maximum user delivery on this implementation is 20 simultaneous users. With the MUI amount that can be served effectively and the performance of the system will decrease.*

**Keywords:** PN code, large Kasami code, CDMA, WARP



*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah segala puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, karena atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul:

### **Implementasi dan Evaluasi Kinerja Kode Kasami Pada Code Division Multiple Access (CDMA) Menggunakan WARP**

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan program studi strata 1 pada jurusan teknik elektro, fakultas teknologi industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Dalam proses pengerjaan penelitian ini penulis banyak mendapat saran, dorongan, bimbingan serta keterangan-keterangan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segala hormat dan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

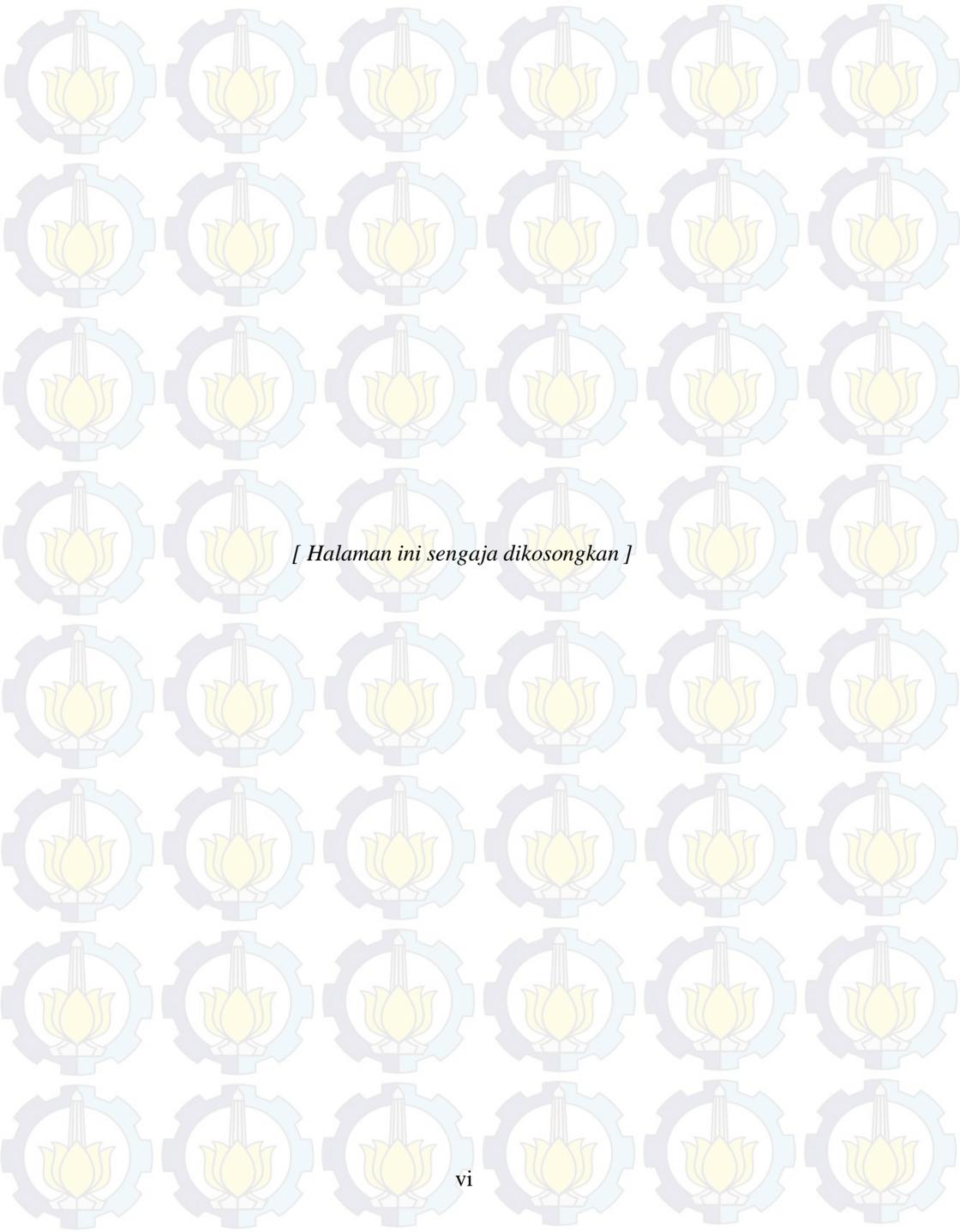
1. Ibu dan Bapak, abangku Senoaji, dan adik adik yang selalu mendoakan, mengingatkan, menghibur dan memberikan bantuan materil dan non-materil kepada penulis.
2. Ibu Dr. Ir. Titiek Suryani, MT Bapak Dr. Ir. Suwadi, MT yang telah memberikan bantuan teknis ketika penelitian berlangsung.
3. Teman-teman satu team PN *code* terutama Mas Dani, Andam Dewi, ATL, team pengkodean kanal, yang selalu membantu penulis dalam melakukan pengukuran dan menghibur penulis dengan candaan-candaan yang kurang berkualitas.
4. Semua pihak yang telah memberikan dukungannya, yang tidak mungkin dapat disebutkan satu persatu dalam laporan ini.

Dalam proses perbaikan dan pengembangan kritik dan saran terhadap penelitian ini sangat dibutuhkan untuk mengetahui kekurangan dan kebutuhannya. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Surabaya, Juni 2015

Penulis



*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

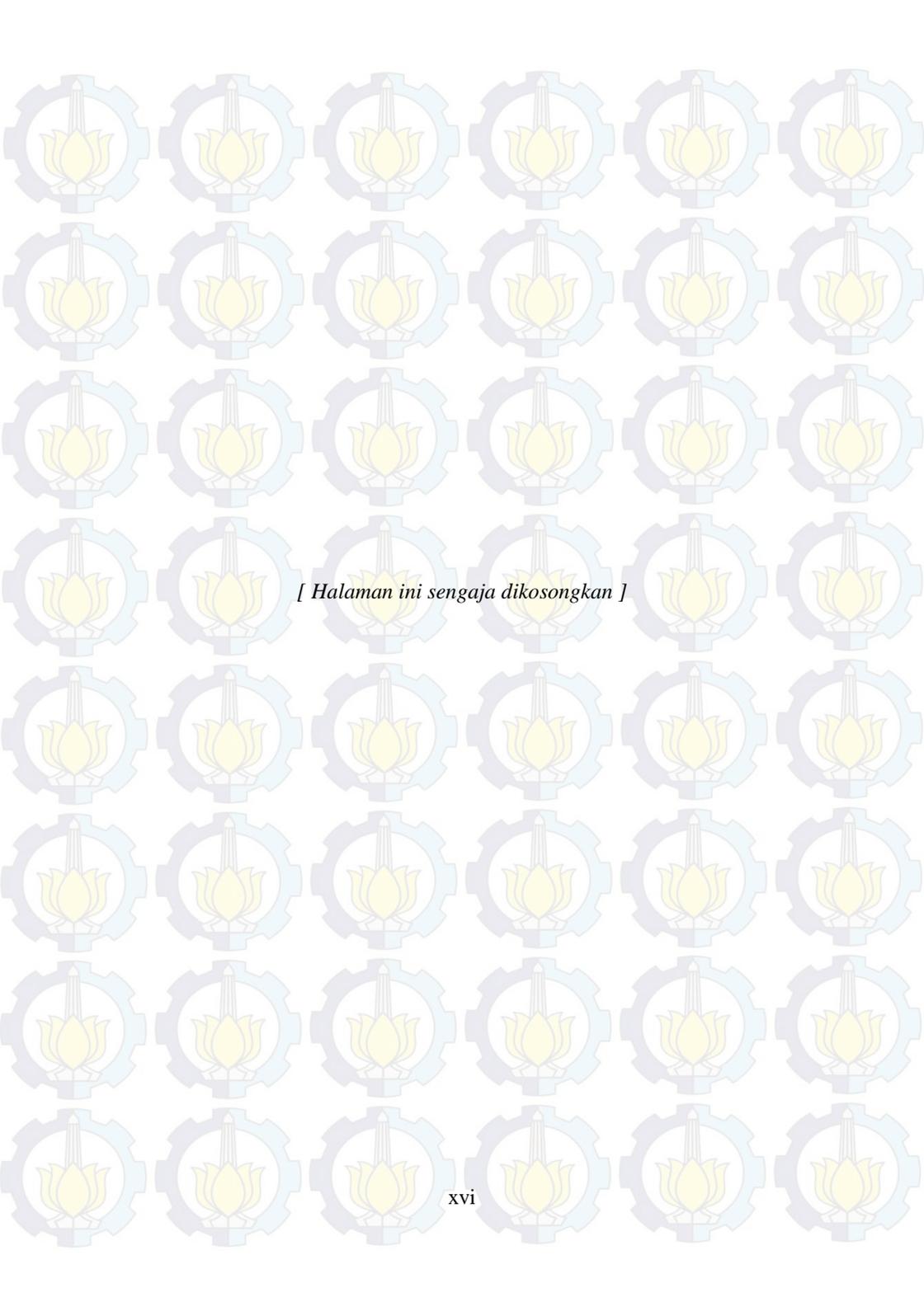
# DAFTAR ISI

|  |           |
|--|-----------|
| ABSTRAK .....  | i         |
| ABSTRACT .....   | iii       |
| KATA PENGANTAR .....   | v         |
| DAFTAR ISI .....   | vii       |
| DAFTAR GAMBAR .....  | xi        |
| DAFTAR TABEL .....   | xv        |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....   | <b>1</b>  |
| 1.1 Latar Belakang .....   | 1         |
| 1.2 Perumusan Masalah .....  | 2         |
| 1.3 Batasan Masalah .....  | 2         |
| 1.4 Tujuan .....   | 2         |
| 1.5 Metodologi .....   | 2         |
| 1.6 Sistematika Penulisan .....  | 5         |
| 1.7 Manfaat .....  | 6         |
| <b>BAB 2 DASAR TEORI</b> .....   | <b>7</b>  |
| 2.1 <i>Spread Spectrum</i> .....   | 7         |
| 2.2 <i>Pseudo Noise (PN)</i> .....   | 8         |
| 2.3 <i>Maximum Length Sequence (M-Sequence)</i> .....                          | 10        |
| 2.4 Kode Kasami .....  | 12        |
| 2.5 Kode Gold .....  | 15        |
| 2.6 Walsh Hadamard .....   | 17        |
| 2.3.1 Parameter kode <i>Pseudo Noise (PN)</i> .....                            | 18        |
| 2.7 <i>Phase Shift Keying (PSK)</i> .....                                      | 22        |
| 2.8 <i>Code Division Multiple Access (CDMA)</i> .....                          | 24        |
| 2.9 <i>Software Defined Radio</i> .....  | 28        |
| 2.10 <i>Wireless Open-Access Research Platform (WARP)</i> dan<br>WARPLab ..... | 28        |
| 2.10.1 Perangkat Keras pada WARP .....   | 29        |
| 2.10.2 WARP Board .....  | 30        |
| 2.10.3 Arsitektur <i>Platform</i> .....  | 32        |
| 2.10.4 WARPLab .....   | 33        |
| <b>BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM</b> .....                       | <b>35</b> |
| 3.1 Perancangan Sistem .....   | 35        |
| 3.1.1 Perancangan pada Sisi Pemancar .....                                     | 37        |
| 3.1.2 Perancangan pada Sistem Penerima .....                                   | 47        |

|   |   |           |
|---|---|-----------|
| 3.3   | Tahap Implementasi Sistem dengan WARP .....   | 50        |
| 3.3.1                                       | Karakteristik Radio <i>Board</i> WARP .....   | 51        |
| 3.3.2                                       | Konfigurasi Sistem pada WARP secara Umum.....   | 53        |
| 3.4   | Metode Pengukuran .....   | 54        |
| 3.4.1                                       | Pengukuran Data <i>User</i> Terhadap Perbandingan Variasi Pengirim Terhadap BER Sistem CDMA .....                   | 55        |
| 3.4.2                                       | Pengukuran Kemampuan Kode Kasami Melayani Jumlah <i>User</i> .....  | 55        |
| 3.4.3                                       | Pengukuran Berdasarkan Perbandingan Jarak <i>Transmitter</i> Dan <i>Receiver</i> Terhadap Kinerja Sistem CDMA ..... | 55        |
| 3.4.4                                       | Pengaruh $E_b/N_0$ terhadap BER Sistem CDMA .....   | 56        |
| <b>BAB IV HASIL DAN ANALISIS DATA .....</b> |   | <b>59</b> |
| 4.1   | Analisis Kode <i>Large</i> Kasami .....   | 59        |
| 4.1.1                                       | Perbandingan Fungsi Autokorelasi .....  | 59        |
| 4.1.2                                       | Perbandingan Fungsi Korelasi Silang .....   | 61        |
| 4.2   | Pengujian dan Analisa Hasil Kinerja kode Kasami pada sistem CDMA .....  | 63        |
| 4.2.1                                       | Pengujian dan Analisa Hasil Kinerja Kode Kasami dengan Variasi Jumlah <i>User</i> terhadap Daya Pancar .....        | 63        |
| 4.2.2                                       | Pengujian dan Analisa Hasil Kinerja Kode Kasami Terhadap Batas Toleransi dalam Melayani Sejumlah <i>User</i> .....  | 68        |
| 4.2.3                                       | Pengujian dan Analisa Hasil Kinerja Kode <i>Large</i> Kasami Berdasarkan Perbandingan Jarak .....                   | 70        |
| 4.2.4                                       | Pengujian dan Analisa Hasil Kinerja BER terhadap nilai $E_b/N_0$ .....  | 72        |
| 4.2.5                                       | Pengujian dan Analisa Hasil Perbandingan Kinerja Menggunakan Modulasi BPSK dengan QPSK .....                        | 74        |
| 4.2.6                                       | Pengujian dan Analisa Hasil Perbandingan Simulasi dan Implementasi pada WARP.....                                   | 75        |
| 4.3   | Analisa Perbandingan Kode Kasami dan Kode Walsh .....   | 76        |
| 4.3.1                                       | Analisa berdasarkan BER .....   | 76        |
| 4.3.2                                       | Analisa berdasarkan $E_b/N_0$ .....   | 78        |
| 4.4   | Pengukuran dengan <i>Spektrum Analyzer</i> .....  | 79        |
| <b>BAB 5 PENUTUP .....</b>                  |   | <b>81</b> |
| 5.1   | Kesimpulan .....  | 81        |
| 5.2   | Saran .....   | 81        |
| <b>LAMPIRAN .....</b>                       |   | <b>85</b> |
| <b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP .....</b>           |   | <b>99</b> |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Proses <i>Shift Register</i> dari 3 <i>Stage Register</i> [1] .....                          | 12 |
| Tabel 2. 2 Polinomial Untuk Pembangkitan Kode Kasami[2].....  | 13 |
| Tabel 2. 3 <i>Preffered Pairs</i> Untuk Pembangkitan Kode Gold .....                                    | 16 |
| Tabel 3. 1 Parameter Sistem .....   | 36 |
| Tabel 3. 2 Parameter <i>Level Gain Setting</i> pada Modul WARP.....                                     | 37 |
| Tabel 4. 1 Autokorelasi dari kode <i>Large Kasami</i> .....   | 60 |
| Tabel 4. 2 Korelasi silang dari kode <i>Large Kasami</i> .....  | 61 |
| Tabel 4. 3 Kinerja BER Terhadap Ptx Berdasarkan Pengiriman 1<br><i>User</i> .....                       | 63 |
| Tabel 4. 4 Kinerja BER Terhadap Ptx Berdasarkan Pengiriman <i>User</i><br>.....                         | 65 |
| Tabel 4. 5 Kinerja BER terhadap Daya Pancar pada Pengiriman<br><i>User</i> secara Bersamaan.....        | 67 |
| Tabel 4. 6 BER Terhadap Jarak 3 Meter Dengan 2, 8, Dan 20 <i>User</i><br>.....                          | 70 |
| Tabel 4. 7 BER Terhadap Jarak 5 Meter Dengan 2, 8, Dan 20 <i>User</i><br>.....                          | 70 |
| Tabel 4. 8. Kinerja BER Terhadap Eb/No Berdasarkan Pengiriman 1<br><i>User</i> 3 Meter.....             | 72 |
| Tabel 4. 9. Kinerja BER Terhadap Eb/No Berdasarkan Pengiriman 6<br><i>User</i> pada Jarak 5 Meter ..... | 73 |

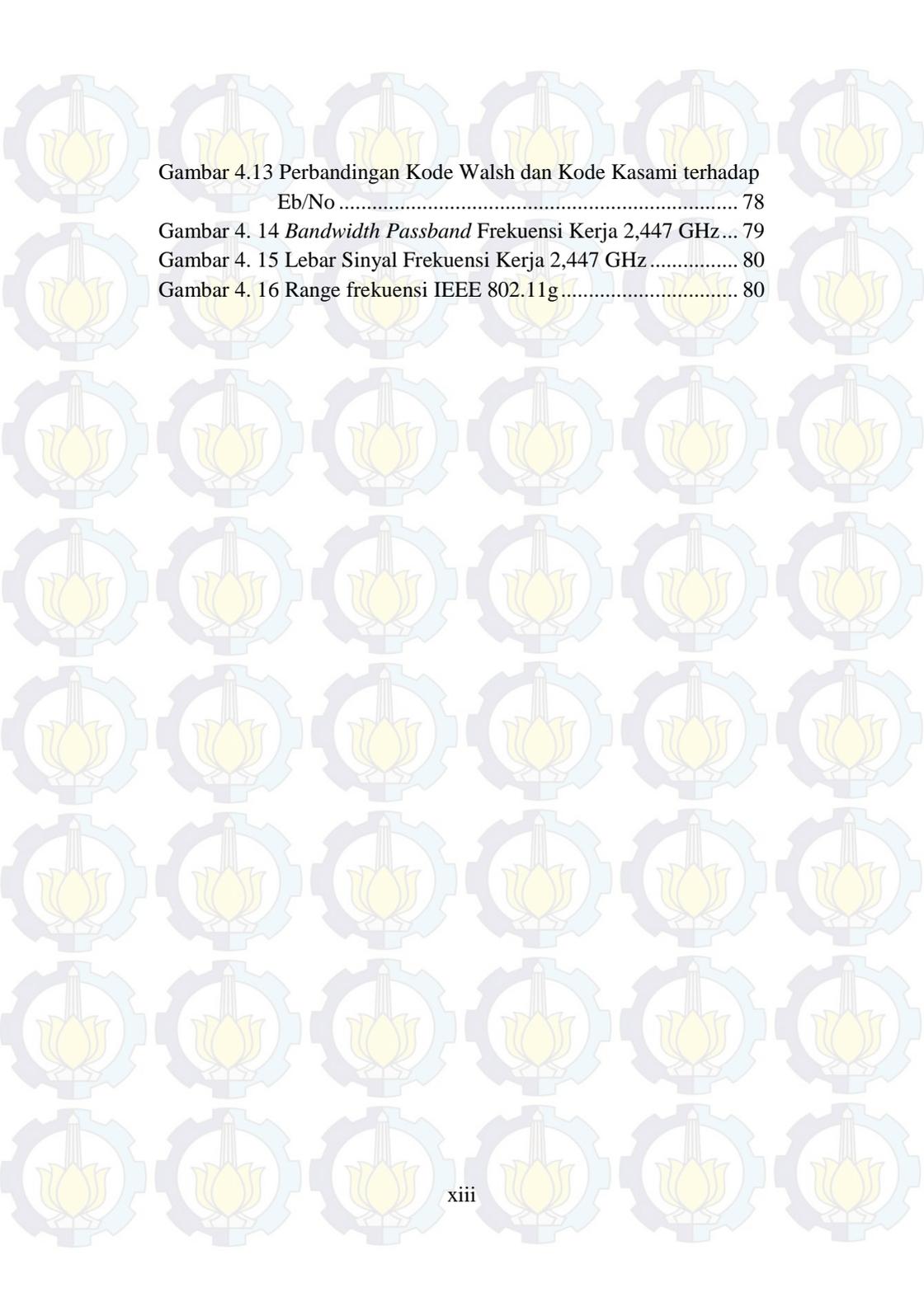


*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

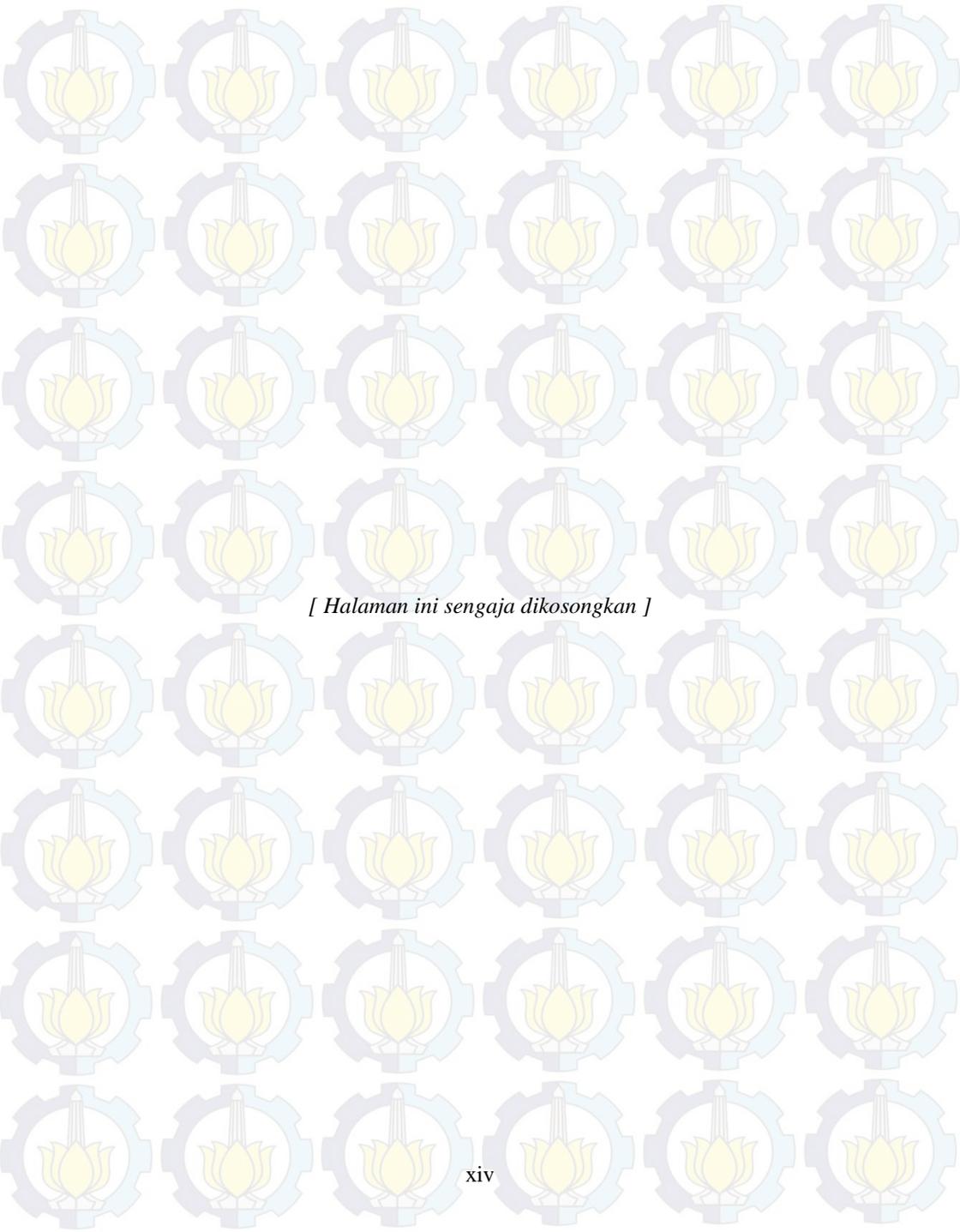
## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1. 1 Diagram Alir Metode Penelitian .....                                   | 3  |
| Gambar 1. 2 Blok Diagram Sistem Transmisi .....                                    | 4  |
| Gambar 2. 1 Proses Perkalian dengan Kode PN .....                                  | 9  |
| Gambar 2. 2 Diagram <i>M-sequence</i> PN Generator .....                           | 10 |
| Gambar 2. 3 Pembangkitan Kode <i>Small</i> Kasami untuk $m = 4$ .....              | 13 |
| Gambar 2. 4 Pembangkitan Kode <i>Large</i> Kasami untuk $m = 6$ .....              | 14 |
| Gambar 2. 5 Gold <i>Sequence</i> Generator .....                                   | 16 |
| Gambar 2. 6 Auto Korelasi kode Gold .....  | 19 |
| Gambar 2. 7 Auto Korelasi kode Kasami .....  | 19 |
| Gambar 2. 8 Auto Korelasi kode Walsh Hadamard.....                                 | 20 |
| Gambar 2. 9 Korelasi Silang kode Gold .....  | 21 |
| Gambar 2. 10 Korelasi Silang kode Kasami .....                                     | 21 |
| Gambar 2. 11 Korelasi Silang kode Walsh Hadamard .....                             | 22 |
| Gambar 2. 12 Contoh Diagram Konstelasi Modulasi BPSK .....                         | 24 |
| Gambar 2. 13 Sistem CDMA dengan $K_{user}$ .....                                   | 26 |
| Gambar 2. 14 Penerima sistem CDMA .....  | 27 |
| Gambar 2. 15 Arsitektur Perangkat Keras WARP [5] .....                             | 29 |
| Gambar 2. 16 Modul WARP [8].....   | 30 |
| Gambar 2. 17 <i>Radio Board</i> [8] .....  | 30 |
| Gambar 2. 18 Diagram Blok Node WARP[3] .....                                       | 32 |
| Gambar 2. 19 Komponen – komponen utama dari arsitektur WARP<br>.....               | 32 |
| Gambar 2. 20 Arsitektur WARPLab [3] .....  | 33 |
| Gambar 3. 1 Blok Desain Implementasi Sistem CDMA .....                             | 35 |
| Gambar 3. 2 Sinyal Informasi yang dibangkitkan .....                               | 38 |
| Gambar 3. 3 Sinyal hasil modulasi BPSK .....                                       | 38 |
| Gambar 3. 4 Sinyal Pembangkitan Kode <i>Large</i> Kasami .....                     | 40 |
| Gambar 3. 5 Proses Bit Informasi Dikali Dengan Kode Kasami....                     | 41 |
| Gambar 3. 6 Susunan Pilot dan Simbol .....   | 42 |
| Gambar 3. 7 Penyusunan Letak <i>Preamble</i> , Pilot, dan Simbol .....             | 42 |
| Gambar 3. 8 Respon Impulse Filter <i>Squared Root Raised Cosine</i><br>(SRRC)..... | 43 |
| Gambar 3. 9 <i>Power Spektral Density Baseband</i> .....                           | 44 |
| Gambar 3. 10 Sinyal Spectrum Sebelum di <i>Upconvert</i> .....                     | 45 |
| Gambar 3. 11 Sinyal Spectrum Setelah di <i>Upconvert</i> .....                     | 45 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 3. 12 Desain <i>frame</i> data .....  | 46 |
| Gambar 3. 13 Sinyal Keluaran yang diterima pada Rx.....  | 47 |
| Gambar 3. 14 Hasil Ploting Sinyal Terdespreading.....  | 49 |
| Gambar 3. 15 Hasil Ploting Sinyal Demodulasi .....   | 50 |
| Gambar 3. 16 Proses Pengiriman Sampel IQ pada WARP.....  | 51 |
| Gambar 3. 17 Tx <i>Power VS Gain Setting</i> MAX2829[6] .....  | 52 |
| Gambar 3. 18 Integrasi antara PC dengan WARP .....   | 53 |
| Gambar 3. 19 Pengaturan IP pada PC.....  | 53 |
| Gambar 3. 20 Indikator keberhasilan interkoneksi anantara PC<br>dengan WARP .....                        | 54 |
| Gambar 3. 21 Kondisi <i>Line Of Sight (Los)</i> .....  | 56 |
| Gambar 3. 22 Konstelasi Sinyal pada Sistem .....   | 58 |
| Gambar 3. 23 Nilai Energi Bit pada Koordinat <i>Inphase</i> .....  | 58 |
| Gambar 3. 24 Gambar Nilai <i>Variance</i> (Nilai Energi Noise).....                                      | 58 |
| Gambar 4. 1 Autokoreasi dari Kode <i>Large Kasami</i> .....  | 61 |
| Gambar 4. 2 Korelasi Silang dari Kode <i>Large Kasami</i> .....  | 62 |
| Gambar 4. 3 Kinerja BER terhadap PTx Pengamatan pada 1 <i>User</i>                                       | 64 |
| Gambar 4. 4 Kinerja BER terhadap PTx Pengamatan pada 6 <i>User</i>                                       | 66 |
| Gambar 4. 5 Kinerja BER terhadap PTx Pengamatan <i>User</i> Aktif<br>pada Pengiriman 6 <i>User</i> ..... | 67 |
| Gambar 4. 6 Kurva BER pada kemampuan kode <i>large Kasami</i><br>melayani <i>User</i> .....              | 69 |
| Gambar 4. 7 Kurva BER Berdasarkan Perbandingan Jarak.....  | 71 |
| Gambar 4. 8 Kinerja BER terhadap Eb/No Pengiriman 10 <i>User</i> pada<br>Jarak 3 Meter.....              | 73 |
| Gambar 4. 9 Kinerja BER terhadap Eb/No berdasarkan 6 <i>user</i> pada<br>Jarak 5 Meter.....              | 74 |
| Gambar 4. 10 Kinerja BER terhadap Ptx Pada Pengiriman 10 <i>User</i><br>.....                            | 75 |
| Gambar 4. 11 Perbandingan Pengiriman <i>User</i> pada Simulasi dan<br>WARP .....                         | 76 |
| Gambar 4. 12 Perbandingan Kode Walsh dan Kode Kasami terhadap<br>Daya Pancar (Ptx) .....                 | 77 |



|  |    |
|--|----|
| Gambar 4.13 Perbandingan Kode Walsh dan Kode Kasami terhadap Eb/No ..... | 78 |
| Gambar 4. 14 <i>Bandwidth Passband</i> Frekuensi Kerja 2,447 GHz...      | 79 |
| Gambar 4. 15 Lebar Sinyal Frekuensi Kerja 2,447 GHz .....                | 80 |
| Gambar 4. 16 Range frekuensi IEEE 802.11g .....                          | 80 |

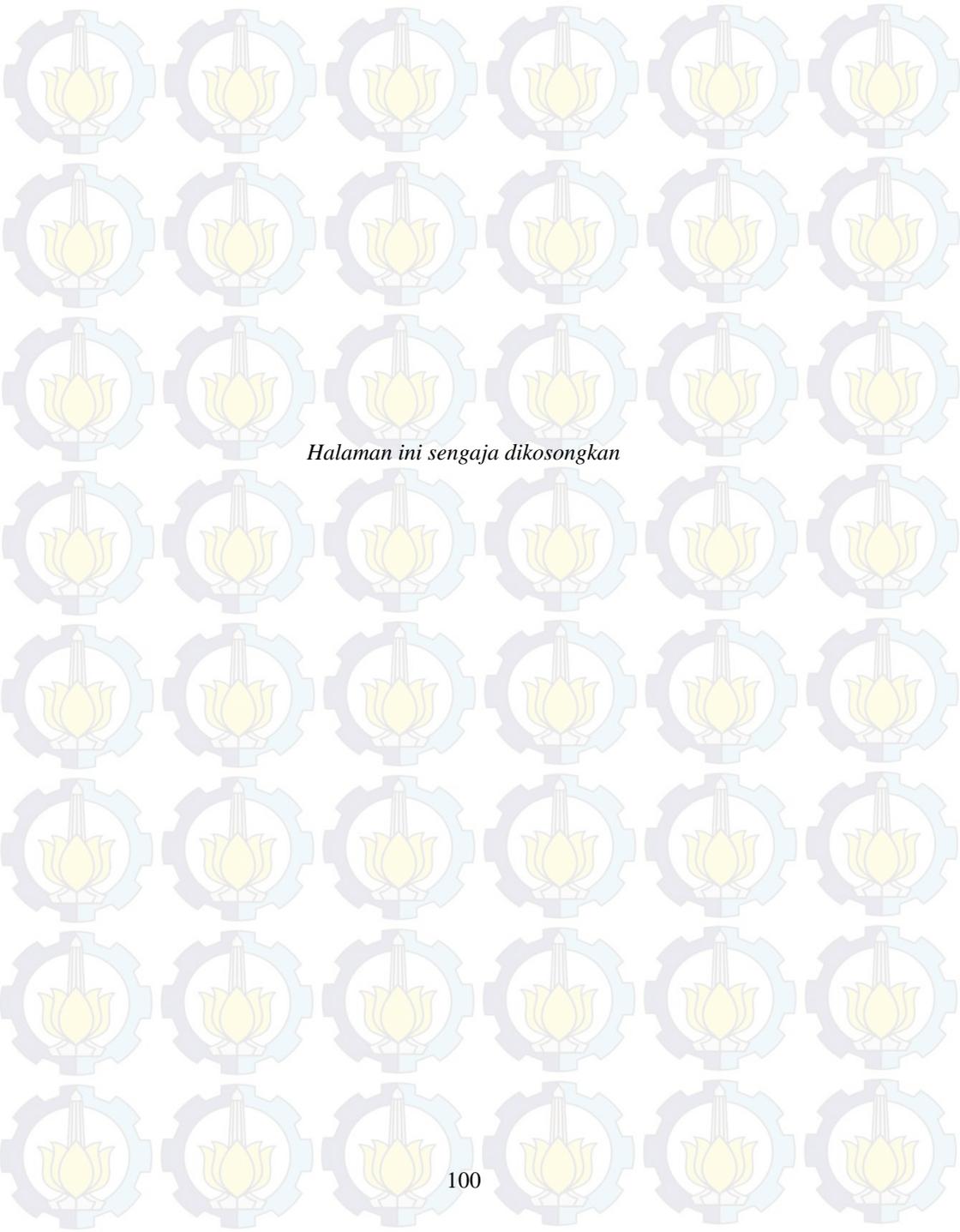


*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



**Ariadna Najmy**, dilahirkan dikota Kebumen pada tanggal 2 Desember 1992. Merupakan anak kedua dari Ir.Arismunandar.MT dan Ratna. Pada tahun 2004 lulus dari SDN BATAN INDAH – Serpong, Kota Tangerang Selatan. Pada tahun 2007 lulus dari SMPN 8 Kota Tangerang Selatan dan pada tahun 2010 lulus dari SMAN 2 Kota Tangerang Selatan. Pendidikan D3 ditempuh di Politeknik Negeri Jakarta (PNJ) pada tahun 2010 sampai 2013 dengan jurusan Teknik Telekomunikasi. Pada tahun yang sama 2013 melanjutkan tingkat S1 di Institut Teknologi Sepuluh November dengan jurusan Teknik Elektro dengan Prodi Telekomunikasi. Penulis dapat dihubungi melalui alamat email : [ariadna\\_najmy@yahoo.com](mailto:ariadna_najmy@yahoo.com).



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

*Code Division Multiple Access* (CDMA) mampu mengakomodasi banyak pengguna pada frekuensi dan waktu yang sama, mentransmisikan data maupun suara dengan kecepatan yang tinggi serta memiliki *bandwidth* yang cukup lebar. Pada sebuah sistem CDMA, semua pengguna ditransmisikan pada frekuensi dan waktu yang sama, hal ini menimbulkan adanya interferensi. Oleh karena itu untuk mencegah interferensi bersama, maka digunakan kode *Pseudo Noise* (PN). Kode PN yang salah satunya adalah kode Kasami digunakan untuk memisahkan pengguna secara individu, ketika mereka bersamaan menduduki frekuensi dan waktu yang sama. Tetapi kemudian muncul masalah yaitu sering terjadi korelasi antar kode PN yang digunakan oleh setiap pengguna. Untuk itu diperlukan penggunaan kode PN yang tepat, yaitu kode yang memiliki nilai autokorelasi yang tinggi dan nilai korelasi silang yang kecil. Sehingga interferensi bersama antar pengguna dapat diminimalisasi.

Kemampuan akses jamak yang besar pada sistem CDMA untuk memperbanyak jumlah *user* yang dapat dilayani, membutuhkan pemilihan kode *Pseudo Noise* (PN) yang banyak dengan memastikan korelasi silang yang rendah pada tiap *user* salah satunya dapat dipilih kode Kasami. Pada tugas akhir ini, CDMA dengan kode Kasami akan diimplementasikan pada modul *Wireless Open-Access Research Platform* (WARP) yang merupakan salah satu dari jenis *Software Define Radio* (SDR). Dengan WARP dapat terlihat unjuk kerja sistem secara *real/nyata* pada kanal nirkabel. Modul WARP mampu diprogram secara langsung dengan *software* MATLAB, sehingga pemodelan sistem pada pengirim dan penerima dapat dilakukan dengan mudah. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja kode Kasami pada CDMA menggunakan WARP yang ditampilkan dalam bentuk grafik *Bit Error Rate* (BER) terhadap analisa seberapa banyak jumlah *user* yang bisa dilayani secara serentak dengan pengaruh *Multiple User Interference* (MUI) yang dapat masih ditolereansi.

## 1.2 Perumusan Masalah

Masalah yang diharapkan untuk ditemukan solusinya melalui tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengaruh dari kode Kasami pada kinerja CDMA.
2. Pengaruh MUI pada sistem terhadap penambahan jumlah *user* yang dikirimkan.
3. Performasi sistem dilihat dari nilai BER.

## 1.3 Batasan Masalah

Untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang ada, maka dalam prakteknya akan dibatasi seperti:

1. Menggunakan WARPLab versi7.
2. Implementasi sistem dan pengukuran terbatas pada perangkat WARP.
3. Adanya pembatasan jumlah  $m = 6$ , dimana  $m$  adalah banyaknya *shift register* dalam pembangkitan kode *large Kasami*.
4. Teknik modulasi yang digunakan yaitu BPSK.
5. Kode acak semu (*PN code*) yang digunakan adalah kode *large Kasami*.
6. Pengukuran dilakukan menggunakan kanal *real* dengan jarak 3 dan 5 meter.
7. Analisa berdasarkan nilai *bit error rate* yang didapatkan dari hasil pengukuran.

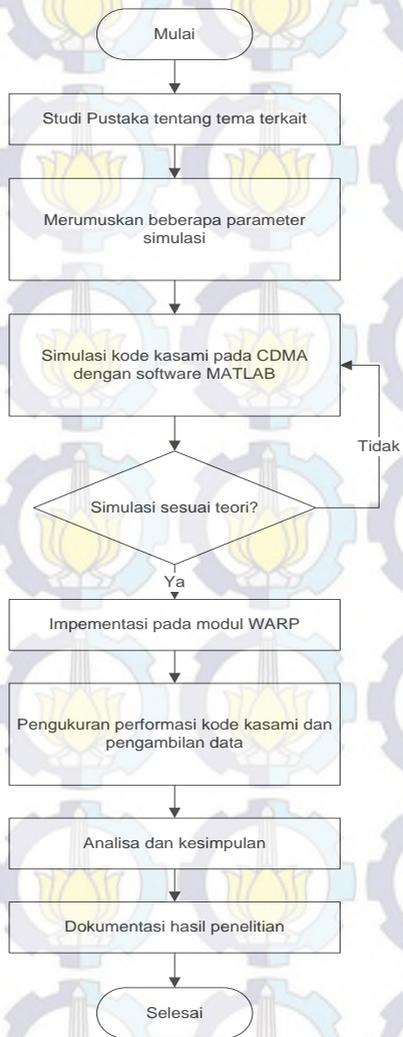
## 1.4 Tujuan

Tujuan yang diharapkan tercapai setelah selesainya tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Menganalisa pengukuran kode Kasami yang dilakukan pada kanal *real*.
2. Mengetahui banyak jumlah *user* yang bisa dilayani secara serentak dengan pengaruh interferensi yang masih dapat ditoleransi.

## 1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada pengerjaan tugas akhir ini dijabarkan dengan diagram alir yang diperlihatkan pada Gambar 1.1:



**Gambar 1. 1** Diagram Alir Metode Penelitian

## 1. Studi Literatur

Pada tahap ini akan dipelajari secara rinci hal – hal berikut :

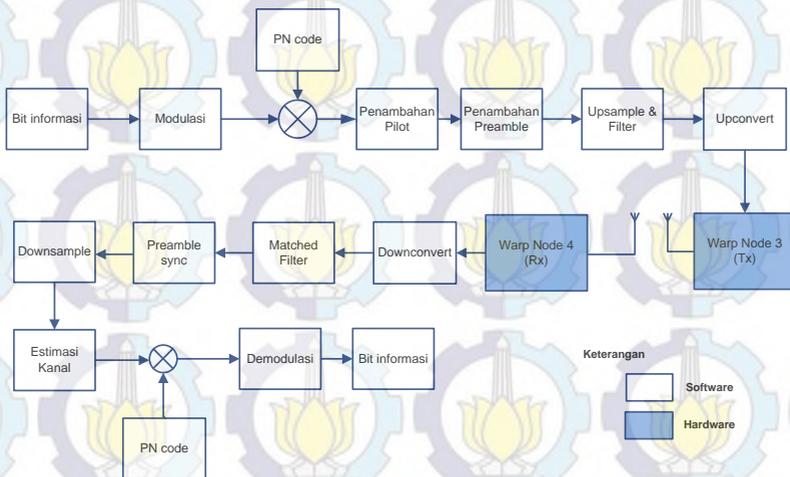
- Sesuai tema yang dijabarkan pada bagian ruang lingkup tugas akhir.
- Model dari sistem CDMA.
- Implementasi koding kode Kasami berbasis MATLAB.
- Referensi pemrograman modul WARP.
- Referensi WARPLabMetodologi.

## 2. Perumusan parameter simulasi dan pengukuran

Sebelum proses pengukuran bisa berjalan, parameter performansi, yaitu yang menunjukkan kualitas unjuk kerja sistem komunikasi, dirumuskan dan ditentukan metode pengukurannya. Pada tahapan ini, akan ditentukan misalnya, band frekuensi pengukuran, informasi yang akan dipancarkan, jumlah-jumlah bit yang akan ditransmisikan, kondisi frame yang dipancarkan, proses pengukuran kanal, Parameter yang diambil sebagai acuan performansi adalah *bit error rate* (BER).

## 3. Simulasi kode Kasami pada MATLAB

Proses simulasi ini bertujuan untuk menentukan parameter yang digunakan pada saat pengukuran. Selain itu juga untuk memastikan parameter yang digunakan sesuai dengan teori dasar tentang CDMA.



Gambar 1. 2 Blok Diagram Sistem Transmisi

#### **4. Implementasi pada modul WARP**

Proses implementasi yang akan diterapkan pada modul WARP namun dengan kondisi lingkungan indoor secara real. Proses implementasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak WARPLab versi 7.1.0.

#### **5. Pengukuran data**

Pada pengukuran data dilakukan dengan membuat variasi jumlah pengirim dengan jarak yang berbeda yaitu dengan jarak 3 dan 5 meter. Kemudian dilakukan pengukuran untuk mengetahui batas toleransi kode Kasami dalam melayani *user*. Tujuan akhirnya adalah menentukan seberapa baik untuk kerja yang diukur berdasarkan nilai BER dan Eb/No pada sistem.

#### **6. Proses analisa data dan pengambilan kesimpulan**

Analisa data dan pengambilan kesimpulan dilakukan setelah pengukuran data selesai.

#### **7. Dokumentasi penelitian**

Tahap akhir dengan melakukan dokumentasi penelitian yaitu pembuatan laporan tugas akhir dan penulisan jurnal ilmiah. Dimana pembuatan laporan tugas akhir dilakukan sesuai dengan pengerjaan tahapan – tahapan ini. Sedangkan jurnal ilmiah dilakukan setelah laporan tugas akhir selesai.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Proses penelitian yang tersusun dalam laporan tugas akhir dapat dijabarkan sebagai berikut:

- BAB 1, Bagian awal pada laporan tugas akhir akan membahas tentang latar belakang, tujuan dan permasalahan-permasalahan yang dihadapi dalam pengerjaan tugas akhir.
- BAB 2, Bagian ini membahas mengenai teori-teori terkait yang membantu dalam proses perumusan masalah sistem. Teori – teori tersebut juga digunakan sebagai acuan awal dalam penyelesaian permasalahan.
- BAB 3, Bagian ini membahas tentang perancangan dan implementasi sistem. Tahapan ini bertujuan untuk menjelaskan proses pembangkitan data, modulasi, proses *spreading*, dikirim melalui kanal *real* pada WARP, proses *dispsreading*, demodulasi, dan terakhir proses penerimaan data output.

- BAB 4, Bagian ini akan membahas mengenai sistematika pengukuran dan hasilnya. Pada bab tersebut juga dilakukan analisis awal terhadap data – data hasil pengukuran.
- BAB 5, Bagian ini akan membahas kesimpulan berdasarkan hasil-hasil analisa pada bab 4 sebelumnya.

### 1.7 Manfaat

Dalam Tugas Akhir ini diharapkan dapat mengetahui seberapa banyak jumlah *user* yang masih dapat dilayani secara simultan dengan pengaruh interferensi yang masih dapat ditoleransi dan mengetahui seberapa besar ketahanan terhadap *multi user interferensi* untuk *downlink* yang dapat diimplementasikan pada WARPLab.

## BAB 2 DASAR TEORI

Pada bab ini akan dijabarkan dasar teori yang menjadi acuan dalam pengerjaan penelitian. Pembahasan teori dalam bab 2 memiliki tujuan antara lain pemahaman mendasar tentang teknik *Spread spectrum*, *PN code* meliputi kode Kasami, kemudian pemahaman tentang parameter yang dipakai dalam kode *Pseudo Noise* (PN) yaitu autokorelasi dan korelasi silang, *Code Division Multiple Access* (CDMA), dan modulasi BPSK. Terakhir pemahaman tentang perangkat WARP.

### 2.1 *Spread Spectrum*

Dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan sistem komunikasi yang kebal terhadap masalah interferensi dan penyadapan, maka dikenalkan sistem komunikasi *spread spectrum*. Sistem komunikasi *spread spectrum* sebagai salah satu sistem komunikasi digital, memiliki beberapa kelebihan dibandingkan sistem komunikasi analog yaitu:

1. Mampu menekan interferensi.
2. Kemampuan *multiple access* secara CDMA.
3. Lebih kebal terhadap *jamming* (bersifat resistan).
4. Dapat dioperasikan pada level daya yang rendah.
5. Sulit untuk disadap sehingga kerahasiaan lebih terjamin.

*Spread spectrum* adalah metode pengiriman sinyal informasi dengan menggunakan kode penebar untuk menebarkan *spectrum* energi sinyal informasi dalam lebar pita yang jauh lebih besar dibanding lebar pita sinyal informasi. Sebuah sistem didefinisikan sebagai sistem *spread spectrum* harus memenuhi syarat-syarat [1] berikut:

1. Sinyalnya membutuhkan *bandwidth* yang besar untuk mengirimkan informasi.
2. *Spreading signal* atau disebut *code signal* merupakan data independen.

Pada *receiver*, proses *despreading* dilakukan dengan menyesuaikan *spread* sinyal yang diterima dengan replika sinkronisasi dari *spread* sinyal informasi. Ada beberapa teknik penyebaran sinyal informasi yang dapat digunakan untuk menghasilkan spektrum sinyal tersebar antara lain:

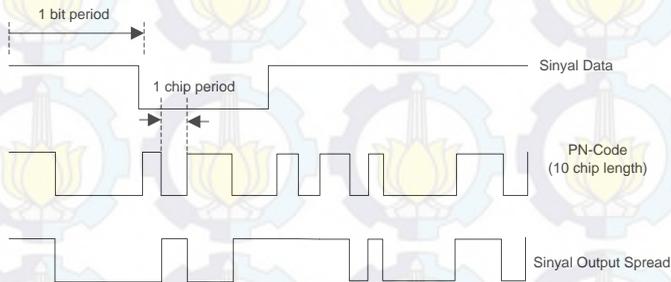
1. *Direct Sequence Spread spectrum (DS-SS)* dimana sinyal pembawa informasi dikalikan secara langsung dengan sinyal penyebar yang berkecepatan tinggi.
2. *Frequency Hopping Spread spectrum (FH-SS)* dimana frekuensi pembawa sinyal informasi berubah-ubah sesuai dengan deretan kode yang diberikan dan akan konstan selama periode tertentu yang disebut T (periode *chip*).
3. *Hybrid Modulation* yang merupakan gabungan dari dua atau lebih teknik modulasi di atas yaitu antara *direct sequence* dan *frequency hopping*.

Pada *spread spectrum* proses pelebaran pulsa dilakukan dengan cara mengalikan sinyal informasi dengan yang dinamakan dengan *Pseudo Noise (PN) Code*, kode ini bersifat acak yang dibangkitkan oleh *Pseudo Noise Generator (PRG)*. Proses pelebaran *bandwidth* ini terjadi pada sisi pengirim dan dikenal dengan nama *spreading*, sedangkan pada sisi penerima terjadi proses *despreading* yaitu penyempitan *bandwidth* agar dapat memperoleh sinyal informasi aslinya.

Teknik *spread spectrum* adalah suatu teknik yang memungkinkan sejumlah *user* menggunakan lebar pita frekuensi yang sama dan dalam waktu yang bersamaan. Tiap *user* dibedakan oleh kode unik (kode penyebar). Tetapi yang sering terjadi adalah adanya korelasi antar kode penyebar yang digunakan, sehingga setiap *user* akan mengalami interferensi antar *user*. Untuk meminimalisasi terjadinya dibutuhkan kode PN yang tepat untuk kinerja sistem agar dapat bekerja secara maksimal.

## 2.2 *Pseudo Noise (PN)*

Deretan *pseudo noise* sesuai dengan namanya, adalah deretan kode biner yang menunjukkan sifat-sifat *random* yang mirip dengan derau (*noise*). Deretan *pseudo noise* ini dihasilkan oleh PRG yang pada umumnya dibentuk dari susunan *resister* geser (*shift register*) dimana beberapa keluaran *register* geser tersebut diumpanbalikkan ke masukan *register* geser pertama melalui sebuah *parity* generator (berupa gerbang EXOR). Sehingga keluaran *register* geser terakhir menghasilkan deretan kode dengan panjang perioda deretan maksimal dan bersifat '*random*' (*pseudo random*). Hubungan umpan balik yang berbeda akan menghasilkan keluaran kode yang berbeda pula.



**Gambar 2. 1** Proses Perkalian dengan Kode PN

Pada gambar 2.1 menampilkan proses perkalian kode PN. Dimana sinyal paling atas adalah bit data. Bit data ini akan dikalikan dengan kode PN pada sinyal tengah dimana menghasilkan sinyal termodulasi dibagian bawah. Bila bit data bernilai 1 maka sinyal keluaran memiliki bentuk yang sama dengan kode PN, bila bit data bernilai 0 maka sinyal keluaran memiliki bentuk sinyal yang berlawanan dengan kode PN.

Pada CDMA, *pseudorandom sequence* sangat berperan dalam proses *spreading* dan *despreading* dari sinyal *baseband*. PN code mempunyai satuan *chips*, yang merupakan sinyal yang dapat memperlebar atau memperbesar laju informasi.

PN code tidak benar-benar bersifat acak, tetapi merupakan sinyal periodik yang diketahui baik oleh sistem pengirim maupun sistem penerima. Ada 3 kriteria dasar yang dapat diterapkan pada setiap sekuensi biner untuk memeriksa keacakan yang dibangkitkan [1], yaitu :

a. *Balance property.*

Deret PN mengandung kondisi *balance* (seimbang) untuk sekuensi biner yang dibutuhkan pada setiap periode sekuensi, dimana perbedaan antara banyaknya jumlah biner 0 dan biner 1 paling banyak adalah satu digit. Nilai dari satu dalam deret adalah  $2^{m-1}$  dan nilai dari 0 dalam sequence adalah  $2^{m-1} - 1$

b. *Run length property.*

Didefinisikan sebagai suatu sekuensi dari satu tipe tunggal pada bit – bit (*binary digit*). Dalam *m-sequence* dibangkitkan oleh *linear feedback shift register* (LFSR) dengan panjang *m* dimana  $(L+1)/2$  dari tiap *run*. *L* adalah  $2^m - 1$ . Tampilan digit alternatif dalam satu sekuensi menjalankan *run* yang baru. Panjang suatu *run* adalah jumlah digit pada *run* tersebut.

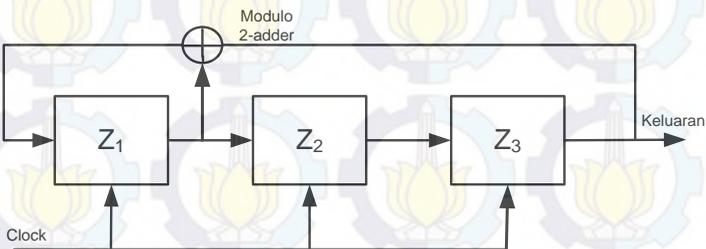
c. *Correlation property.*

Jika periode sekuensi dibandingkan untuk setiap tingkat, sangat baik bila jumlah yang diterima dibandingkan jumlah yang gagal tidak lebih dari 1.

Pemilihan kode PN digunakan memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap performa dan kapasitas sistem CDMA yaitu dengan sistem kapasitas dimana CDMA menggunakan domain frekuensi dan waktu yang sama untuk mengirimkan data secara bersamaan. Pada sistem tersebut digunakan kode PN sebagai pemisah atau membedakan antara dua *user* atau *sequence* yang berbeda. Pada saat yang sama seiring bertambahnya *user*, interferensi pasti terjadi. Oleh karena itu, kode PN tidak dapat dibuat sembarangan. Hal ini sangat dipengaruhi oleh tingkat ketahanan sistem terhadap interferensi yang terjadi. Ada beberapa kode PN yang biasanya digunakan pada sistem CDMA antara lain *M-sequence*, kode Kasami, kode Gold, dan kode Walsh. Kode PN ini mempunyai sifat non *orthogonal* dan *orthogonal*. Dimana kode pada penelitian adalah kode non *orthogonal* yakni kode Kasami.

### 2.3 Maximum Length Sequence (M-Sequence)

*M-sequence* adalah salah satu contoh kode PN yang digunakan pada sistem CDMA. *Linear feedback shift register* adalah pembangkit kode ini. Sinyal PN dapat dihasilkan menggunakan *Maximum Length Sequences (M-sequence)*, yang mengacu pada konsep *polynomial*. Gabungan *shift register* dan kumpulan sirkuit *logic* pada sistem *feedback*-nya, serta *clock* untuk mengatur periode pembangkitan *chip* pada deretan bit-bit sekuensi membentuk *M-sequence* [1].



Gambar 2. 2 Diagram *M-sequence* PN Generator

Gambar 2.2 menunjukkan hasil deretan PN dihasilkan oleh *Pseudo Random Generator* (PRG). PRG mempunyai beberapa bagian yakni sebuah *feedback shift register* mempunyai 3 tingkat *register* untuk menyimpan dan menggeser, sebuah modulo-2 *adder*, dan jalur *feedback* dari *adder* ke masukan *register*. Operasi *shift register* dikontrol oleh sekuensi pulsa *clock*. Pada setiap pulsa *clock*, isi dari setiap tingkat bergeser satu tingkat ke kanan. Selanjutnya isi dari tingkat 2 dan 3 ditambahkan dan hasilnya diumpun balikan ke 1.

Hasil deretan dari pergeseran register bergantung pada hubungan *feedback tap* dan kondisi inisiasi. Pada tiap N tingkat *feedback linear*, deret berulang setiap periode *clock* menurut persamaan 2.1.

$$N = 2^m - 1 \quad (2.1)$$

Dari persamaan 2.1 dimisalkan;

Initial [0 0 1]

$m = 3$

$N = 2^m - 1 = 7$

Dimana m adalah banyaknya *shift register* yang digunakan dan N adalah periodik *clock* pada PRG. Apabila *clock* telah mengalami 7 kali *clock* bit maka isi dari bit yang telah digeser dan akan di XOR dengan mengacu pada pola awal. Deretan kode PN diperoleh dari pengambilan dan isi dari *shift register* yaitu 3 untuk setiap *clock* yang mempunyai periode 7 sehingga diperoleh untuk satu deret bit yaitu 1 0 0 1 1 1 0.

Pada perancangan pembangkitan deret PN mengacu pada persamaan 2.2 daya spektrum sinyal *spread* :

$$s_{spread}(t) = \sqrt{\frac{2E_b}{T_b}} b(t)c(t)\cos(2\pi f_c t + \theta) \quad (2.2)$$

Dimana :

$b(t)$  : sekuensi data dengan durasi  $T_b$

$c(t)$  : jumlah chip dengan durasi  $T_c$

$f_c$  : frekuensi sinyal pembawa pada modulasi (Hz)

**Tabel 2. 1** Proses *Shift Register* dari 3 *Stage Register* [1]

| <i>Initial</i> | <i>Register</i> |                |                |
|----------------|-----------------|----------------|----------------|
|                | <i>Stage 1</i>  | <i>Stage 2</i> | <i>Stage 3</i> |
|                | <b>0</b>        | <b>0</b>       | <b>1</b>       |
| 1              | 1               | 0              | 0              |
| 2              | 1               | 1              | 0              |
| 3              | 1               | 1              | 1              |
| 4              | 0               | 1              | 1              |
| 5              | 1               | 0              | 1              |
| 6              | 0               | 1              | 0              |
| 7              | 0               | 0              | 1              |
| 8              | 1               | 0              | 0              |
| 9              | 1               | 1              | 0              |
| 10             | 1               | 1              | 1              |
| 11             | 0               | 1              | 1              |
| 12             | 1               | 0              | 1              |
| 13             | 0               | 1              | 0              |

Untuk tabel 2.1 penjelasannya sebagai berikut dimana isi *stage 1*, 2, dan 3 yakni bit-bit *initial*, output pertama adalah masukkan dari stage 3 kemudian diumpun balikkan ke stage 1 dengan di XOR kan ke stage 2 yang kemudian menjadi input stage 1. Stage 1 bergeser menuju stage 2 dan stage 2 juga mengalami pergeseran menuju stage 3. Sistem ini akan berulang sampai menemukan perulangan yang sama memenuhi persamaan 2.1.

## 2.4 Kode Kasami

Kode Kasami ditemukan oleh Tadao Kasami pada tahun 1966. Deret Kasami dapat diklasifikasi menjadi dua kelas yang berbeda yakni *small set* Kasami dan *large set*. Untuk mendapatkan deret Kasami dilakukan modulo 2. Untuk  $\text{mod}(m,4)=0$  maka deret yang dapat dibentuk adalah deret *small* Kasami dan saat  $\text{mod}(m,4)=2$  deret yang dapat dibentuk adalah deret *large* Kasami. dimana *shift register* ( $m$ ) berjumlah genap.

**Tabel 2. 2** Polinomial Untuk Pembangkitan Kode Kasami[2]

| Shift register (m) | Jumlah chip (N)<br>$N = 2^m - 1$ | Polinomial  | Set          |
|--------------------|----------------------------------|-------------|--------------|
| 4                  | 15                               | [4 1 0]     | <i>Small</i> |
| 6                  | 63                               | [6 1 0]     | <i>Large</i> |
| 8                  | 255                              | [8 4 3 2 0] | <i>Small</i> |
| 10                 | 1023                             | [10 3 0]    | <i>Large</i> |
| 12                 | 4095                             | [12 6 4 10] | <i>Small</i> |

Fungsi kode Kasami mempunyai nilai korelasi *sequence* yaitu  $\{-1/N, -t(m)/N, (t(m)-2)/N\}$ , dimana :

Dimana

$$t(m) = 1 + 2^{(m+1)/2}, m \text{ adalah genap} \quad (2.3)$$

$$t(m) = (1 + 2^{(m+2)/2}); m \text{ adalah ganjil} \quad (2.4)$$

Sebagai contoh, jika  $m = 4$  maka  $t(4) = 2^{(4+2)/2} + 1 = 9$ , sehingga jika menggunakan fungsi korelasi silang kode Kasami didapat nilai  $\{-1, -9, 7\}$ .

*Small set* pada Kasami *sequence* adalah deretan yang mempunyai ukuran kelas  $2^{m/2}$  untuk  $m$  genap. Gambar 2.2 akan menunjukkan proses pembangkitan *small* Kasami pada  $m = 4$ .



**Gambar 2. 3** Pembangkitan Kode *Small* Kasami untuk  $m=4$

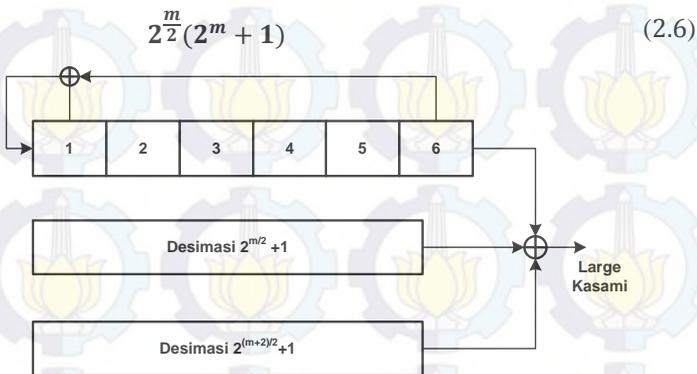
Pada gambar 2.3 dimisalkan  $a$  adalah  $m$  *sequence* dengan periode  $N = 2^m - 1$  dibangkitkan dengan *polynomial generator* dengan *shift register* genap.

Mencari himpunan b adalah dengan desimasi himpunan a yaitu  $q = 2^{m/2} + 1$  dimana panjang deret mengalami perulangan sebanyak q dan panjang sama dengan himpunan a. Proses pembangkitan kode Kasami dilakukan dengan melakukan XOR antara himpunan a dan himpunan b yang mana isi himpunan b setiap periode mengalami pergeseran satu tap ke kiri yang ditunjukkan pada persamaan 2.5:

$$K_s = \begin{cases} a \\ a \oplus T^2 b \end{cases} \quad (2.5)$$

Pada persamaan 2.5 mempunyai nilai dari *logical addition* dari a dan menggeser dari 0 sampai dengan  $2^{m/2} - 2$ . Dimana nilai s tersebut menjadi banyaknya pergeseran pada hasil XOR. Sebagai contoh, kode *small* Kasami dengan  $m = 4$  mengacu pada deret *polynomial* yaitu [4 1 0]. Himpunan  $a = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_{15}]$  terbentuk kemudian himpunan b dibangkitkan dari pengambilan bit pada  $2^{m/2} + 1$  yaitu pada  $2^{(4/2)} + 1 = 5$  sehingga himpunan b menghasilkan deretan kode b yang baru yakni  $b = [a_5, a_{10}, a_{15}]$  yang akan berulang setiap dengan periode  $2^{m/2} - 2$ . Dari  $m = 4$  kita dapat membangkitkan sebanyak 4 macam deretan kode Kasami yang dapat digunakan sesuai dengan persamaan 2.3.

Pada pembangkitan *large* Kasami mempunyai ukuran kelas seperti persamaan 2.6. Pada *large* Kasami dibentuk dari tiga deretan. Tiga deretan yaitu m *sequence*, hasil desimasi deret  $a^{2^{m/2}+1}$ , dan desimasi  $2^{(m+2)/2} + 1$ . Ketiga deretan ini akan dilakukan operasi XOR seperti pada gambar 2.4.



**Gambar 2. 4** Pembangkitan Kode *Large* Kasami untuk  $m = 6$

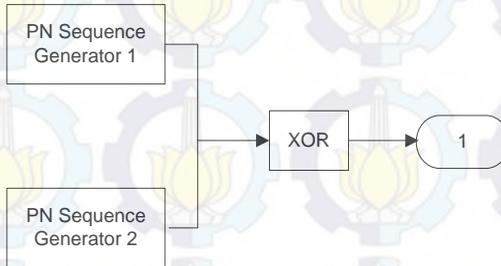
Sebagai contoh, untuk *large* Kasami dengan  $m=6$  pada gambar 2.4 . Hasil dari *polinomial* ini adalah satu buah *M-sequence* yang selanjutnya akan digunakan untuk membangkitkan kode *large* Kasami. Untuk satu buah *M-sequence* dapat misalkan himpunan  $a = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_N]$  dengan  $N = 2^m - 1$ , himpunan  $b$  hasil desimasi bit ke  $2^{m/2} + 1$  yang menghasilkan himpunan  $b$  sepanjang  $N$ , dan himpunan  $c$  terbentuk dari hasil desimasi bit pada  $2^{(m+2)/2} + 1 = [c_1, c_2, c_3, \dots, c_N]$ . Ketiga deretan ini akan dilakukan operasi XOR seperti persamaan 2.7.

$$K_L = \begin{cases} a \\ b \\ a \oplus T^1 b \\ a \oplus T^2 c \\ b \oplus T^2 c \\ a \oplus T^1 b \oplus T^2 c \end{cases} \quad \begin{array}{l} \text{Dimana } 1 = 0, \dots, 2^{n-2} \\ \text{Dimana } 2 = 0, \dots, 2^{n/2-2} \end{array} \quad (2.7)$$

Sebagai contoh pada pembangkitan *large* Kasami diambil  $m = 6$ . Himpunan  $a$  terdiri dari *polinomial*  $[6 \ 1]$  dengan panjang deret pada persamaan 2.1 yaitu  $a = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_{63}]$ . Himpunan  $b$  dibentuk dari desimasi bit ke  $2^{m/2} + 1$  dari himpunan  $a$  yaitu  $2^{6/2} + 1 = 9$  sehingga isi dari himpunan  $b = [a_9, a_{18}, a_{27}, \dots, a_{63}]$ . Isi himpunan  $b$  akan mengalami perulangan sebanyak  $2^{m/2} - 1$ . Himpunan  $c$  dibentuk dari desimasi bit ke  $2^{m/2 + 1} + 1$  dari himpunan  $a$  yaitu  $2^{6/2 + 1} + 1 = 17 [a_{17}, a_{34}, a_{51}, \dots, a_{63}]$  yaitu dan terus berulang sampai menghasilkan himpunan  $c$  sepanjang  $2^m - 1$ . Sehingga dari hasil pengolahan himpunan  $a, b$ , dan  $c$  dapat digunakan untuk menentukan banyaknya kode *large* Kasami yang dapat dibangkitkan pada persamaan 2.2 yaitu  $N = 2^{m/2}(2^m + 1)$  yaitu  $N$  untuk  $m = 6$  yaitu  $2^{6/2}(2^6 + 1) = 520$ .

## 2.5 Kode Gold

Kode Gold ditemukan oleh Robert Gold tahun 1967. Kode Gold dibangun dari deretan *preferred pair M-sequence* dengan perkalian *elemen by elemen*.



**Gambar 2. 5** Gold Sequence Generator

Untuk jumlah *register* dapat memilih *preferred pairs* yang digunakan pada tabel 2.3 karena terdapat lebih dari dua *preferred pairs*. Hasil dari *preferred pairs* ini adalah dua buah *M-sequence* yang selanjutnya akan digunakan untuk membangkitkan kode Gold. Untuk dua buah *M-sequence* kita misalkan himpunan  $a = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_N]$  dan himpunan  $b = [b_1, b_2, b_3, \dots, b_N]$ . Proses pembangkitan kode Gold dilakukan dengan melakukan XOR antara himpunan  $a$  dan himpunan  $b$  yang mana himpunan  $b$  setiap periodenya, bit pertama dari himpunan  $b$  mengalami pergeseran ke kiri (berpindah ke belakang). sesuai dengan persamaan berikut ini :

$$G(a, b) = \{a \oplus b, a \oplus Tb, a \oplus T^2b, a \oplus T^3b, \dots, a \oplus T^{N-1}b\} \quad (2.8)$$

Dimana:

$T$  adalah operasi pergeseran ke kiri setiap bit himpunan  $b$ .

$\oplus$  adalah XOR atau penambahan modulo 2

$G(a,b)$  adalah himpunan yang dihasilkan dari proses XOR himpunan  $a$  dan  $b$ .

**Tabel 2. 3** Preferred Pairs Untuk Pembangkitan Kode Gold

| $m$ | $L = 2^m - 1$ | Preferred Pairs                            |
|-----|---------------|--|
| 5   | 31            | [5,3] [5,4,3,2]                            |
| 6   | 63            | [6,1] [6,5,2,1]                            |
| 7   | 127           | [7,3] [7,3,2,1]<br>[7,3,2,1] [7,5,4,3,2,1] |
| 8   | 255           | [8,7,6,5,2,1] [8,7,6,1]                    |
| 9   | 511           | [9,4] [9,6,4,3]<br>[9,6,4,3] [9,8,4,1]     |

## 2.6 Walsh Hadamard

Selain kode seperti kode *M-sequence*, kode Kasami, kode Gold ada kode lain yang digunakan pada sistem CDMA yaitu kode Walsh. Kode Walsh tidak mempunyai sifat – sifat seperti pada kode non orthogonal sebelumnya yakni mengenai korelasi silang. Pada sistem IS - 95 menggunakan kode - kode Walsh 64 yang memungkinkan tersedianya 64 kanal dari base statio. Namun hanya 54 pengguna pada faktanya dikarenakan beberapa kode dimanfaatkan untuk pilot dan synch channels pada saat yang sama. Pada CDMA menggunakan 256 dari kode – kode Walsh. Kode Walsh dibentuk oleh matriks dan transformasi Haddamard. Terdapat matriks pertama Hadamard empat. Panjang kode adalah sama dengan ukuran matriks. Setiap baris merupakan sebuah kode dengan ukuran N. matriks pertama adalah dua kode 00,01. Dan matriks kedua berbentuk kode 0000, 0101, 0110, dan seterusnya.

Berbeda dengan kode sebelumnya kode Walsh adalah kode yang digunakan dalam CDMA .

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

Pada umumnya setiap level matriks Hadamard yang lebih tinggi dibangkitkan dari sebelumnya melalui transformasi Hadamard.

$$H_{N+1} = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & \overline{H_N} \end{bmatrix} \quad (2.11)$$

Dimana  $\overline{H_N}$  adalah merupakan matriks inersdari  $H_N$

Pemakaian kode Walsh pada CDMA yakni untuk memberikan ortogonalitas diantara semua user dalam sebuah sel. Dimana kode Walsh mempunyai nilai korelasi silang antara kode bernilai 0.

### 2.3.1 Parameter kode *Pseudo Noise (PN)*

Untuk merencanakan suatu kode PN yang digunakan pada aplikasi sistem *spread spectrum* maka harus diperhatikan parameter – parameter tersebut, antara lain:

#### A. Fungsi Autokorelasi (*Auto Correlation*)

Fungsi autokorelasi adalah fungsi yang menunjukkan ukuran kesamaan antara sebuah sinyal dan tiruan phasenya yang digeser. Persamaan 2.12 adalah persamaan fungsi autokorelasi.

$$R_c(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T c(t) \cdot c(t + \tau) dt \quad (2.12)$$

Dimana

$R_c(\tau)$  adalah fungsi dari autokorelasi

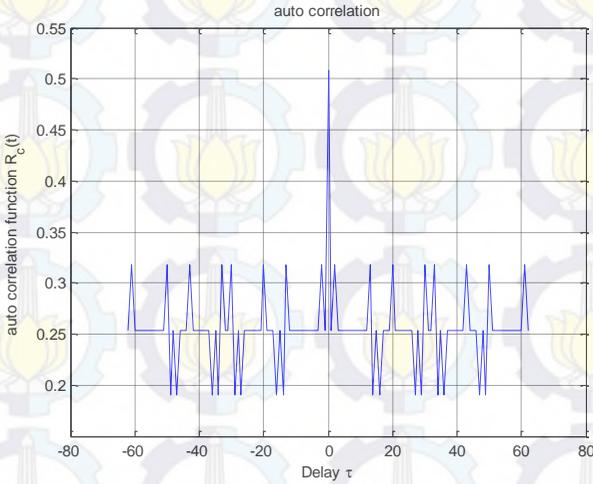
$c(t)$  adalah fungsi sebagai sinyal yang digunakan untuk menentukan ukuran kesamaan antara deret yang sama.

$c(t + \tau)$  adalah pergeseran setiap sinyal yang phasenya digeser.

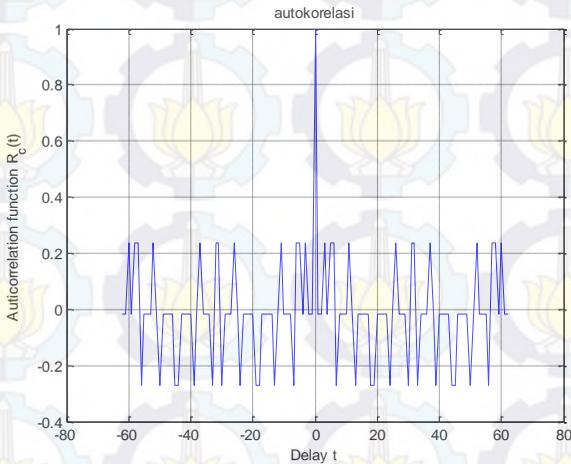
Parameter ini sangat penting didalam pemilihan deretan kode karena dapat memperkecil kemungkinan kesalahan sinkronisasi pada penerima. Autokorelasi dalam *spread spectrum* menyatakan tingkat kesesuaian suatu urutan kode sinyal acak semu dengan replika kode itu sendiri yang berbeda *phase*. Dengan demikian akan diperoleh selisih antara jumlah *chip* yang sesuai (*agreement*) dengan jumlah *chip* yang tidak sesuai (*disagreement*) untuk setiap pergeseran fasa antara kedua kode tersebut.

Pada kode Kasami dan kode Gold mempunyai nilai autokorelasi yang sama yaitu 0.2380, -0.2698, dan -0.01587.

Dengan nilai autokorelasi yang sama pada kode Kasami dan kode Gold namun kode ini mempunyai bentuk sinyal yang berbeda seperti digambarkan pada gambar dibawah ini:

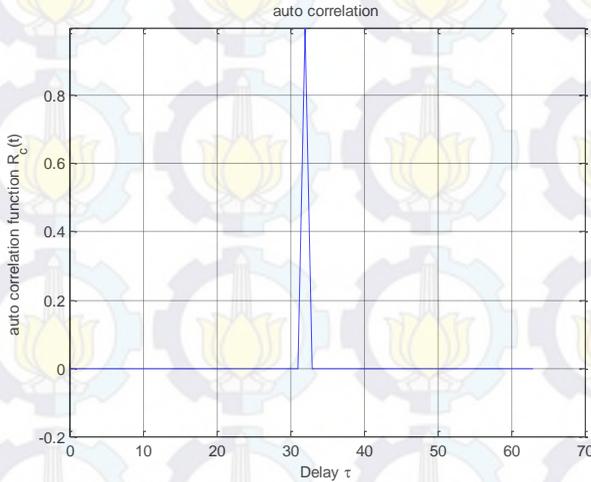


**Gambar 2. 6** Auto Korelasi kode Gold



**Gambar 2. 7** Auto Korelasi kode Kasami

Berbeda dengan kode non *orthogonal* kode Walsh Hadamard mempunyai nilai auto korelasi sebagai berikut



**Gambar 2. 8** Auto Korelasi kode Walsh Hadamard

**B. Fungsi Korelasi Silang**

Fungsi korelasi silang adalah fungsi yang menunjukkan ukuran kesamaan antara dua buah kode yang berbeda. Korelasi silang dapat disebut hubungan antara dua *sequence*. Korelasi silang yang tinggi menunjukkan bahwa adanya kesamaan antara kedua *sequence*. Pada persamaan 2.13 ditunjukkan untuk mendapatkan fungsi korelasi silang.

$$R_{cc}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T c_i(t) \cdot c_j(t + \tau) dt \tag{2.13}$$

Dimana

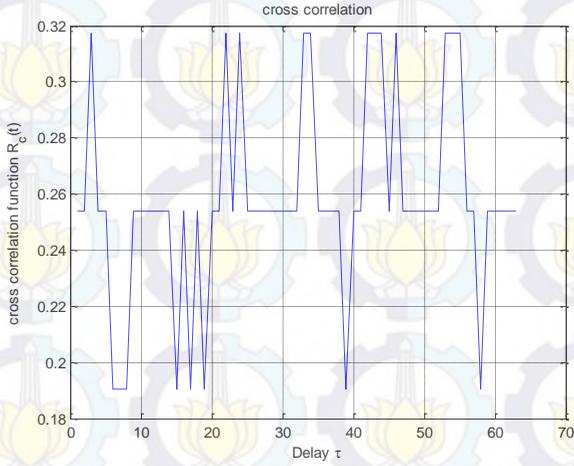
$R_{cc}(\tau)$  adalah fungsi dari korelasi silang

$c_i(t)$  adalah fungsi sebagai sinyal yang digunakan untuk menentukan ukuran kesamaan antara deret yang berbeda misalnya deret 2.

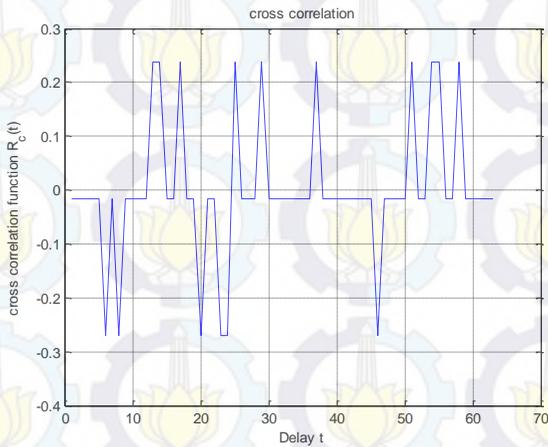
$c_j(t + \tau)$  adalah pergeseran setiap sinyal yang phasanya digeser misalnya deret 3.

Untuk mendapatkan kode PN yang bagus maka harus didapatkan kode yang memiliki nilai korelasi silang yang rendah. Hal ini untuk menghindari interferensi antar kode yang digunakan pada sistem CDMA. Dengan nilai korelasi silang yang sama pada kode Kasami dan

kode Gold namun kode ini mempunyai bentuk sinyal yang berbeda seperti digambarkan pada gambar dibawah ini:

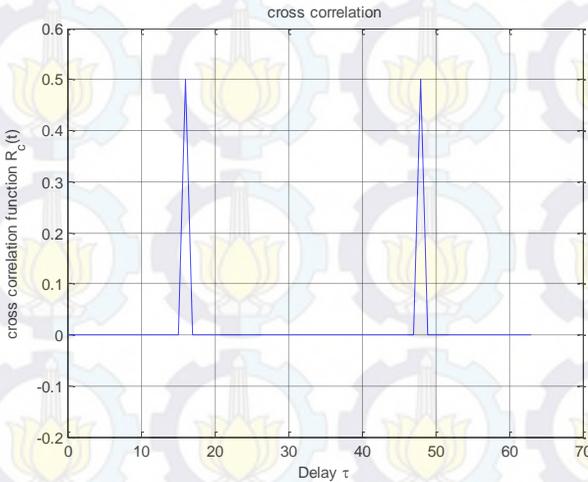


**Gambar 2. 9** Korelasi Silang kode Gold



**Gambar 2. 10** Korelasi Silang kode Kasami

Berbeda dengan kode non *orthogonal* kode Walsh Hadamard mempunyai nilai korelasi silang sebagai berikut



**Gambar 2. 11** Korelasi Silang kode Walsh Hadamard

### 2.7 Phase Shift Keying (PSK)

Salah satu jenis modulasi digital yang memungkinkan untuk memilih besarnya nilai efisiensi bandwidtheadalah modulasi PSK (Phase Shift Keying). Pada modulasi jenis ini, sinyal pemodulasi yang berupa sinyal digital digunakan untuk memodulasi fase sinyal pembawa sinusoidal. Jika sinyal informasi mempunyai logika “1” maka sistem akan mentransmisikan sinyal pembawa dengan suatu fase tertentu misalnya fase  $0^0$ , sedangkan jika sinyal informasi mempunyai logika “0” maka sistem akan mentransmisikan sinyal pembawa dengan suatu fase yang lain, misalnya fase  $180^0$ . Dengan demikian, maka sinyal PSK yang ditransmisikan adalah sinyal sinusoidal dengan amplitude konstan dengan fase yang sesuai dengan arus data pada sinyal informasi. Jenis modulasi PSK seperti ini disebut 2 – PSK atau Binary Phase Shift Keying (BPSK).

Modulasi PSK juga berkembang menjadi beberapa bentuk atau varian, yaitu DPSK (Differential PSK), DEPSK (Differential Encoded PSK), dan M-aryPSK [1]. Pada M-ary PSK, ada sejumlah M sandi,

setiap sandi tersusun atas  $n$  bit ( $M = 2^n$ ) dan dinyatakan dengan sebuah fase tertentu, sehingga ada sejumlah  $M$  fase yang berbeda yang digunakan. Jenis-jenis  $M$ -aryPSK yang berkembang antara lain adalah:

#### 1. QPSK (Quadrature PSK)

Pada QPSK digunakan penyandian dengan 2 bit sehingga  $n = 2$  dan terdapat  $M = 4$  sandi yang berbeda, yaitu 00, 01, 10, dan 11. Dengan demikian ada empat sandi yang harus dinyatakan dengan empat fase yang berbeda. Sebagai contoh dapat dialokasikan fase untuk setiap sandi sebagai berikut.

11 dinyatakan dengan fase  $45^\circ$

10 dinyatakan dengan fase  $135^\circ$

00 dinyatakan dengan fase  $225^\circ$

01 dinyatakan dengan fase  $315^\circ$

Setiap kali level atau tingkat PSK meningkat (BPSK, QPSK, 8 – PSK, dan seterusnya), maka efisiensi bandwidth juga meningkat. Semakin besar efisiensi bandwidth maka semakin sempit bandwidth yang dibutuhkan untuk transmisi data. Misalnya pada contoh di atas, jika digunakan modulasi 8–PSK maka untuk transmisi data 140 Mb/s hanya dibutuhkan bandwidth selebar  $140/3 \text{ MHz} = 46.67 \text{ MHz}$ . Ini berarti hanya sepertiga bandwidth yang dibutuhkan jika digunakan modulasi BPSK, dengan kata lain penggunaan bandwidth menjadi 3 kali lipat lebih efisien.

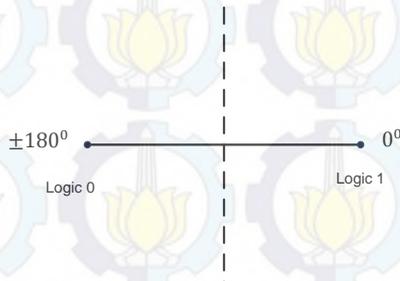
Modulasi merupakan proses *switching* antara sinyal yang berbeda untuk mentransmisikan informasi yang sudah dikodekan. Secara umum gelombang pembawa modulasi dapat dinyatakan oleh persamaan berikut [2] :

$$S(t) = A \sin(2\pi ft + \theta) \quad (2.14)$$

Ada beberapa macam jenis modulasi pada transmisi digital yaitu ASK, FSK, PSK. Pada tugas akhir ini modulasi yang digunakan adalah modulasi BPSK. Modulasi BPSK merupakan skema modulasi digital yang dapat digunakan untuk gelombang dengan frekuensi tinggi. Modulasi BPSK banyak dianggap sebagai bentuk efisiensi dari proses modulasi data sebab modulasi BPSK mempunyai probabilitas error yang kecil pada setiap level sinyal yang diterima.

Modulasi BPSK dapat dipresentasikan oleh suatu konstelasi pada sistem koordinat dua dimensi. Sebagai contoh bisa dilihat pada gambar 2.12. Konstelasi BPSK, terdapat dua titik yang mewakili digit biner 1

dan 0. Untuk biner 1 mempunyai sudut phase  $0^{\circ}$ , sedangkan biner 0 mempunyai sudut phase  $180^{\circ}$  diagram konstelasi dari BPSK ditunjukkan gambar 2.12.



**Gambar 2. 12** Contoh Diagram Konstelasi Modulasi BPSK

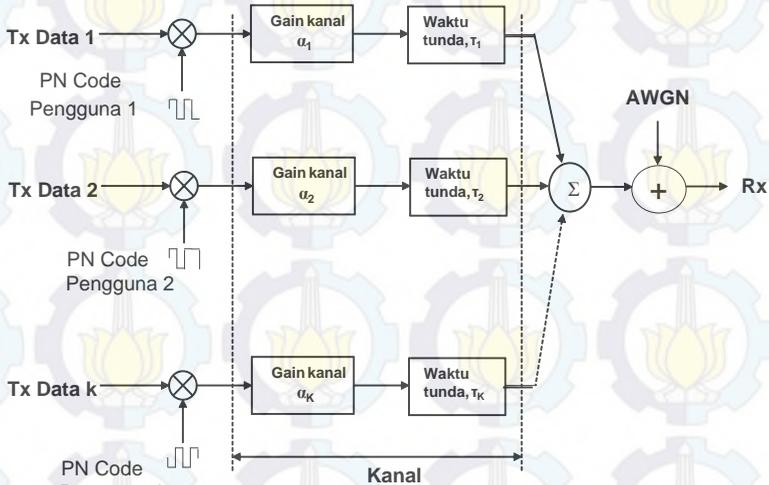
Pada gambar 2.12 terdapat dua titik di mana untuk satu titik mewakili satu (1) bit data yaitu *logic* (0) dan *logic* (1). Untuk bit (0) mempunyai sudut *phase*  $180^{\circ}$  sedangkan bit (1) mempunyai sudut *phase*  $0^{\circ}$ . BPSK (juga biasa disebut PRK, *Phase Reversal Keying*, atau 2PSK) merupakan bentuk paling sederhana dari *phase shift keying* (PSK). BPSK menggunakan dua *phase* dimana dipisahkan sebesar  $180^{\circ}$  sehingga disebut 2-PSK. Modulasi ini adalah modulasi yang paling tangguh dari semua varian PSK ketika menghadapi noise atau distorsi level tinggi yang menyebabkan demodulator menghasilkan keputusan yang salah. BPSK hanya dapat memodulasi 1 bit/symbol dimana kurang cocok digunakan pada aplikasi dengan data *rate* yang tinggi ketika *bandwidth* dibatasi.

## 2.8 Code Division Multiple Access (CDMA)

*Multiple Access* (akses jamak) digunakan untuk memungkinkan banyak pengguna menggunakan secara bersama – sama dalam sebuah spectrum kanal yang tersedia. Pemakaian spektrum kanal secara bersama dapat menaikkan kapasitas sistem. Pada sistem komunikasi nirkabel dibutuhkan kemampuan agar pengguna dapat mengirimkan informasi secara bersama ke *base station* sambil menerima informasi dari *base station*.

Salah satu kemampuan akses jamak dikenal dengan *Frequency Division Multiple Access* (FDMA). FDMA adalah sistem seluler generasi pertama menggunakan teknologi akses jamak. Sistem *Advance Mobile Phone System* dimana satu pengguna menempati satu kanal frekuensi tertentu. Sistem akses jamak FDMA bekerja untuk banyak *user*. Kemampuan kedua pada akses jamak adalah *Time Division Multiple Access* (TDMA). Sistem TDMA membagi spektrum radio menjadi slot-slot waktu, dan dalam setiap slot hanya diperuntukkan bagi satu pengguna untuk mengirim dan menerima informasi.

Umumnya sistem TDMA memerlukan *adaptive equalization* karena laju pengiriman data umumnya sangat tinggi. Pada TDMA, *guard time* harus diminimalkan. Jika sinyal yang dipancarkan berada di tepi sebuah slot waktu ditekan berfungsi sebagai memperpendek *guard time*, spektrum pengiriman akan bertambah besar dan menyebabkan interferensi ke kanal kanal yang didekatnya. *High synchronization overhead* dibutuhkan oleh sistem TDMA karena pola pengiriman yang bersifat *burst* (semburat). Transmisi pada sistem TDMA berada dalam slot-slot waktu, sehingga penerima harus disinkronkan dengan setiap data burst. Slot – slot *guard time* diperlukan untuk memisahkan pengguna – pengguna sehingga pada sistem TDMA mempunyai *overhead* frekuensi yang lebih besar dibanding sistem FDMA. Dengan sistem *Code Division Multiple Access* (CDMA) ini, maka setiap kanal tidak lagi dipisahkan oleh frekuensi yang berbeda (FDMA) maupun waktu yang berbeda (TDMA), melainkan dengan pembedaan kode acak tersebut. Sehingga kanal pada sistem CDMA dapat bekerja dengan frekuensi yang sama. CDMA adalah metode akses jamak yang membagi kanal tidak berdasarkan waktu dan frekuensi. CDMA menggunakan kode khusus pada tiap kanal sebagai pembeda antara tiap *user*. Tidak seperti TDMA yang membutuhkan *adaptive equalization* untuk mengatasi gangguan spectrum sinyal, dan tidak membutuhkan *guard time* untuk melihat rentang waktu dan penjaga interferensi antar kanal. Kelebihan yang lain yakni CDMA tidak membutuhkan alokasi dan pengelolaan frekuensi dan memiliki proteksi dari proses penyadapan karena CDMA menggunakan kode PN yang dalam penelitian ini digunakan kode Kasami. Kode CDMA ini yang akan digunakan sebagai kapasitas jumlah user yang dapat dilayani oleh sistem. Pada gambar 2.10 ditampilkan sistem CDMA dengan  $k$  sebagai banyaknya *user*.



**Gambar 2. 13** Sistem CDMA dengan  $K_{\text{user}}$

Pada pemancar data akan dikirim dalam kode yang berbeda antar setiap *user*. Memasuki kanal sinyal akan dikuatkan dan akan mengalami waktu tunda.

Setelah proses tersebut selesai semua data dari pengguna akan disatukan atau digabung dan kemudian dipisahkan melalui proses *spread* yaitu pengalihan kode PN dengan sinyal *spread* untuk mendapatkan data asli. Sinyal baseband kompleks yang diterima dinyatakan seperti persamaan 2.15.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K \alpha_k s_k(t) + n(t) \quad (2.15)$$

Dengan  $\{\alpha_k\}$  menyatakan rugi-rugi lintasan dari pengguna ke  $k$ . Setiap sinyal yang dikirimkan merupakan sinyal *spread spectrum* seperti,

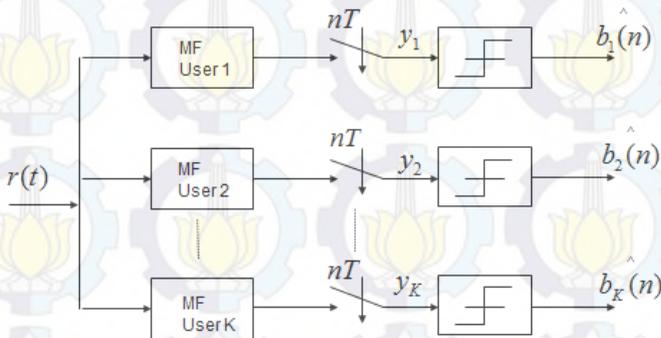
$$s_k(t) = b_k(t) \sqrt{E_b C_k(t)} \quad (2.16)$$

Dengan  $b_k$  dan  $c_k$  masing-masing menyatakan deretan bit data dan deretan PN code dari pengguna ke  $k$ . Misal untuk 4 pengguna, maka sisnyal CDMA dinyatakan seperti berikut,

$$r(t) = \sum_{k=1}^4 \alpha_k s_k(t) + n(t) \quad (2.17)$$

$$= A_1 b_1 s_1(t) + A_2 b_2 s_2(t) + A_3 b_3 s_3(t) + A_4 b_4 s_4(t) + n(t)$$

Dengan  $\{A_k\}$  menyatakan amplitudo sinyal pengguna ke  $k$ . Pada sisi penerima (konvensional), sinyal  $r(t)$  diproses oleh sebuah *Matched Filter Bank* yang berisi kumpulan kode PN, seperti ditunjukkan pada gambar 2.14 berikut.



**Gambar 2. 14** Penerima sistem CDMA

Setelah sinyal CDMA diterima dilewatkan pada MF yang memiliki 4 kode PN dipenerima maka;

$$\begin{aligned} y_1 &= A_1 b_1 s_1(t) * s_1(t) + A_2 b_2 s_2(t) * s_1(t) + A_3 b_3 s_3(t) * s_1(t) \\ &\quad + A_4 b_4 s_4(t) * s_1(t) + \sigma n(t) * s_1(t) \\ &= A_1 b_1 + A_2 b_2 \rho_{12} + A_3 b_3 \rho_{13} + A_4 b_4 \rho_{14} + \sigma n(t) * s_1(t) \\ y_2 &= A_1 b_1 s_1(t) * s_2(t) + A_2 b_2 s_2(t) * s_2(t) + A_3 b_3 s_3(t) * s_2(t) \\ &\quad + A_4 b_4 s_4(t) * s_2(t) + \sigma n(t) * s_2(t) \\ &= A_1 b_1 \rho_{21} + A_2 b_2 + A_3 b_3 \rho_{23} + A_4 b_4 \rho_{24} + \sigma n(t) * s_2(t) \\ &\quad \vdots \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \vdots \\
 y_4 &= A_1 b_1 s_1(t) * s_4(t) + A_2 b_2 s_2(t) * s_4(t) + A_3 b_3 s_3(t) * s_4(t) \\
 & \quad + A_4 b_4 s_4(t) * s_4(t) + \sigma n(t) * s_4(t) \\
 &= A_1 b_1 \rho_{41} + A_2 b_2 \rho_{42} + A_3 b_3 \rho_{43} + A_4 b_4 + \sigma n(t) * s_4(t)
 \end{aligned}$$

Atau dapat dituliskan seperti persamaan yakni

$$y_1 = A_1 b_1 + A_2 b_2 \rho_{12} + A_3 b_3 \rho_{13} + A_4 b_4 \rho_{14} \quad (2.18)$$

$$y_2 = A_1 b_1 \rho_{21} + A_2 b_2 + A_3 b_3 \rho_{23} + A_4 b_4 \rho_{24} \quad (2.19)$$

$$y_3 = A_1 b_1 \rho_{31} + A_2 b_2 \rho_{32} + A_3 b_3 + A_4 b_4 \rho_{34} \quad (2.20)$$

$$y_4 = A_1 b_1 \rho_{41} + A_2 b_2 \rho_{42} + A_3 b_3 \rho_{43} + A_4 b_4 \quad (2.21)$$

Pada persamaan 2.21 terdapat lingkaran dimana pada persamaan tersebut yang menyebabkan adanya *Multiple User Interference* (MUI).

## 2.9 Software Defined Radio

*Software define radio* (SDR) adalah perangkat digital berupa pemancar atau radio yang menggunakan teknologi yang dapat mengubah parameter frekuensi pembawa, daya output atau radio frekuensi, dan jenis modulasi dengan menggunakan perangkat lunak. SDR mampu melakukan pengiriman dan penerimaan informasi *baseband* pada frekuensi radio dengan pemrograman. Dalam memogram *Digital Signal Processor* (DSP) dan *Field Programmable Gate Array* (FPGA) dibutuhkan fungsi untuk melakukan pemrosesan data dimana SDR memungkinkan fleksibilitas tinggi dan *up to date* karena dapat di *upgrade* dengan menggunakan *software*.

## 2.10 Wireless Open-Access Research Platform (WARP) dan WARPLab

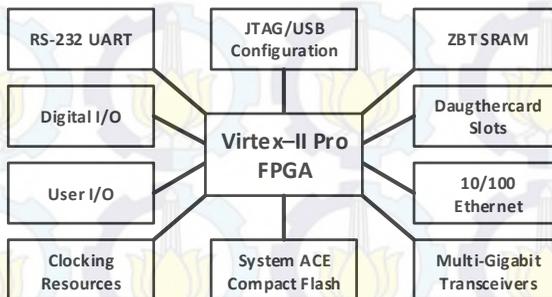
*Wireless Open-Access Research Platform* (WARP) salah satu perangkat radio yang bisa diprogram untuk membuat *prototype* jaringan wireless. pengembangan *platform* WARP yang dipelopori oleh prof. Ashu Sabharwal pada tahun 2006 di universitas Rice, Amerika bertujuan untuk dapat menggambarkan pada level tinggi dalam penelitian *wireless* melalui syarat salah satunya adalah *platform* dapat diimplementasikan untuk algoritma wireless yang lebih kompleks[4].

Pada dasarnya, WARP merupakan salah satu bentuk *Software Defined Radio* (SDR) sebagai modul penelitian tentang sistem komunikasi nirkabel. WARP ini juga merupakan sebuah *Field Programmable Gate Array* (FPGA) atau modul *Digital Signal Processing* (DSP) yang terhubung dengan modul radio.

*Platform* ini memiliki banyak keunggulan yaitu dapat menintegrasikan sumber daya pengolahan berbasis FPGA antar *interface* radio nyata. *Platform* ini didukung dengan modul khusus yang memudahkan pengguna dari berbagai pengolahan *hardware* dan sumber daya *peripheral*. *Platform* ini juga dapat mengimplementasikan *real time* dan *physical layer* dan *MAC layer*.

### 2.10.1 Perangkat Keras pada WARP

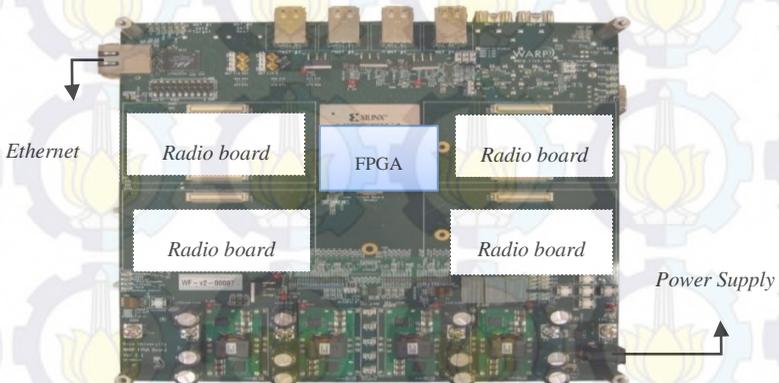
WARP mempunyai komponen utama perangkat keras yakni *FPGA board*, *radio board* dan *clock board*. *FPGA board* terdiri dari *FPGA chips*, *4Mb onboard memory* dan memiliki *peripheral I/O* yaitu *multi gigabit transceiver*, *USB port*, *JTAG header*, *ethernet port*, *daughtercard connectors*, *compact flash slot*. Arsitektur perangkat keras WARP dapat dilihat pada gambar 2.12.



Gambar 2. 15 Arsitektur Perangkat Keras WARP [5]

#### 2.7.1.1 FPGA Board

*FPGA Board* merupakan inti pemrosesan SDR yang dirancang menggunakan *FPGA Xilinx Virtex-4 XC4VF100FFG1517-11C*. Dimana terdapat empat slot untuk *daughtercard* yang dipasang beberapa perangkat pendukung seperti *analog board*, *video board*, *radio board* serta *user I/O board* dilengkapi dengan tampilan LCD. Ke empat slot untuk *daughtercard* ditampilkan pada gambar 2.13.



**Gambar 2. 16** Modul WARP [8]

### 2.7.1.2 Clock Board

*Clock board* berfungsi sebagai sumber *logic clock* ADC/DAC dan sumber *radio clock* untuk *upconversion/downconversion* pada *radio board*. *Clock board* mempunyai hasil *logic clock* pada frekuensi 40 MHz dan *radio clock* pada frekuensi 20 MHz. Bentuk *radio board* dapat dilihat pada gambar 2.4



**Gambar 2. 17** Radio Board [8]

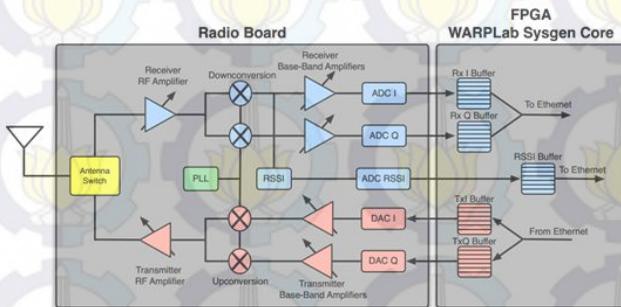
### 2.10.2 WARP Board

Proses implementasi sistem komunikasi pada WARP dilakukan pada modul WARP sebagai FPGA dan modul radio sebagai *interface* antara sistem komunikasi dengan pengolahan sinyal digital.

Terdapat 2 komponen utama pada *node* WARP yaitu radio *board* dan FPGA. Sementara untuk warna merah muda menandakan blok pemancar dan warna biru menandakan blok penerima. Pada blok pemancar terdapat 5 tahap yaitu Tx I/Q buffer, DAC I/Q, Tx BB, *Upconversion*, dan Tx RF Amplifier *Transmitter RF amplifier, Variabel gain amplifier*.

Pada Tx I/Q Buffer berfungsi sebagai tempat *storage* sample *inphase* dan *quadrature* yang akan dikirim. DAC I/Q: mengkonversi dari digital ke analog untuk sample *inphase/quadrature*. Terdapat dua amplifier didalamnya yaitu satu untuk sinyal *inphase* dan satu untuk sinyal *quadrature*. Ini merupakan *variable gain amplifier* dimana nilai nya dapat dimasukkan oleh *user* di *workspace* matlab. *Upconversion* berfungsi untuk mengubah sinyal *baseband* ke sinyal RF. Frekuensi *carrier* tergantung pada pengaturan PLL. Dan yang terakhir *carrier* tergantung pada pengaturan PLL. Dan yang terakhir Tx RF Amplifier: *transmitter RF amplifier, variabel gain amplifier*. Dimana nilai tersebut yang akan dimasukkan pada *workspace* MATLAB.

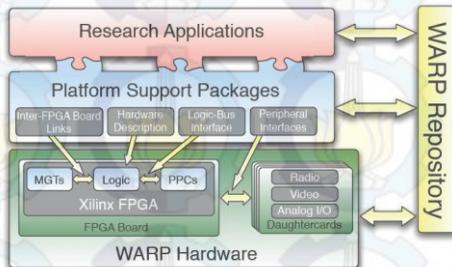
Pada blok penerima terdapat tujuh tahap yaitu Rx RF Amplifier: *transmitter RF amplifier, variabel gain amplifier*. Dimana nilai tersebut yang akan dimasukkan pada *workspace* MATLAB. Kemudian *downconversion* yaitu proses mengubah sinyal RF menjadi sinyal *baseband*. Setelah itu Rx BB Amplifiers: *Receiver Base Band Amplifier*. Amplifier ini dibagi menjadi 2 bagian, yaitu satu untuk sinyal *inphase* dan satu untuk sinyal *quadrature*. Bagian ini adalah *variable gain amplifier*, keduanya diset dengan nilai *gain* sama yang dapat dimasukkan dimasukkan pada *workspace* MATLAB. *Receive Signal Strength Indicator* (RSSI) nilai ini akan diukur. Yang kemudian dikonversi kedalam ADC I/Q untuk sample *inphase* dan *quadrature*. Diperlukan ADC RSSI mengkonversi sinyal digital ke analog untuk pengukuran RSSI. Data RSSI tersedia di  $\frac{1}{4}$  laju data I/Q. kemudian akan ditempatkan pada *storage* sample yang diterima dalam bentuk *inphase* maupun *quadrature* oleh Rx I/Q Buffer dan yang terakhir tempat penyimpanan data RSSI pada *RSSI buffer*. Berikut ditampilkan blok diagram *node* WARP pada gambar 2.15.



**Gambar 2. 18** Diagram Blok Node WARP[3]

### 2.10.3 Arsitektur Platform

Arsitektur dari platform WARP didesain untuk memenuhi permintaan dari penelitian *high-performance* sistem *wireless*. Arsitektur platform WARP dengan 4 komponen utama ditunjukkan pada gambar 2.16.



**Gambar 2. 19** Komponen – komponen utama dari arsitektur WARP [3]

- *Custom Hardware*: perangkat keras yang menyediakan sumber daya tinggi yang mampu diimplementasikan pada kecepatan algoritma, dapat terukur interkoneksinya untuk mengalokasikan lebih banyak kekuatan pemrosesan yang diperlukan, dan pilihan *periferal* yang diperlukan untuk radio, prosesor khusus dan antarmuka ekspansi lainnya.
- *Platform Support Packages*: alat desain dan modul *interface* tingkat rendah (*low-level*) yang didesain untuk memungkinkan penggunaan perangkat oleh para peneliti pada semua lapisan (*layer*).

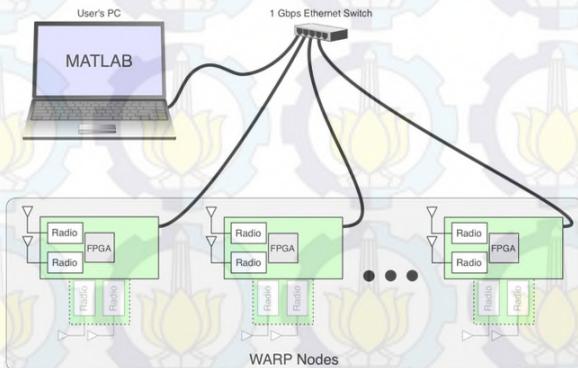
- *Open-Access Repository*: Pusat penyimpanan untuk semua file-file *source-code*, model dan desain *hardware*. Semua konten tersebut akan tersedia di bawah lisensi BSD.
- *Research Application*: Implementasi dari algoritma baru, diaktifkan oleh *hardware* khusus dan paket yang menfukung platform. Sistem kenfali menggabungkan algoritma dengan menggunakan bangunan standart modul blok yang disediakan dalam *repository*.

#### 2.10.4 WARPLab

Dengan WARPLab dimungkinkan membangkitkan sinyal dari MATLAB secara langsung dan ditransmisikan secara *realtime* melalui kanal udara menggunakan *node* WARP.

Penggunaan dari WARPLab memungkinkan kombinasi dari beberapa sistem multi-antenna. Kerangka kerja yang digunakan memiliki fleksibilitas untuk pengembangan sistem dengan banyak *node*. Masing –masing *node* yang deprogram melalui WARPLab terhubung dengan komputer melalui *switch* Ethernet dengan ini *node* dapat deprogram untuk mengirim data dan menerima data melalui MATLAB.

Dengan WARPLab dapat menintegerasi langsung dari workspace MATLAB dan sinyal yang dihasilkan dan dapat ditransmisikan secara real time melalui udara (*over the air*) menggunakan *node* WARP. Secara keseluruhan, WARPLab *Frame Work* diperlihatkan pada gambar 2.20 dibawah ini:



**Gambar 2. 20** Arsitektur WARPLab [3]



*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

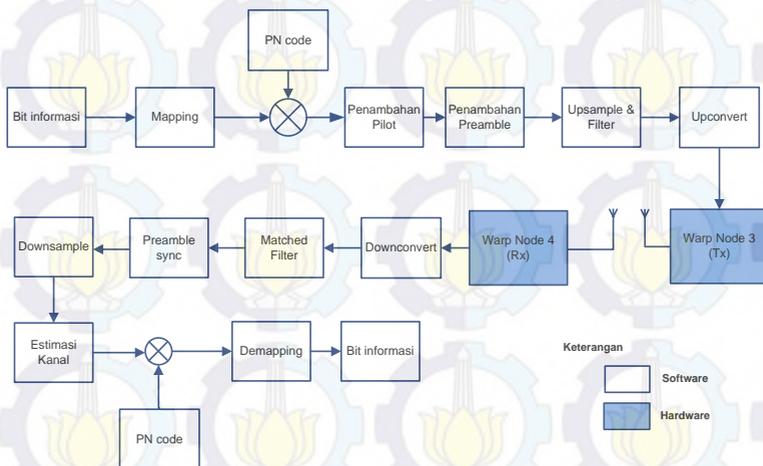
## BAB III

### PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Pada bab ini akan membahas lebih lanjut mengenai kinerja kode Kasami pada CDMA menggunakan modul WARP, untuk itu diperlukan perancangan sistem dan metode pengukuran. Pemodelan yang dipakai pada penelitian ini menggunakan model *Single Input Single Output* (SISO) yang dirancang melalui *software* MATLAB dan diimplementasikan menggunakan modul WARP. Beberapa uraian mengenai perancangan dan implemmentasi sistem akan dijelaskan sebagai berikut:

#### 3.1 Perancangan Sistem

Perancangan sistem ini dilakukan untuk mengetahui kinerja kode *large* kasami pada CDMA menggunakan modul WARP. Secara umum sistem yang dirancang digambarkan pada blok diagram 3.1.



**Gambar 3. 1** Blok Desain Implementasi Sistem CDMA

Secara garis umum tugas proses awal pada tugas akhir dengan membangun sistem pemancar dan penerima dimana WARP adalah perangkat sebagai implementasi. Pada sisi pengirim, sinyal yang dibangkitkan secara acak untuk mendapatkan *pseudo random*. Data tersebut dimodulasi secara BPSK hasil sinyal yang termodulasi kemudian dikalikan oleh kode *large Kasami*, keluaran hasil sinyal *spreading* kode *large Kasami*. Pada sisi penerima, dilakukan proses *despreading*, sinyal pesan akan dipisahkan dari kode yang selanjutnya demodulasi dimana sinyal pesan yang mengandung kode ini dicocokkan dengan kode *pseudo noise* di penerima. Kemudian dengan adanya dilakukan proses demodulasi sinyal informasi didapatkan untuk diolah. Adapun parameter yang digunakan seperti pada tabel 3.1

**Tabel 3. 1** Parameter Sistem

| No. | Parameter                           | Keterangan                              |
|-----|-------------------------------------|---|
| 1.  | Bit informasi                       | 10.000                                  |
| 2.  | Modulasi                            | BPSK                                    |
| 3.  | Kode PN                             | <i>Large Kasami</i>                     |
| 4.  | Jumlah <i>shift register</i>        | 6 (enam)                                |
| 5.  | Jumlah kode yang dapat dibangkitkan | 520                                     |
| 6.  | Jumlah bit yang dikirim             | 63.000                                  |
| 7.  | Filter                              | <i>Square Root Raised Cosine (SRRC)</i> |
| 8.  | Orde <i>filter</i>                  | 6                                       |
| 9.  | <i>Factor rolloff</i>               | 0,9                                     |
| 10. | Jumlah <i>preamble</i>              | 19                                      |
| 11. | Jumlah <i>corr window</i>           | 300                                     |
| 12. | Jumlah <i>delay</i>                 | 400                                     |
| 13. | Frekuensi <i>upconvert</i>          | 5 Mhz                                   |
| 14. | Frekuensi <i>sampling</i>           | 40 Mhz                                  |
| 15. | <i>Carrier channel</i>              | 8                                       |
| 16. | <i>Upsample rate</i>                | 10 <i>sample</i>                        |
| 17. | <i>Channel estimator (CSI)</i>      | 150 simbol                              |
| 18. | <i>Simbol rate</i>                  | $4 \times 10^6$ simbol/detik            |
| 19. | Frekuensi <i>carrier</i>            | 2,4 GHz                                 |

**Tabel 3. 2** Parameter *Level Gain Setting* pada Modul WARP

| No. | Parameter                        | Keterangan |
|-----|----------------------------------|------------|
| 1.  | <i>Transmitter baseband gain</i> | 1          |
| 2.  | <i>Transmitter RF gain</i>       | 0-31 dB    |
| 3.  | <i>Receiver base gain</i>        | 1          |
| 4.  | <i>Receiver</i>                  | 1          |

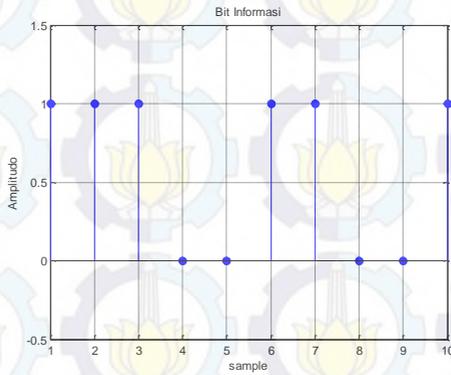
Pemodelan sistem komunikasi SISO dimodelkan melalui dua tahap, pertama pada *software* MATLAB sebagai simulasi untuk menguji bahwa sistem yang dirancang telah sesuai. Tahap kedua adalah menggunakan modul WARP sebagai implementasi tahap akhir sehingga dapat dilakukan pengambilan data secara *realtime* untuk dilakukan analisa. Sistem dirancang mulai dari proses pembangkitan bit hingga bit informasi diterima. Kode Kasami berperan sebagai kode unik untuk membedakan tiap *user*.

### 3.1.1 Perancangan pada Sisi Pemancar

Pada pemancar sinyal informasi dibangkitkan secara random dan di modulasi dengan menggunakan modulasi BPSK, kemudian sinyal di *spreading* yaitu dikalikan dengan kode PN dengan menggunakan kode *large* Kasami, kemudian sinyal ditransmisikan melalui pemancar. Sinyal informasi dilewatkan melalui kanal real pada WARP. Tidak menutup kemungkinan pada proses transmisi terdapat pengaruh oleh noise dan interferensi dari masing – masing pengguna. Perancangan pada sisi pemancar dari sistem yang telah dirancang akan dijelaskan dalam uraian berikut:

#### 3.1.1.1 Pembangkitan bit informasi

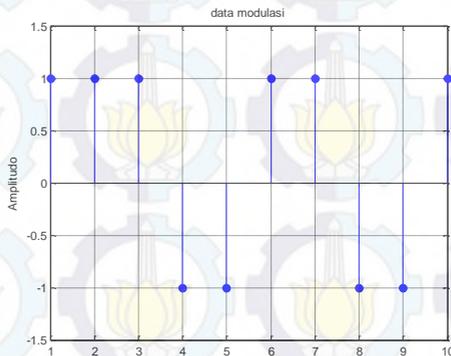
Pembangkitan bit informasi dilakukan secara acak dengan jumlah deretan bit disesuaikan dan implentasi sistem ini adalah sebanyak 10.000 bit data. Sinyal ini merupakan sinyal informasi dibangkitkan menggunakan fungsi *randin* pada MATLAB. Dimisalkan deretan bit yang dibangkitkan  $I_k = [i_0, i_1, i_2, \dots, i_n]$  dengan n adalah banyaknya bit yang dibangkitkan. Selanjutnya bit yang dibangkitkan tersebut di *mapping* ke dalam simbol – simbol menggunakan teknik modulasi *Binary phase shift keying* (BPSK) dengan jumlah bit per simbol (k) yaitu 1. Berikut hasil pembangkitan data pada bit 10.000. Sebagai contoh gambar 3.2 menampilkan hasil pembangkitan 10 bit informasi.



**Gambar 3. 2** Sinyal Informasi yang dibangkitkan

### 3.1.1.2 Modulasi *Binary Phase Shift Keying* (BPSK)

Blok modulasi dilakukan sebelum bit informasi dikirimkan melalui suatu kanal. Modulasi yang digunakan pada perancangan ini adalah BPSK (*Binary Phase Shift Keying*). Digunakan modulasi BPSK karena mendukung suatu informasi memiliki *bandwidth* yang lebar dan modulasi ini sering digunakan pada CDMA. Modulasi BPSK menghasilkan nilai fasa yang berbeda  $180^\circ$  antara bit '0' dan bit '1'. Gambar 3.3 menampilkan contoh secara simulasi dalam bentuk baseband ekuivalen.



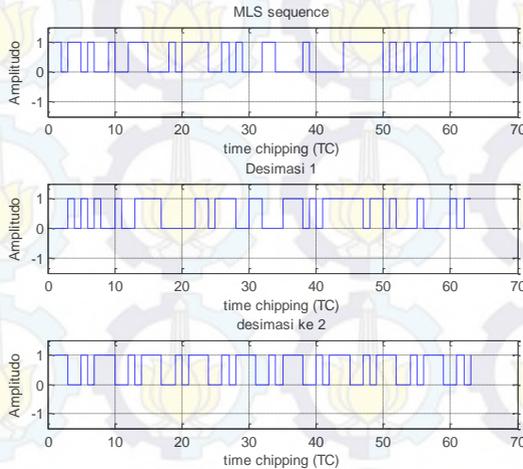
**Gambar 3. 3** Sinyal hasil modulasi BPSK

### 3.1.1.3 Proses *Spreading*

Bit – bit sinyal informasi dikodekan menjadi *chip* yaitu dari bit informasi dikalikan dengan kode PN yaitu kode *large* Kasami. Dengan menggunakan kode Kasami dengan 6 *shift register*, periode Dalam sistem CDMA, setiap *user* diberi satu kode *spreading* (kode PN) tertentu, sehingga beberapa *user* dapat terlayani dengan frekuensi yang sama, karena masing-masing tetap dapat diterima terpisah oleh *receiver*-nya sendiri yang menggunakan kode *spreading* sama ketika dia ditransmisikan. Proses sinyal informasi dikalikan dengan sinyal keluaran PN *sequence* sehingga menghasilkan sinyal baru yang mempunyai bit *rate* lebih besar. Proses *spreading* pada pemodelan sistem ini dilakukan dengan menggunakan kode *large* Kasami. Berikut tahap pembangkitan kode *large* Kasami:

- Langkah pertama adalah membaca banyak *register* yang digunakan untuk membangkitkan satu buah *M-sequence*. Dengan mengetahui jumlah *register* yang digunakan, deret *preferred* yang akan digunakan dapat ditentukan.
- Baca isi kondisi awal (*initial state*) dari tiap *register* yang dipakai.
- Baca posisi tap *feedback* dari setiap *register* penyusun kode tersebut.
- Membentuk tiga himpunan yaitu a, b, dan c.
- Himpunan a terdiri dari polinomial [6 1] dengan panjang deret pada  $2^m - 1$  yaitu  $a = [a_1, a_2, a_3, \dots, a_{63}]$ .
- Himpunan b dibentuk dari desimasi bit ke  $2^{m/2} + 1$  dari himpunan a.
- Isi himpunan b akan mengalami perulangan sebanyak  $2^{m/2} - 1$ .
- Himpunan c dibentuk dari desimasi bit ke  $2^{m/2} + 1 + 1$  dari himpunan a.
- Perulangan berulang sampai menghasilkan himpunan c sepanjang  $2^m - 1$ .
- Penyusunan kode *large* Kasami dilakukan dengan XORing pada himpunan yaitu  $a \oplus T^1 b, a \oplus T^2 c, b \oplus T^2 c, \text{ dan } a \oplus T^1 b \oplus T^2 c$ .
- Hasil pengolahan himpunan a, b, dan c dapat digunakan untuk menentukan banyaknya kode *large* Kasami yang dapat dibangkitkan sebanyak  $2^{(m+2)/2} + 1$ .

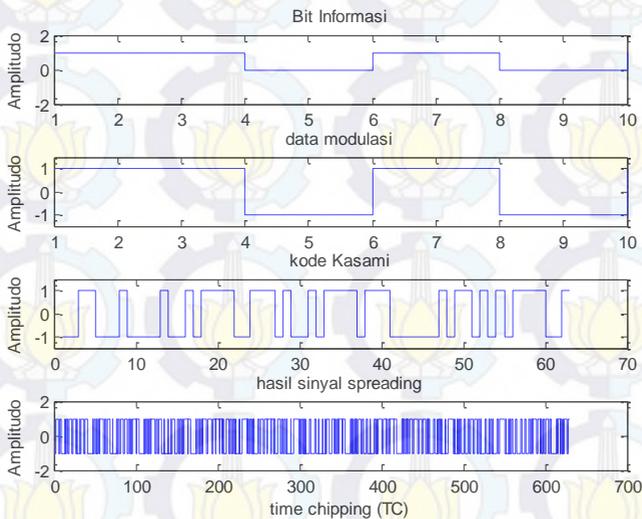
Dalam prosesnya kode *large* Kasami akan dikalikan dengan bit sinyal hasil modulasi. Gambar 3.4 merupakan pembangkitan kode *spreading* untuk *large* Kasami dalam bentuk pulsa dengan panjang kode 63 kode.



**Gambar 3. 4** Sinyal Pembangkitan Kode *Large* Kasami

Pada gambar 3.5 deret pertama dihasilkan dari deret MLS dimana pembangkitan menggunakan *shift register* ( $m$ ) = 6. Deret ini dibangkitkan dari *linier shift register* yang memiliki tap berjumlah genap. Kemudian himpunan kedua =  $[b_1, b_2, b_3, \dots, b_N]$  himpunan ini dibangkitkan dari proses desimasi dari himpunan pertama yaitu  $2^{(m/2)} + 1$  yang menghasilkan 9 kode sepanjang  $N$  dimana dilakukan pengulangan dengan periode  $2^m - 1$ . Kemudian himpunan ketiga terbentuk dari hasil desimasi bit pada  $2^{(m+2)/2} + 1 = [c_1, c_2, c_3, \dots, c_N]$  yang akan menghasilkan panjang kode 63. Dengan proses desimasi yang ke tiga menghasilkan nilai 15 kode dan mengalami perulangan dengan periode  $2^m - 1$  sepanjang 63.

Setelah proses pembangkitan ketiga himpunan dilakukan proses pembangkitan kode Kasami dilakukan dengan melakukan XOR antara himpunan satu, himpunan dua, dan himpunan ketiga. XORING dilakukan berdasarkan persamaan 2.7 pada bab 2.



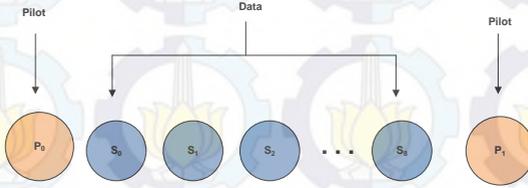
**Gambar 3. 5** Proses Bit Informasi Dikali Dengan Kode Kasami

Pada sisi pancar, sinyal dengan laju bit rendah pertama kali dimodulasikan digital secara BPSK. Kemudian sinyal BPSK ini dikalikan dengan deretan kode PN yakni kode *large* Kasami yang memiliki laju bit tinggi. Pada proses perkalian tersebut terjadi penyebaran energi pada pita frekuensi yang besar. Gambar 3.5 adalah proses perkalian bit informasi dengan kode PN yakni kode Kasami. Kode Kasami memiliki *chip* sebanyak 63 buah. *Chip* ini akan dikalikan sebanyak bit informasi yang akan dikirim. Pada penelitian bit informasi yang dikirim yaitu sebanyak 10.000 bit dimana 1 bit informasi akan dikalikan dengan 63 *chip* kode Kasami. Hasil sinyal *spreading* adalah 630.000 *chip* dimana hasil dari 63 dikali dengan bit yang dikirimkan sebanyak 10.000 bit informasi. Pada proses *spreading* 1 bit mewakili 63 *chip*.

#### 3.1.1.4 Penambahan Pilot

Setelah proses *spreading*, deretan hasil pembangkitan kode *large* Kasami tersebut akan ditambah dengan simbol pilot yang digunakan untuk respon estimasi kanal di penerima. Simbol pilot ini disisipkan secara periodik.

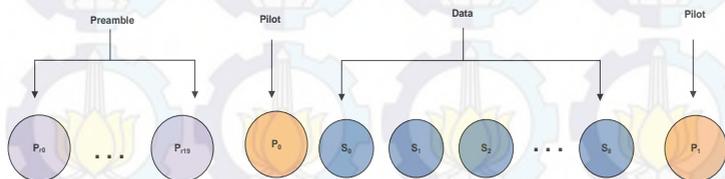
Penambahan pilot pada tugas akhir ini adalah simbol dengan nilai 1 dimana akan disisipkan untuk mengestimasi  $n$  simbol informasi dengan rasio 1/10 sehingga setiap 10 bit simbol terdiri dari 1 bit simbol yang berisi pilot dan 9 bit simbol yang berisi data. Pada gambar 3.6 ditampilkan penyusunan pilot dan simbol ditunjukkan sebagai berikut.



**Gambar 3. 6** Susunan Pilot dan Simbol

### 3.1.1.5 Penambahan *Preamble*

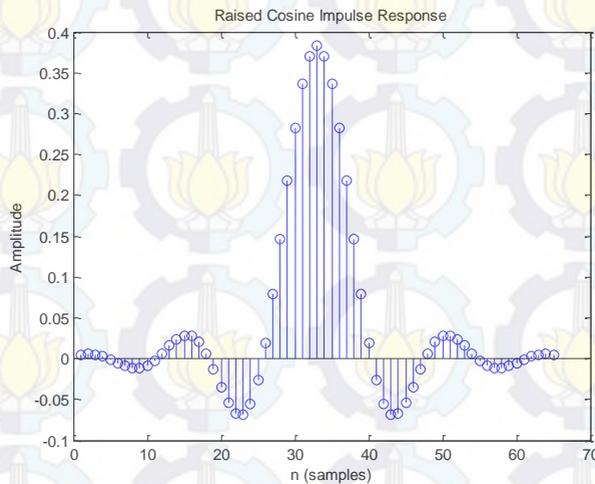
*Preamble* atau *syncword* atau *sync character*. *Preamble* digunakan sebagai sinkronisasi transmisi dengan menggunakan simbol yang telah ditetapkan dan diketahui oleh sistem yang diletakkan pada bagian awal atau akhir dari deretan simbol informasi. Pada penelitian ini ditetapkan *preamble* berjumlah 19 bit. Pada sisi penerima akan menerima bit – bit data yang terdiri dari 19 bit data *preamble* dan deretan data yang berupa data bilangan. Deretan simbol – simbol yang telah disisipi dengan simbol pilot, kemudian ditambah dengan *preamble*. *Preamble* merupakan deretan simbol yang digunakan sebagai sinkronisasi untuk mengetahui simbol pertama yang dikirimkan oleh *transmitter* pada bagian penerima. Penambahan simbol *preamble* ditunjukkan gambar 3.7 sebagai berikut.



**Gambar 3. 7** Penyusunan Letak *Preamble*, Pilot, dan Simbol

### 3.1.1.6 Upsample

*Upsample* bertujuan untuk menaikkan *sample* dari setiap simbol sesuai dengan jumlah sampling sehingga diperoleh *sample* sinyal baru. Selanjutnya simbol – simbol tersebut akan difilter dengan menggunakan filter *squared root raised cosine* (SRRC). Filter ini digunakan karena pada saat pengiriman sinyal dengan tingkat modulasi tinggi menggunakan kanal band limited rentan terjadinya *Inter Symbol Interference* (ISI). Dengan cara menaikkan tingkat modulasi maka *bandwidth* sinyal tersebut akan meningkat. Ketika *bandwidth* sinyal meningkat lebih besar dibanding dari *bandwidth* kanal maka kanal akan mendistorsi sinyal. Agar sinyal yang ditransmisikan memiliki *bandwidth* yang sesuai dengan *bandwidth* kanal digunakanlah filter *pulse shapping* yakni SRRC yang dilakukan dengan melewati filter SRRC dengan *upsample rate* sebanyak 10 berdasarkan konfigurasi yang digunakan. Respon impulse dari filter SRRC ditunjukkan pada gambar 3.8.



**Gambar 3. 8** Respon Impulse Filter *Squared Root Raised Cosine* (SRRC)

### 3.1.1.7 *Upconvert*

Selanjutnya akan dilakukan proses *upconvert* yaitu melakukan konversi sinyal ke frekuensi yang lebih tinggi dengan menggeser frekuensi tengah sinyal *baseband* ke frekuensi yang lebih tinggi. Pada pengerjaan tugas akhir ini frekuensi yang digunakan sebesar 5 MHz. Proses *upconvert* dilakukan untuk menghindari pelemahan dari radio DC. Proses *upconvert* dilakukan dengan mengalikan sinyal terhadap frekuensi sinusoida kompleks, yaitu

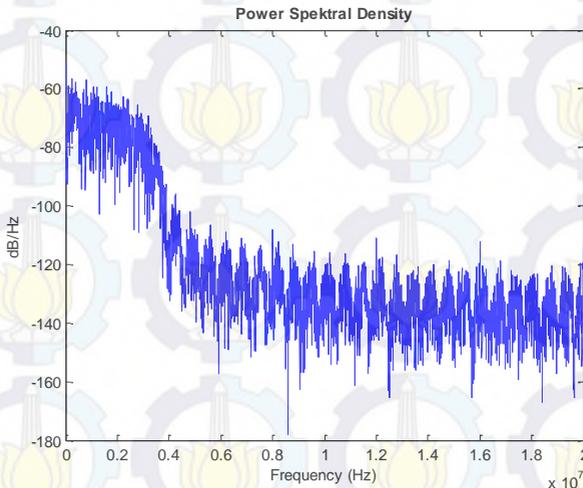
$$T_{up} = s(t)xe^{j2\pi f_c t} \quad (3.2)$$

dimana

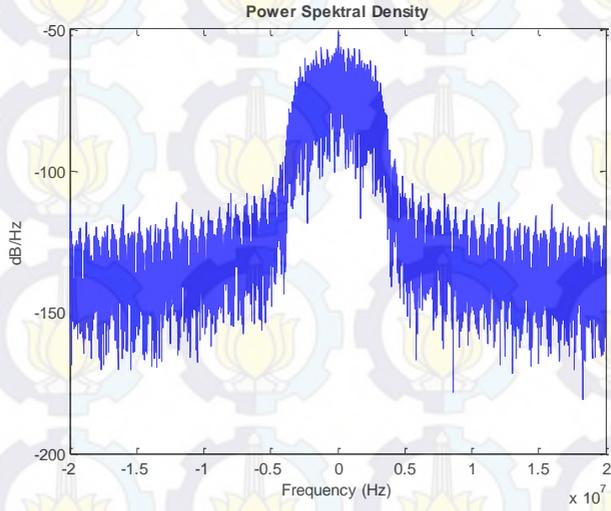
$f_c$  adalah frekuensi *sampling*,

$t$  adalah waktu *sampling*.

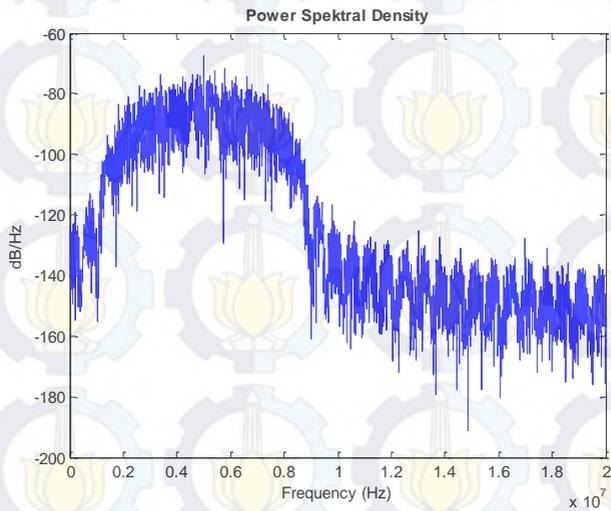
Untuk mengetahui secara *real* bagaimana unjuk kerja dari sistem yang ditampilkan dalam sebuah spectrum analyzer. Pada penelitian ini digunakan frekuensi kerja 2,4 GHz (IEEE 802.11g) dan menggunakan kanal 8 atau pada frekuensi 2,447 GHz.



**Gambar 3. 9** Power Spektral Density Baseband



Gambar 3. 10 Sinyal Spectrum Sebelum di *Upconvert*



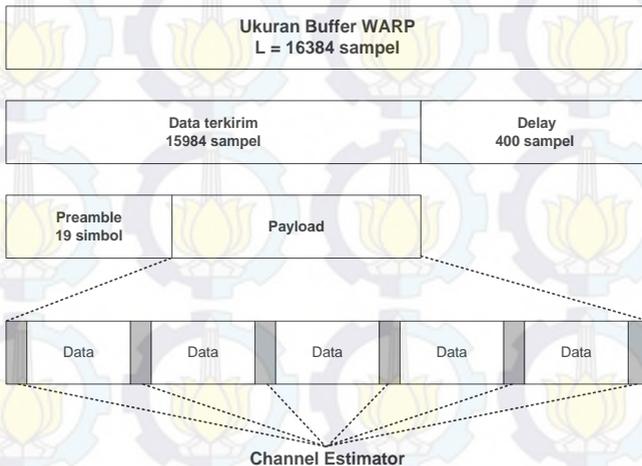
Gambar 3. 11 Sinyal Spectrum Setelah di *Upconvert*

### 3.1.1.8 Transmit data

Sinyal yang akan dikirimkan melalui WARP akan dilakukan normalisasi terlebih dahulu untuk mengoptimalkan DAC yang terdapat pada perangkat WARP yaitu  $2^{14}$ . Pengoptimalan DAC pada nilai dengan range -1 sampai +1. Proses normalisasi dengan cara menentukan nilai skala, kemudian nilai skala tersebut dikalikan dengan sinyal hasil *upconvert* sebagai berikut :

$$\text{Skala} = \frac{1}{\max \text{ real dan imaginer sinyal hasil upconvert}} \quad (3.3)$$

Langkah selanjutnya, sinyal akan dikirimkan melalui radio pemancar pada perangkat WARP. Setiap pengiriman data pada WARP dilakukan per-*frame*, dengan ukuran maksimum setiap frame  $2^{14}$  (16384 bit). Didalam frame terdiri dari bit informasi, *preamble*, *pilot*, *Tx delay*, *filter delay* dan *zero padding*. *Tx delay* berfungsi untuk mengantisipasi terjadinya delay pada saat transmisi agar data bisa diterima seluruhnya di penerima. Sedangkan *zero padding* ialah bit bernilai 0 yang ditambahkan apabila data yang ditransmisikan jumlahnya kurang dari kapasitas *frame* dari modul WARP. Berikut desain *frame* dari sistem komunikasi yang telah dirancang:



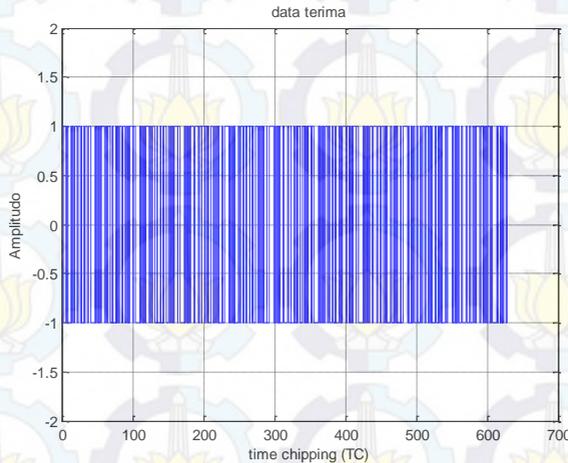
Gambar 3. 12 Desain *frame* data

### 3.1.2 Perancangan pada Sistem Penerima

Pada proses ini Proses yang ada pada penerima yakni kebalikan dari perancangan pada sistem pengirim, yang dimulai dari data diterima sampai dengan sinyal informasi

#### 3.1.2.1 Receive data

Pada sisi penerima, sinyal informasi yang diterima merupakan hasil jumlah dari hasil *encoding* dan noise, dilanjutkan dengan proses pada *combiner* yaitu menjumlahkan sinyal yang diterima dengan koefisien koresponden kanal transmisi untuk melakukan keputusan, dimana diharapkan sinyal yang diterima sama dengan sinyal masukkan. Pada proses *depreading* sinyal dipisahkan dari *chip* kode PN dan kemudian dilakukan *respreading* memproses *downconvert* untuk mengembalikan ke frekuensi *baseband* semula.



**Gambar 3. 13** Sinyal Keluaran yang diterima pada Rx

Gambar 3.11 ada sinyal *spreading* yang nantinya akan mengalami sinyal *despreading* dengan mengalikannya dengan deretan kode PN yang sama seperti pada sisi kirim. Sinyal yang telah didespread ini kemudian dilewatkan pada demodulator sinyal BPSK untuk memperoleh sinyal digital asal. Gambar 3.9 adalah hasil tampilan pada penerima setelah data *despreading*, *user* yang dikirim mengalami penggabungan dan kemudian dikirimkan pada frekuensi dan waktu yang bersamaan. Setelah penggabungan *user* selesai dan

dikirim sinyal ini diterima pada Rx dimana akan mengalami proses *dispersing* dimana *user* dipisahkan kembali kedalam per *user*.

### 3.1.2.2 *Downconvert*

Pada penerima proses *downconvert* ini dilakukan dengan mengembalikan sinyal ke frekuensi baseband semula. Pada proses ini sinyal akan dikalikan dengan frekuensi *upconvert* tanpa melakukan sinkronisasi fasa. spesifikasi frekuensi *sampling* pada WARP adalah 40 MHz. Pada *downconvert* sinyal yang diterima dilakukan dengan mengalikan masing-masing sample dengan persamaan 3.3.

$$R_{down}(t) = r(t)xe^{-j2\pi f_c t} \quad (3.4)$$

### 3.1.2.3 *Matched Filtering*

Setelah sinyal di *downconvert*, proses selanjutnya yaitu *matched filtering* untuk menghilangkan pengaruh sinyal yang tidak diinginkan seperti noise yang ada dimana frekuensi tinggi yang dihasilkan dari proses *downconvert* dihilangkan agar sesuai dengan bentuk pulsa *raised cosine* pada *transmitter*.

### 3.1.2.4 *Pendeteksian Preamble*

Sebelum dilakukan proses *downsample*, proses yang dilakukan yaitu pendeteksian simbol pertama *preamble* berdasarkan berdasarkan korelasi tertinggi antara sampel sinyal yang diterima dengan sampel *preamble*.

### 3.1.2.5 *Downsample*

Setelah diperoleh posisi *preamble* berdasarkan korelasi tertinggi, maka sinyal akan di *downsample* dengan jumlah sampel sesuai dengan jumlah sampel pada proses *upsample*. Proses *downsample* merupakan kebalikkan dari proses *upsample* yaitu menghilangkan penyisipan angka 0 diantara setiap kolom.

### 3.1.2.6 *Pendeteksian Pilot Dan Estimasi Kanal*

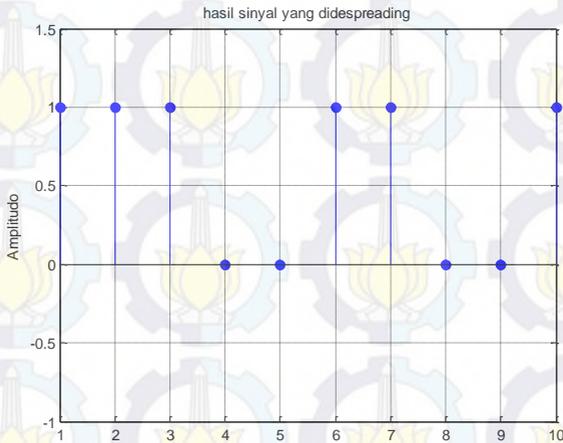
Simbol hasil dari proses *downsample* akan dilakuakan proses estimasi kanal dengan cara memisahkan *channel information state* (CSI) yang diwakili dengan menggunakan simbol *pilot squence* di pemancar dengan *received signals* ( $y$ ). CSI merupakan respon kanal

hasil estimasi dipenerima yang digunakan untuk memperoleh simbol estimasi. Simbol estimasi selanjutnya akan didemodulasi untuk memperoleh deretan bit estimasi. *Bit error rate* (BER) diperoleh dengan membandingkan deretan bit estimasi dengan deretan bit yang dikirimkan dari pemancar. Adapun persamaan untuk mengetahui nilai BER dibawah ini adalah

$$\text{bit error rate (BER)} = \frac{\text{jumlah bit yang salah}}{\text{jumlah bi yang dikirim}} \quad (3.3)$$

### 3.1.2.7 Proses *Despreading*

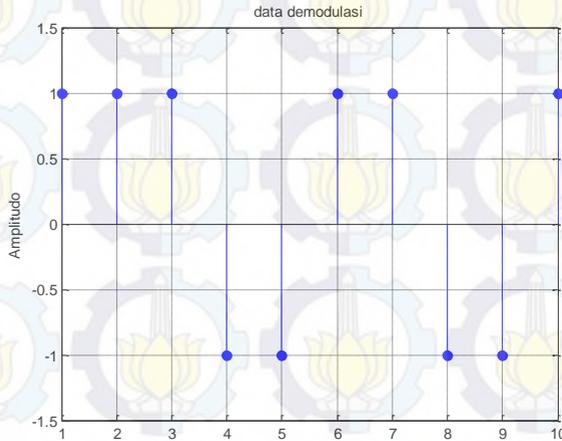
Pada proses ini data yang diterima setelah mengalami estimasi kanal dan pendeteksian pilot akan dikalikan dengan kode PN yaitu kode *large* Kasami. Pada bagian ini adalah kebalikan dari *spreading*, dimana sinyal informasi yang diterima akan dikalikan dengan PN *sequence* yang sama pada saat proses pengiriman. Sinyal yang didapat akan sama dengan sinyal informasi yang dikirimkan. Proses *despreading* adalah proses dimana sinyal kode PN tiap *user* dipisahkan.



**Gambar 3. 14** Hasil Ploting Sinyal Terdespreading

### 3.1.2.8 Demodulasi

Pada bagian penerima sinyal yang diterima akan di demodulasi, demodulator memisahkan sinyal pesan dari sinyal RF yang ditumpangnya. Sinyal pesan yang mengandung kode ini dicocokkan dengan kode *pseudo noise* di penerima. Dengan adanya proses *despreading*, sinyal pesan akan dipisahkan dari kode dan diteruskan jika kode PN pada sinyal masuk sama dengan kode *pseudo noise* pada penerima. Gambar 3.13 adalah hasil plotting sinyal yang telah terdemodulasi. Dimana sinyal ini tidak mengandung kode Kasami dan akan mengalami perubahan simbol kedalam bit 0 dan 1.



Gambar 3. 15 Hasil Ploting Sinyal Demodulasi

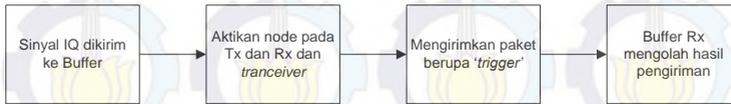
### 3.1.2.9 Bit diterima

Proses terakhir setelah bit informasi didemodulasi akan dihitung bit informasi yang diterima dan dibandingkan dengan jumlah bit yang dikirim sehingga dapat diketahui nilai BER dari hasil pengiriman sinyal informasi tersebut.

## 3.3 Tahap Implementasi Sistem dengan WARP

Proses pemrograman perangkat WARP dilakukan melalui WARPLab dan *software* MATLAB. Langkah-langkah komunikasi

dengan menggunakan WARP untuk mengirimkan data seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.16.



**Gambar 3. 16** Proses Pengiriman Sampel IQ pada WARP

Proses pertama yakni sinyal yang akan dikirim dalam bentuk kompleks IQ (*Inphase Quadrature*) dimana sinyal *inphase* merupakan bagian *real* sementara sinyal *quadrature* merupakan bagian *imaginer*. Sinyal yang akan dikirim disimpan pada *buffer* Tx dengan ukuran  $2^{14}$ .

Proses penyimpanan sinyal pada pemancar *buffer* telah selesai, maka dilakukan radio pada node *transmitter* dan *receiver* diaktifkan dan persiapan Tx dan Rx data dilakukan.

Pada saat yang bersamaan dilakukan dengan pengiriman sebuah paket '*trigger*' kepada semua node secara bersamaan. Ketika sebuah node pada *transmitter* dalam kondisi *enable*, maka node tersebut akan memancarkan sinyal yang tadi terdapat pada *buffer*. Jika sebuah node pada *receiver* dalam kondisi *enable*, maka node tersebut akan menerima sinyal yang dipancarkan oleh node *transmitter*.

Ketika proses komunikasi selesai, data yang dikirimkan oleh *transmitter* akan diterima oleh node *receiver*. Proses pengambilan data dilakukan dengan membaca data yang terdapat pada *buffer* node *receiver*.

### 3.3.1 Karakteristik Radio Board WARP

Modul WARP mempunyai karakteristik khusus yaitu dapat digunakan sebagai modul *transceiver* pada proses komunikasi. Modul radio board ini didesain khusus oleh universitas *Rice* dengan versi 1.4 [8].

Pada saat radio board bekerja sebagai *transmitter* maka sinyal digital pada modul WARP akan diubah menjadi sinyal *analog* oleh AD9777 kemudian dipancarkan menggunakan MAX2829. Di penerima akan terdapat dua sinyal yang diproses oleh WARP, yaitu sinyal informasi I/Q dan sinyal RSSI (*Receive Signal Strength Indicator*).

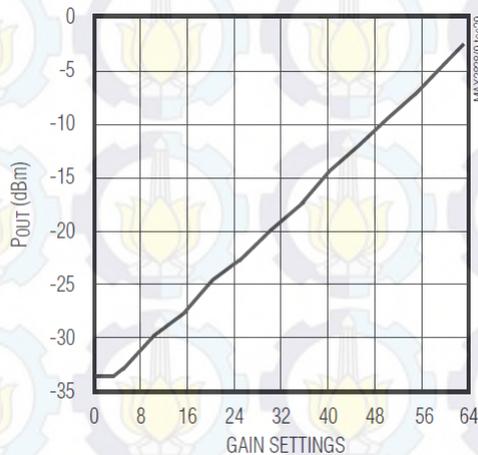
### 3.3.1.1 Gain Setting

Pengaturan *gain* pada WARPLab ini tergantung dari konfigurasi radio board. Secara umum gain setting dapat dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Transmitter Radio Frequency Gain

Pada referensi gambar 3.17 karakteristik *baseband gain* nilai gain *linier* mempunyai range 4 sampai 63.

Dengan memperhatikan gambar 3.17 dapat dilihat perbandingan antara keluaran daya pemancar dengan *gain setting*.



**Gambar 3. 17** Tx Power VS Gain Setting MAX2829[6]

#### 2. Transmitter Baseband Gain

Untuk baseband gain, terdapat 4 level pengaturan melalui WARPLab yaitu [0, 1, 2, 3] dengan nilai gain baseband dalam dB yaitu [-5, -3, -1.5, 0] dB.

#### 3. Receiver Baseband Gain

Pada gain baseband receiver, terdapat 32 level pengaturan. Range pengaturuan baseband receiver yaitu [0:31] dengan nilai dalam dB yaitu [0:63] dB

#### 4. Receiver Radio Frequency Gain

Pada pengaturan RF gain di penerima terdapat 3 level yaitu [0, 1, 2, 3] dengan nilai dalam dB yaitu [0, 15, 30] dB.

### 3.3.2 Konfigurasi Sistem pada WARP secara Umum

Pada tugas akhir ini, langkah awal yang dilakukan yaitu pengintegrasian antara PC dengan perangkat WARP. Perangkat WARP yang digunakan pada penelitian yaitu WARP V.2 dengan WARPLab versi 7. Pengintegrasian antara PC dengan perangkat WARP menggunakan *switch ethernet* dan kabel LAN. Integrasi antar PC dengan WARP ditunjukkan pada gambar 3.18.



**Gambar 3. 18** Integrasi antara PC dengan WARP

Setelah mengkonfigurasi antara PC dan WARP dilakukan pengaturan IP pada PC dengan cara mendefine pada WARPLab dengan *warplab\_define* dimana IP yang digunakan PC dan MATLAB harus sama seperti dilihat pada Gambar 3. 19.

A screenshot of the IP configuration window in WARPLab. The window has two radio buttons: 'Obtain an IP address automatically' (unselected) and 'Use the following IP address:' (selected). Below the radio buttons, there are three input fields: 'IP address:' with the value '10 . 0 . 0 . 121', 'Subnet mask:' with the value '255 . 255 . 255 . 0', and 'Default gateway:' which is empty.

**Gambar 3. 19** Pengaturan IP pada PC

Setelah mengatur nomor IP pada perangkat WARP kemudian memeriksa koneksi antara PC dengan perangkat WARP. Pemeriksaan koneksi antara PC dan WARP dapat dilakukan melalui *command prompt* dengan melakukan ping pada masing-masing IP *node* atau melalui kemudian digunakan *comanad window* diketikkan “ *wl\_setup* “ untuk pengesetan interkoneksi antara PC dengan perangkat kemudian memasukkan IP PC yang digunakan, setelah pengesetan *wl\_setup* langkah selanjutnya yaitu dengan mengetikkan “*wl\_initNodes(2)*”. Indikator keberhasilan koneksi dapat dilihat pada *output command window* MATLAB seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.20.

```
>> wl_initNodes(2)

ans =

Displaying properties of 2 wl_node objects:
| ID | WLVER | HWVER | Serial # | Ethernet MAC Addr | Address |
-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-00 | 10.0.0.1 |
-----|-----|-----|-----|-----|
| 1 | 7.1.0 | 2 | N/A | 00-50-C2-63-30-01 | 10.0.0.2 |
-----|-----|-----|-----|-----|
>>
```

**Gambar 3. 20** Indikator keberhasilan interkoneksi antara PC dengan WARP

Setelah tahap ini berhasil maka program MATLAB maka program dapat dijalankan dan dapat dilakukan pengukuran.

### 3.4 Metode Pengukuran

Metode pengukuran yang dilakukan adalah pengukuran lingkungan *indoor* di ruang B304 Laboratorium Telekomunikasi Multimedia jurusan Teknik Elektro. Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana pengaruh kode *large* Kasami terhadap sistem CDMA dengan mengukur bagaimana variasi jumlah pengirim, seberapa besar ketahanan kode *large* Kasami dapat melayani banyaknya pengguna, bagaimana pengaruh bila jarak pemancar dan penerima diubah, dan yang terakhir bagaimana pengaruh  $E_b/N_0$  (*energy per bit to noise*) terhadap nilai BER dimana sangat berfungsi dalam komunikasi digital untuk membandingkan performa kode Kasami pada sistem CDMA.

### **3.4.1 Pengukuran Data User Terhadap Perbandingan Variasi Pengirim Terhadap BER Sistem CDMA**

Untuk mengetahui pengaruh pembangkitan kode *large Kasami* terhadap unjuk kerja dari sistem CDMA akan dibandingkan nilai BER pada jumlah variasi pengiriman yaitu pengiriman sebanyak 1, 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 *user*. Hasil yang akan diambil adalah nilai BER terhadap daya pancar (PTx). Dengan membandingkan nilai BER terhadap PTx pengiriman yang bervariasi, evaluasi kinerja BER dapat diambil dalam bentuk grafik. Dimana hasil berupa grafik dapat menunjukkan apakah semakin banyak jumlah pada variasi pengguna (*user*) dalam sistem menyebabkan performansi akan semakin turun.

### **3.4.2 Pengukuran Kemampuan Kode Kasami Melayani Jumlah User**

Pada CDMA setiap *user* akan menduduki kanal pada frekuensi dan waktu yang sama. kode *large Kasami* dengan jumlah 6 *shift register* dapat membangkitkan jumlah deret sebanyak 520. Maka dari itu apakah jumlah pembangkitan kode *large Kasami* sesuai pada prakteknya sehingga hasil pengukuran dapat diketahui kemungkinan banyak *user* yang dapat dilayani oleh kode *large Kasami* dalam berkomunikasi secara serentak pada satu saluran yang sama dengan kondisi kanal *real* pada modul WARP. Adanya multi *user* interferensi pada sistem dalam mengirimkan *sejumlah user*.

### **3.4.3 Pengukuran Berdasarkan Perbandingan Jarak Transmitter Dan Receiver Terhadap Kinerja Sistem CDMA**

Mengambil variasi jarak pemancar dan penerima dalam sistem komunikasi apakah mempunyai pengaruh besar. Sehingga perlu dilakukan analisa mengenai pengaruh perubahan jarak terhadap kualitas informasi yang diterima. Pada pengukuran ini dilakukan pengukuran dan pengambilan variasi jarak sebanyak 2, yaitu jarak 3 meter dan 5 meter.



**Gambar 3. 21** Kondisi *Line Of Sight (Los)*

### 3.4.4 Pengaruh $E_b/N_0$ terhadap BER Sistem CDMA

Pengukuran terakhir pada sistem CDMA untuk mengetahui untuk kerja sistem pada pengaruh nilai  $E_b/N_0$ . Untuk melihat pengaruh dari nilai  $E_b/N_0$  akan dibandingkan BER sistem antara pengiriman *user* yang berbeda yaitu antara *user* 1, 2, 4, 6, 8, dan 10 *user*. Dimana metode yang dipakai untuk menentukan BER pada simulasi ini adalah metode *Monte Carlo* yakni data output dibandingkan dengan data input. Dapat dilakukan perhitungan nilai  $E_b/N_0$  dengan melakukan langkah – langkah sebagai berikut:

- Mengambil nilai *real* dari konstelasi sinyal yang diterima.
- Dari nilai *real* yang didapatkan selanjutnya dihitung rata – rata energi bit ( $E_b$ ).
- Selanjutnya mencari nilai *noise* dengan cara menghitung *variance* dari titik konstelasi.
- Kemudian dilakukan pembagian antara nilai  $E_b$  dan nilai  $N_0$ . Selanjutnya, dilakukan konversi ke satuan dB.

Perhitungan matematis pada modulasi BPSK

- Mengambil nilai *real* dari konstelasi sinyal yang diterima. Berikut gambar konstelasi BPSK:
- Dari nilai *real* tersebut, kemudian dihitung nilai rata-rata energi bit ( $E_b$ ) dengan cara berikut:

$$E_{b1} = E_{b2} = 1$$

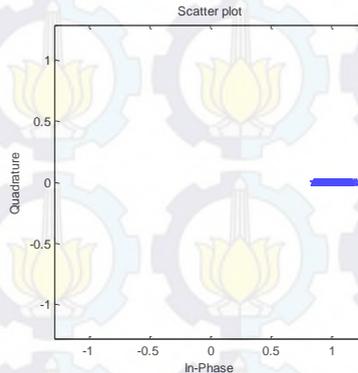
- Setelah didapat nilai  $E_b$  pada masing – masing titik konstelasi, maka dilakukan perhitungan rata – rata seperti berikut:

$$E_b = \frac{E_{b1} + E_{b2}}{2}$$

- Untuk menghitung *variansi noise*, maka ke empat titik konstelasi tersebut digabung menjadi satu titik dengan cara berikut:

$$IS = \text{inphase}^2$$

Sehingga menjadi gambar berikut:



- a. Selanjutnya dilakukan perhitungan variansi *noise* dengan cara berikut:

$$V = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |S_i - \mu|^2$$

Dimana  $\mu$  adalah rata – rata dari S.

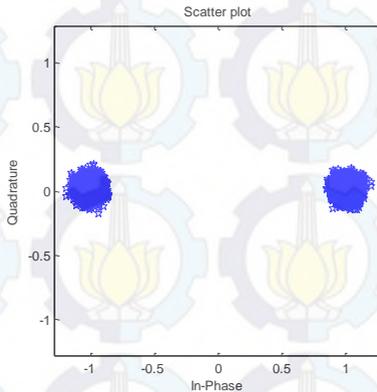
- b. Setelah itu baru dilakukan pembagian antara nilai Eb dan nilai No seperti berikut:

$$E_b N_o = \frac{E_b}{N_o}$$

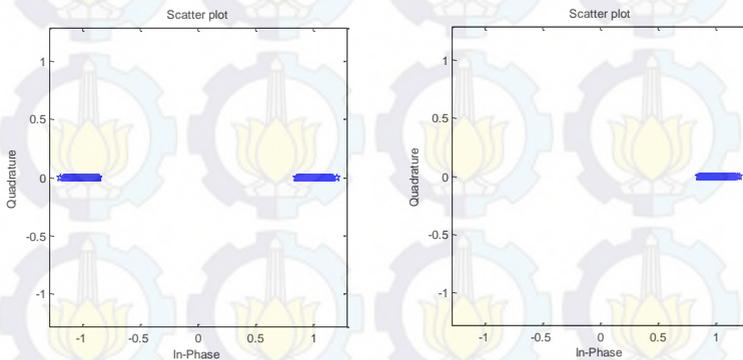
$$E_b N_o \text{ dB} = 10 \log_{10} E_b N_o$$

Pengambilan Eb/No mengacu pada pengiriman satu *user* dikarenakan pada sistem CDMA mengirimkan sejumlah *user* pada saat yang bersamaan dimana seiring pertambahan *user* akan menyebabkan interferensi semakin besar. Pada pengiriman satu *user* tidak terjadi interferensi antara *user* satu dengan *user* lain, sehingga nilai energi per bit akan murni terhadap noise yang ada pada sistem. Kemudian nilai Eb/No dilakukan dengan mengambil nilai *inphase* dimana sinyal *inphase* merupakan bagian *real*.

Nilai *inphase* ini pada modulasi BPSK akan dijadikan daerah keputusan 0 dan 1 sehingga nilai energi noise dapat dicari dengan *variance*. Gambar 3.20 adalah bentuk konstelasi BPSK pada sistem dengan satu *user*. Gambar 3.21 menunjukkan nilai *inphase* pada koordinat *logic* -1 dan *logic* 1. Nilai ini akan dikuadratkan dan kemudian diabsolutkan setelah itu diratakan untuk mendapatkan nilai dari *variance noise*. Gambar 3.22 adalah hasil *variance noise* yang akan dianggap sebagai nilai energi dari noise.



**Gambar 3. 22** Konstelasi Sinyal pada Sistem



**Gambar 3. 23 a.** Nilai Energi Bit pada Koordinat *Inphase*  
**b.** Gambar Nilai *Variance* (Nilai Energi Noise)

## BAB IV HASIL DAN ANALISIS DATA

Pada bab ini berisi tentang bagaimana hasil pengukuran kode Kasami pada sistem CDMA menggunakan WARP. Dari hasil pengukuran akan dianalisis sehingga dapat memenuhi tujuan akhir yaitu untuk mengetahui bagaimana kinerja kode Kasami pada sistem CDMA yang dilewatkan kanal *real* dalam WARP. Hasil dari pengukuran sistem ini akan ditampilkan dalam bentuk BER vs Daya noise dan BER vs Eb/No. dalam proses analisis data pengukuran akan dibagi menjadi 4 bagian yakni :

1. Analisis kode *large* Kasami terhadap variasi jumlah *user*.
2. Analisis batas toleransi kode *large* Kasami menghadapi MUI.
3. Analisis BER terhadap daya pancar dengan perubahan jarak.
4. Analisis BER terhadap Eb/No untuk penambahan jumlah *user*.
5. Analisa perbandingan kode Kasami dengan kode *orthogonal* yaitu kode Walsh Hadamard.

### 4.1 Analisis Kode *Large* Kasami

Kumpulan kode *large* Kasami dibangun dari deretan *preferred m - sequence* dengan desimasi *element by element* satu rangkaian dengan setiap kali perubahan periode  $2^m - 1$ , akan didapatkan kode *large* Kasami sebanyak  $2^{m/2}(2^m + 1)$ . Parameter – parameter yang digunakan untuk membangkitkan kode *large* Kasami adalah :

1. Jumlah register yang digunakan adalah 6.
2. Kondisi *initial* awal adalah [1 0 1 1 0 1].
3. Konfigurasi tap untuk polynomial 1 adalah [6 1].
4. Banyak kode *large* Kasami yang dihasilkan yaitu sebanyak 520 kode dengan masing – masing memiliki periode 63.

Kode *large* Kasami menghasilkan korelasi silang 3 nilai yakni 0.2380, -0.2698, dan -0.01587 dimana sudah memenuhi teori yang sudah ada.

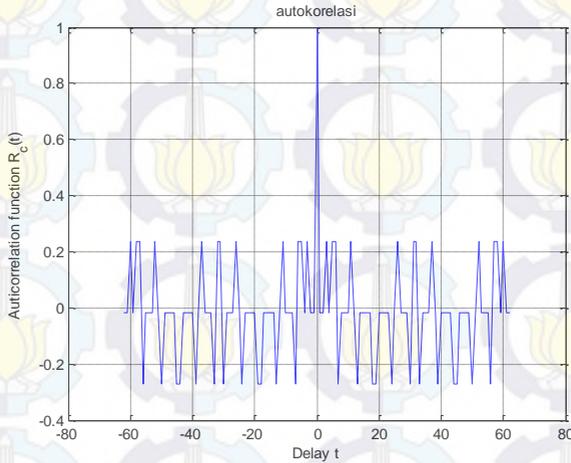
#### 4.1.1 Perbandingan Fungsi Autokorelasi

Parameter – parameter yang digunakan untuk fungsi autokorelasi kode *large* Kasami Gambar 4.1 menampilkan autokorelasi dari *large* Kasami. Berikut hasil tabel 4.1 menunjukkan nilai autokorelasi pada kode *large* Kasami untuk deretan kode yang ke 2.

**Tabel 4. 1** Autokorelasi dari kode *Large Kasami*

| Pergeseran<br>Tc | Auto<br>Korelasi | Pergeseran<br>Tc | Auto<br>Korelasi | Pergeseran<br>Tc | Auto<br>Korelasi |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1                | 1                | 22               | -0.01587         | 43               | -0.01587         |
| 2                | -0.0158          | 23               | -0.01587         | 44               | -0.01587         |
| 3                | -0.0158          | 24               | -0.01587         | 45               | -0.2698          |
| 4                | 0.238            | 25               | -0.2698          | 46               | -0.2698          |
| 5                | -0.0158          | 26               | -0.01587         | 47               | -0.01587         |
| 6                | 0.238            | 27               | 0.238            | 48               | -0.01587         |
| 7                | 0.238            | 28               | -0.01587         | 49               | -0.01587         |
| 8                | -0.2698          | 29               | -0.01587         | 50               | -0.01587         |
| 9                | -0.0158          | 30               | -0.01587         | 51               | -0.2698          |
| 10               | -0.0158          | 31               | -0.2698          | 52               | -0.01587         |
| 11               | -0.0158          | 32               | 0.238            | 53               | 0.238            |
| 12               | 0.238            | 33               | 0.238            | 54               | -0.01587         |
| 13               | -0.0158          | 34               | -0.2698          | 55               | -0.0158          |
| 14               | -0.2698          | 35               | -0.01587         | 56               | -0.01587         |
| 15               | -0.0158          | 36               | -0.01587         | 57               | -0.2698          |
| 16               | -0.0158          | 37               | -0.01587         | 58               | 0.238            |
| 17               | -0.0158          | 38               | 0.2380           | 59               | 0.238            |
| 18               | -0.0158          | 39               | -0.0158          | 60               | -0.01587         |
| 19               | -0.2698          | 40               | -0.2698          | 61               | 0.238            |
| 20               | -0.2698          | 41               | -0.01587         | 62               | -0.01587         |
| 21               | -0.0158          | 42               | -0.01587         | 63               | -0.01587         |

Pada tabel 4.1 terlampir bahwa kode *large Kasami* mempunyai nilai batas autokorelasi yaitu 0.2380, -0.2698, dan -0.01587. Gambar 4.1 adalah gambar hasil dari plotting autokorelasi yang berfungsi sebagai penguji kesaamaan antara sebuah deretan kode dan kode tiruannya yang phasenya digeser (Tc). Nilai 1 adalah nilai amplitude tertinggi dikarenakan pada proses autokorelasi, terdapat proses perkalian kode itu sendiri yakni kode ke 2 pada kode *large Kasami* pada sistem.



**Gambar 4. 1** Autokoreasi dari Kode *Large Kasami*

#### 4.1.2 Perbandingan Fungsi Korelasi Silang

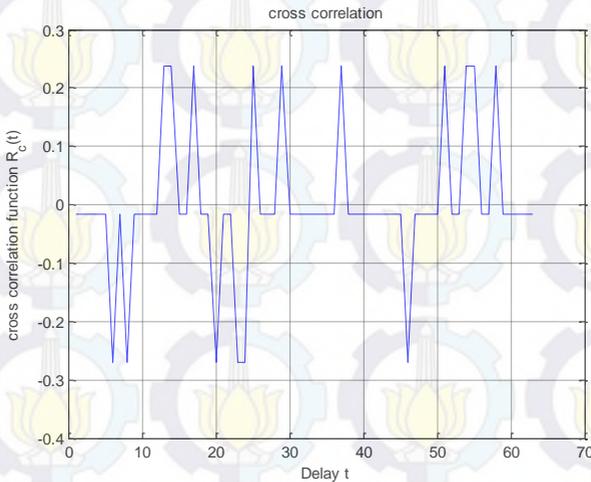
Fungsi korelasi silang ini sangat penting didalam pemilihan deretan kode karena dapat memperkecil kesalahan sinkronisasi pada penerima. Dalam membandingkan kode *large Kasami* ke 2 dan 3 dari himpunan kode *large Kasami* maka tiap – tiap kode akan dibandingkan da harus memiliki parameter yang sama. Fungsi korelasi silang sendiri adalah fungsi yang mendeteksi kesamaan dari dua buah kode yang berlainan berdasarkan parameter yang digunakan untuk fungsi korelasi silang akan disajikan hasil korelasi silang pada kode *large Kasami* deret 2 dan 3.

**Tabel 4. 2** Korelasi silang dari kode *Large Kasami*

| Pergeseran<br>$T_c$ | Korelasi<br>silang | Pergeseran<br>$T_c$ | Korelasi<br>silang | Pergeseran<br>$T_c$ | Korelasi<br>silang |
|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| 1                   | -0.0158            | 22                  | 0.2380             | 43                  | -0.0158            |
| 2                   | -0.0158            | 23                  | -0.2698            | 44                  | -0.0158            |
| 3                   | -0.0158            | 24                  | -0.0158            | 45                  | -0.2698            |
| 4                   | -0.0158            | 25                  | -0.0158            | 46                  | -0.0158            |
| 5                   | 0.23809            | 26                  | -0.0158            | 47                  | -0.0158            |
| 6                   | -0.0158            | 27                  | -0.0158            | 48                  | -0.0158            |
| 7                   | 0.2380             | 28                  | -0.0158            | 49                  | -0.0158            |
| 8                   | 0.2380             | 29                  | -0.2698            | 50                  | -0.2698            |

| Pergeseran $T_c$ | Korelasi silang | Pergeseran $T_c$ | Korelasi silang | Pergeseran $T_c$ | Korelasi silang |
|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 9                | -0.0158         | 30               | -0.0158         | 51               | -0.0158         |
| 10               | 0.23809         | 31               | 0.23809         | 52               | -0.0158         |
| 11               | 0.23809         | 32               | -0.0158         | 53               | -0.0158         |
| 12               | -0.0158         | 33               | -0.0158         | 54               | -0.0158         |
| 13               | -0.0158         | 34               | -0.0158         | 55               | -0.2698         |
| 14               | -0.0158         | 35               | -0.0158         | 56               | -0.0158         |
| 15               | -0.0158         | 36               | 0.23809         | 57               | -0.0158         |
| 16               | -0.0158         | 37               | -0.0158         | 58               | -0.0158         |
| 17               | -0.0158         | 38               | -0.0158         | 59               | 0.2380          |
| 18               | -0.0158         | 39               | -0.0158         | 60               | -0.0158         |
| 19               | -0.0158         | 40               | -0.0158         | 61               | -0.2698         |
| 20               | -0.0158         | 41               | -0.0158         | 62               | 0.2380          |
| 21               | -0.0158         | 42               | -0.0158         | 63               | -0.0158         |

Berdasarkan hasil tabel 4.1 yang disajikan diatas menunjukan bahwa fungsi korelasi silang mempunyai nilai yang sama dengan nilai fungsi autokorelasi yaitu 0.2380, -0.2698, dan -0.0158. Dimana kode 2 dan kode 3 terjadi interferensi yang dapat menyebabkan *multiple access interference*. Gambar 4.2 adalah hasil plotting fungsi korelasi silang kode 2 dan 3.



**Gambar 4. 2** Korelasi Silang dari Kode *Large Kasami*

## 4.2 Pengujian dan Analisa Hasil Kinerja kode Kasami pada sistem CDMA

Pada sub bab ini akan dibahas mengenai kinerja sistem CDMA menggunakan kode *large* Kasami yang disimulasikan pada WARP.

### 4.2.1 Pengujian dan Analisa Hasil Kinerja Kode Kasami dengan Variasi Jumlah *User* terhadap Daya Pancar

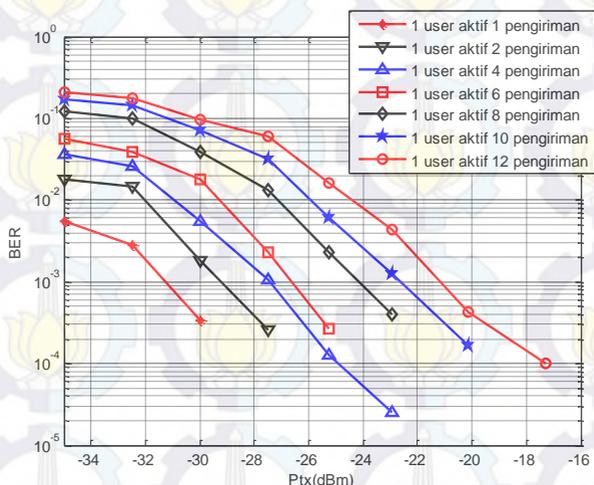
Pada pengukuran ini dilakukan dengan bervariasi jumlah *user* aktif, didapatkan nilai BER terhadap perbandingan daya pancar (PTx). Pengukuran dilakukan dengan mengubah level daya pancar (Tx\_Rf) dari 0 sampai 60 pada jarak yang sama yaitu 3 dan 5 m. Untuk memperoleh hasil yang akurat, dilakukan pengambilan nilai BER dari 5 kali percobaan. Berikut hasil pada tabel 4.3 pengiriman *single user* yang divariasikan pada beberapa jumlah pengiriman. Variasi jumlah *user* pada saat pengiriman yang digunakan yakni 1, 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 *user*.

**Tabel 4. 3** Kinerja BER Terhadap Ptx Berdasarkan Pengiriman 1 *User*

| Ptx (dBm)      | 1 <i>User</i> pada pengiriman <i>User</i> ke- |        |         |                  |        |                  |                  |
|----------------|---|--------|---------|------------------|--------|------------------|------------------|
|                | 1   | 2      | 4       | 6                | 8      | 10               | 12               |
| -35            | 0.0056  | 0.0180 | 0.03687 | 0.0561           | 0.1207 | 0.171            | 0.2              |
| -32.5          | 0.0028  | 0.0145 | 0.02567 | 0.0393           | 0.0987 | 0.142            | 0.1              |
| -30            | 0.0003  | 0.0018 | 0.0056  | 0.0179           | 0.0393 | 0.071            | 0.09             |
| -27.5          | 0   | 0.0002 | 0.00107 | 0.0023           | 0.0133 | 0.031            | 0.06             |
| -25.25         | 0   | 0      | 0.00012 | 0.0002           | 0.0023 | 0.006            | 0.01             |
| -22.937        | 0   | 0      | 0.00002 | 10 <sup>-4</sup> | 0.0004 | 0.001            | 0.003            |
| -20.1          | 0   | 0      | 0       | 0                | 0      | 10 <sup>-4</sup> | 0.0005           |
| -17.3          | 0   | 0      | 0       | 0                | 0      | 0                | 10 <sup>-4</sup> |
| -14.5          | 0   | 0      | 0       | 0                | 0      | 0                | 10 <sup>-5</sup> |
| -12.6 s/d-4.71 | 0   | 0      | 0       | 0                | 0      | 0                | 0                |

Pada tabel 4.3 adalah menunjukkan kinerja BER terhadap daya pancar pada pengiriman 1 *user*. Dengan daya pancar -35 dBm untuk *user* 1 menghasilkan nilai BER 0.0056, untuk *user* 2 menghasilkan nilai BER 0.0180, untuk 4 *user* menghasilkan nilai BER 0.03687, untuk *user* 6 menghasilkan nilai BER 0.0561, untuk *user* 8 menghasilkan nilai BER 0.1207, pada *user* 10 menghasilkan nilai BER 0.171, dan yang terakhir untuk *user* 12 menghasilkan nilai BER 0.2. Sehingga dapat diketahui dengan daya pancar -35 dBm dengan penambahan *user* menghasilkan

nilai BER yang semakin besar. Untuk mendapatkan nilai BER 0 dibutuhkan daya pancar yang semakin besar seiring dengan pertambahan *user*. Pada saat daya pancar  $-27.5$  dBm menghasilkan nilai BER 0 untuk pengiriman 1 *user*. Pada saat daya pancar  $-25.25$  dBm menghasilkan nilai BER 0 untuk pengiriman 2 *user*. Pada saat daya pancar  $-20.1$  dBm menghasilkan nilai BER 0 untuk pengiriman 4 *user*. Pada saat daya pancar  $-17.3$  dBm menghasilkan nilai BER 0 untuk pengiriman 10 *user*. Pada saat daya pancar  $-12.6$  dBm dengan nilai BER 0 untuk pengiriman 12 *user*. Berikut adalah grafik hasil pengamatan *user* 1 aktif pada jumlah variasi pengiriman sampai dengan pengiriman 12 pengiriman melalui kanal *real*.



**Gambar 4. 3** Kinerja BER terhadap  $P_{Tx}$  Pengamatan pada 1 *User*

Merujuk pada hasil yang diperoleh dalam gambar 4.3 untuk menghasilkan BER  $10^{-4}$  pengiriman 1 *user* membutuhkan level daya pancar sekitar  $-30$  dBm. pengiriman 2 *user* membutuhkan level daya pancar sekitar  $-27.5$  dBm, pengiriman 4 *user* membutuhkan level daya pancar sekitar  $-25.25$  dBm, pengiriman 6 *user* membutuhkan level daya pancar sekitar  $-22.937$  dBm, pengiriman 8 *user* membutuhkan level daya pancar sekitar  $-22.937$  dBm, pengiriman 10 *user* membutuhkan level daya pancar sekitar  $-20.1$  dBm, pengiriman 12 *user* membutuhkan level daya pancar sekitar  $-17.3$  dBm sehingga semakin banyak jumlah *user*

yang dikirim maka daya pancar yang dibutuhkan semakin besar seiring dengan pertambahan sejumlah *user* pada proses pengiriman.

Selanjutnya dilakukan variasi pengiriman pada 6 *user* aktif sebanyak 12 *user* pengiriman. Untuk akurasi hasil, dilakukan pengambilan nilai BER dari 5 kali percobaan. Berikut hasil pengukuran pada tabel 4.4 kinerja BER terhadap daya pancar pada saat pengiriman 6 *user* aktif

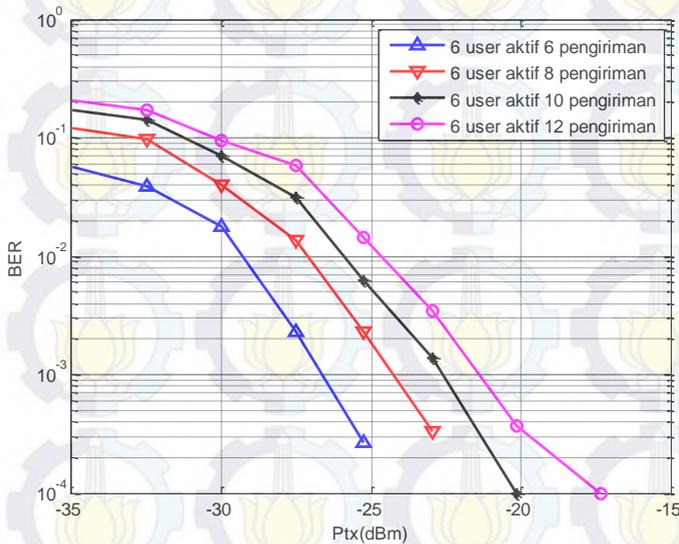
**Tabel 4. 4** Kinerja BER Terhadap Ptx Berdasarkan Pengiriman 6 *User*

| PTx (dBm)      | 6 <i>User</i> pada pengiriman <i>User</i> ke- |        |        |         |
|----------------|---|--------|--------|---------|
|                | 6   | 8      | 10     | 12      |
| -35            | 0.05613                                       | 0.1221 | 0.1723 | 0.140   |
| -32.5          | 0.0393  | 0.0974 | 0.2059 | 0.1723  |
| -30            | 0.0179  | 0.040  | 0.0710 | 0.0935  |
| -27.5          | 0.0023  | 0.0137 | 0.0313 | 0.0580  |
| -25.25         | 0.0002  | 0.0023 | 0.0062 | 0.0144  |
| -22.9375       | 0   | 0.0003 | 0.0014 | 0.0034  |
| -20.1          | 0   | 0      | 0.0001 | 0.00036 |
| -17.3          | 0   | 0      | 0      | 0.0001  |
| -14.5s/d -4.71 | 0   | 0      | 0      | 0       |

Berdasarkan tabel 4.4 menunjukkan pada daya pancar -22.9375 dBm dengan kapasitas 6 *user* aktif menunjukkan nilai BER 0, kapasitas 10 *user* mampu menghasilkan nilai BER 0.0003 dan dengan kapasitas 12 pengguna mampu menghasilkan nilai BER 0.0034. Sehingga untuk kapasitas pengguna yang semakin besar maka nilai daya pancar harus lebih besar untuk memperoleh nilai BER yang lebih baik. Dari nilai kapasitas untuk *user* aktif dan nilai BER yang diperoleh ketika kode Kasami mengirimkan jumlah 6 *user* lebih baik dibandingkan dengan kode Kasami yang mengirimkan jumlah 12 *user* ini dapat disebabkan karena adanya korelasi silang antar *user* yang menyebabkan semakin besar *user* yang dikirim maka nilai BER akan semakin tinggi dikarenakan jumlah *error* pada data semakin banyak.

Merujuk pada tabel 4.4 dapat dibuat grafik pada gambar 4.4, pada hasil pengiriman untuk 6 *user* aktif mencapai nilai BER  $10^{-4}$  saat Ptx -25.25 dBm, untuk 8 *user* yang aktif mencapai nilai BER  $10^{-4}$  saat Ptx -22.9375 dBm., untuk 10 *user* mencapai nilai BER  $10^{-4}$  saat Ptx -20.1 dBm, dan untuk 12 *user* mencapai nilai BER  $10^{-4}$  saat Ptx -17.3dBm,

sehingga saat daya pancar 27.5 dB namun bisa mencapai nilai BER  $10^{-3}$  saat daya pancar tersebut 6 *user* aktif kinerjanya lebih baik 0.056 dBm dibandingkan 12 *user* aktif. Sehingga dapat diketahui daya pancar yang dibutuhkan 12 *user* lebih banyak 0.056 dBm daripada daya pancar yang diperlukan untuk 6 *user* aktif.



**Gambar 4. 4** Kinerja BER terhadap P<sub>Tx</sub> Pengamatan pada 6 *User*

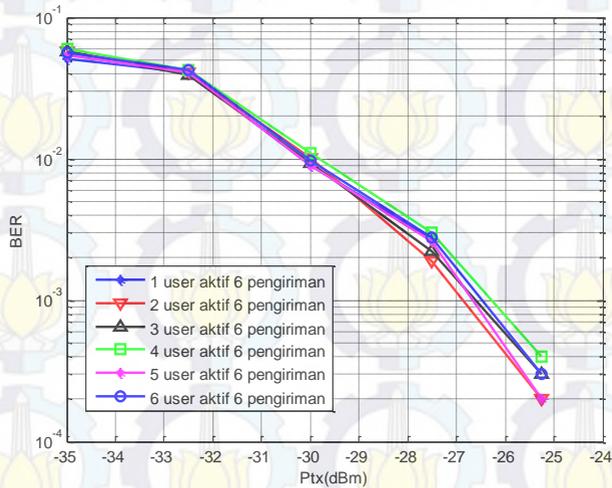
Melihat pada hasil yang diperoleh dalam gambar 4.4 6 *user* aktif dengan 6 pengiriman menghasilkan nilai BER yang lebih baik bila dibandingkan dengan hasil 6 *user* aktif pada saat pengiriman 12 *user*. Sehingga dapat dilihat bahwa semakin banyak jumlah *user* yang dikirim maka semakin besar nilai BER yang diperoleh, selain itu daya pancar juga berpengaruh untuk mempengaruhi kinerja sistem.

Selanjutnya dilakukan pengamatan pada tiap *user* yang aktif untuk pengukuran kinerja BER terhadap pengiriman 6 *user* secara bersamaan. Tabel 4.5 akan menunjukkan kinerja sistem dengan perbandingan BER terhadap daya pancar pada pengiriman 6 *user* secara simultan.

**Tabel 4. 5** Kinerja BER terhadap Daya Pancar pada Pengiriman 6 User secara Bersamaan

| PTx (dBm)          | User   |        |        |        |        |        |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                    | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      |
| -35                | 0.051  | 0.0572 | 0.0574 | 0.0593 | 0.0535 | 0.056  |
| -32.5              | 0.0408 | 0.0403 | 0.0394 | 0.0424 | 0.0411 | 0.0421 |
| -30                | 0.009  | 0.0102 | 0.0094 | 0.0109 | 0.009  | 0.0097 |
| -27.5              | 0.0027 | 0.0019 | 0.0022 | 0.003  | 0.0026 | 0.0028 |
| -25.25             | 0      | 0.0002 | 0.0003 | 0.0004 | 0.0002 | 0.0003 |
| -22.9375 s/d -4.71 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |

Merujuk pada tabel 4.5 dapat dibentuk grafik dibawah ini



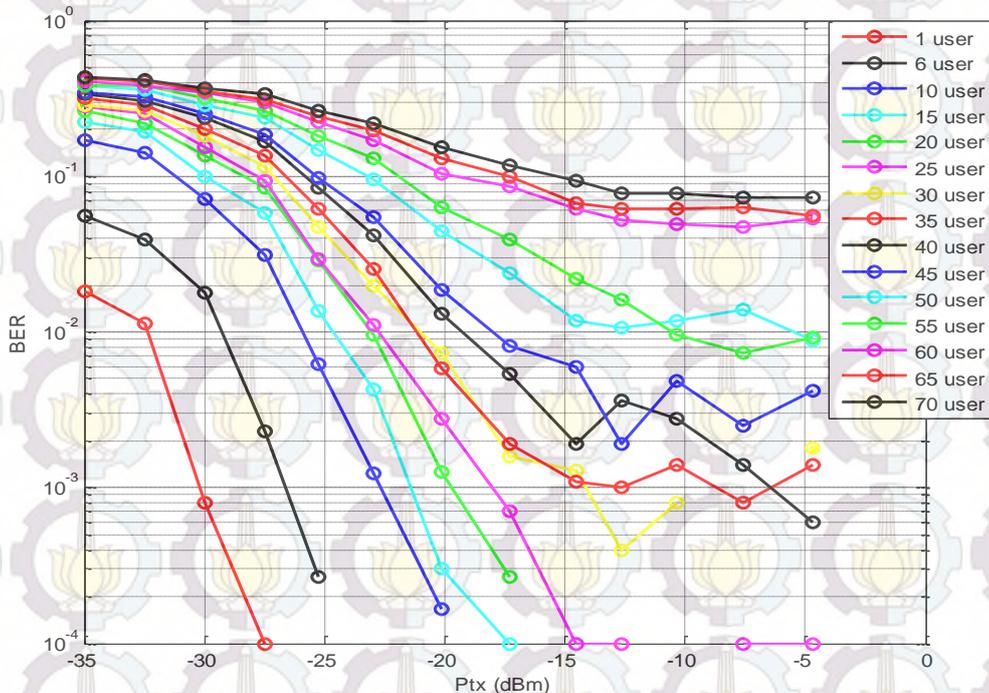
**Gambar 4. 5** Kinerja BER terhadap PTx Pengamatan User Aktif pada Pengiriman 6 User

Pada pengukuran ini diamati nilai BER terhadap daya pancar pada tiap user aktif dengan pengiriman 6 user. Saat 1, 2, 3, 4, 5, 6 user aktif dengan nilai ptx -35 dBm mempunyai nilai yang hampir mendekati sama yaitu 0.051, 0.0572, 0.0574, 0.0593, 0.0535, dan 0.056 dimana mempunyai rata – rata yaitu 0.05573333.

#### 4.2.2 Pengujian dan Analisa Hasil Kinerja Kode Kasami Terhadap Batas Toleransi dalam Melayani Sejumlah User

Berdasarkan pengukuran yang dilakukan, untuk panjang deret kode *large* Kasami dengan *shift register* 6 yaitu dengan jumlah *chip* 63, dapat membangkitkan banyak jumlah kode sebanyak 520 kode. Banyaknya jumlah kode yang dapat dibangkitkan, diharapkan semakin banyak *user* yang dapat dilayani. Pengukuran ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui seberapa besar batas toleransi kinerja kode *large* Kasami untuk mengirimkan sejumlah *user* dan ditransmisikan ke dalam modul WARP. Dimana akan dilakukan penambahan *user* dengan indikator BER.

Pada gambar 4.6 nilai BER akan semakin besar seiring dengan bertambahnya jumlah *user*. Kode Kasami mempunyai sifat non *orthogonal* hal ini yang menyebabkan adanya korelasi silang antar kode. Korelasi silang ini memicu adanya interferensi sehingga apabila *user* yang dikirim semakin banyak maka munculnya *error* akan semakin besar. Kode *large* Kasami dapat dibangkitkan sebanyak 520 deretan kode hal ini tidak dapat terealisasi dengan baik dikarenakan pada saat 70 *user* dikirimkan, jumlah BER sudah sangat tinggi. Hal ini menimbulkan ketidak efisiensinya pengiriman menggunakan kode *large* Kasami walaupun kode *large* Kasami dapat dibangkitkan dengan deretan yang besar. Gambar 4.6. menunjukkan pada satu *user* sampai dengan 20 *user* kode Kasami masih dapat melayani *user* dengan baik. Pada saat *user* memasuki 25 *user* muncul BER pada saat daya pancar -7.5625 dBm ini memperlihatkan bahwa kode Kasami terganggu walaupun sudah mengalami penguatan yang lebih besar dari penguatan sebelumnya yakni pada daya pancar -10.375 dBm. Sama halnya sampai dengan hasil pada 55 *user* sampai dengan 70 *user* , nilai BER mengalami kenaikan yang cukup signifikan. Adanya kenaikan BER pada saat BER telah turun disebabkan kode *large* Kasami mengalami interferensi antar kode dengan *user* yang dilayani adanya korelasi silang antar kode satu dengan lain. Sehingga bahwa untuk mengatasi MUI dan tahan terhadap MUI harus dilakukan pemilihan kode PN yang tepat untuk meminimalisasi *interference*, selain pemilihan kode hal yang perlu dipertimbangkan adalah jumlah *user*, karena semakin banyak jumlah *user* yang dikirimkan interferensi semakin banyak dan menyebabkan semakin tinggi nilai BERnya.



**Gambar 4. 6** Kurva BER pada kemampuan kode *large* Kasami melayani *User*

### 4.2.3 Pengujian dan Analisa Hasil Kinerja Kode *Large Kasami* Berdasarkan Perbandingan Jarak

Pada pengukuran ini dilakukan pengamatan terhadap kinerja sistem untuk mengetahui bagaimana pengaruh jarak antara penerima dan pemancar pada sebuah sistem komunikasi. Mengacu pada teori bahwa semakin jauh jarak antara antenna pemancar dan penerima akan membuat sinyal yang diterima lebih kecil hal ini yang dapat menyebabkan terjadinya *error* yang akan semakin besar. Pengukuran dengan mengubah fungsi jarak antara *node* pengirim dan penerima pada kondisi LOS dengan jarak 3 meter dan 5 meter. Perbandingan jarak terhadap *user* 2, 8, dan 20 ditunjukkan pada tabel berikut.

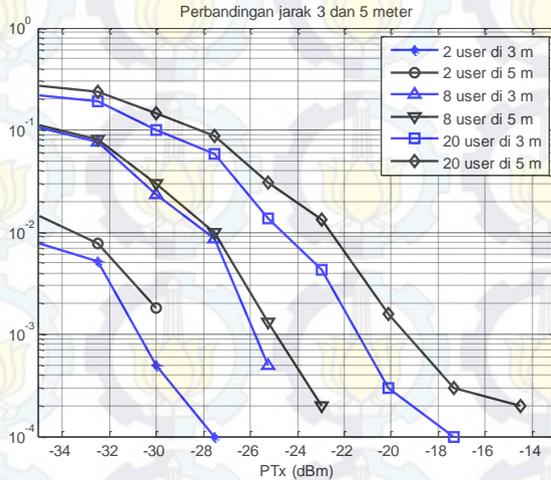
**Tabel 4. 6 BER Terhadap Jarak 3 Meter Dengan 2, 8, Dan 20 User**

| Daya Pancar (dBm) | 3 meter |        |         |
|-------------------|---------|--------|---------|
|                   | 2 user  | 8 user | 20 user |
| -35               | 0.0077  | 0.1049 | 0.221   |
| -33.5             | 0.0052  | 0.0762 | 0.1928  |
| -32               | 0.0005  | 0.0235 | 0.0995  |
| -30.5             | 0.0001  | 0.0086 | 0.0576  |
| -29               | 0       | 0.0005 | 0.0136  |
| -27.5             | 0       | 0      | 0.0043  |
| -26.125           | 0       | 0      | 0.0003  |
| -24.8125          | 0       | 0      | 0.0001  |
| -23.5 s/d -15.0   | 0       | 0      | 0       |

**Tabel 4. 7 BER Terhadap Jarak 5 Meter Dengan 2, 8, Dan 20 User**

| Daya Pancar (dBm) | 5 meter |        |         |
|-------------------|---------|--------|---------|
|                   | 2 user  | 8 user | 20 user |
| -35               | 0.0143  | 0.1118 | 0.2691  |
| -33.5             | 0.0078  | 0.0812 | 0.2389  |
| -32               | 0.0018  | 0.0298 | 0.1456  |
| -30.5             | 0       | 0.0298 | 0.087   |
| -29               | 0       | 0.0099 | 0.0308  |
| -27.5             | 0       | 0.0013 | 0.0134  |
| -26.125           | 0       | 0.0002 | 0.0016  |
| -24.8125          | 0       | 0      | 0.0003  |
| -23.5             | 0       | 0      | 0.0002  |
| -21.8 s/d -15.0   | 0       | 0      | 0       |

Tabel 4.6 dan 4.7 merupakan nilai *bit error rate* yang didapatkan dari perbandingan jarak pada 3 dan 5 meter dengan pengamatan *user* yang dikirim sebanyak 2, 8, dan 20 *user* Merujuk pada tabel 4.5 dan 4.6 diperoleh grafik seperti pada gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Kurva BER Berdasarkan Perbandingan Jarak

Berdasarkan gambar kurva yang disajikan pada gambar 4.7 diatas dengan melakukan perubahan jarak, dapat diamati bahwa pada saat pengukuran sebesar 3 meter menghasilkan nilai BER yang lebih kecil dengan melihat pengamatan pada saat pengiriman 2 *user* dengan jarak 3 meter nilai BER dihasilkan 0.0077 sementara untuk pengiriman yang sama dengan jarak 5 meter menghasilkan nilai BER 0.014 sehingga pada pengiriman tersebut mempunyai selisih 0.0063. Pada pengiriman 8 *user* dengan selisih jarak 2 meter menghasilkan nilai BER 0.1049 pada jarak 3 meter dan 0.1118 pada jarak 5 meter sehingga didapatkan selisih BER 0.0069. Pada pengiriman 20 *user* menghasilkan 0.221 pada jarak 3 meter dan 0.2691 pada jarak 5 meter sehingga didapatkan selisih BER 0.0481. Hal ini menandakan bahwa jarak mempengaruhi kualitas kerja sistem komunikasi. Semakin jauh jarak antara antena pemancar dan penerima maka sinyal yang di transmisikan dengan daya pancar yang tetap akan mengalami pelemahan sehingga nilai BER semakin besar.

#### 4.2.4 Pengujian dan Analisa Hasil Kinerja BER terhadap nilai Eb/No

Sebelumnya dilakukan pengukuran berdasarkan BER terhadap variasi daya pancar. Untuk lebih detail dilakukan pengukuran kinerja BER terhadap nilai energi noise pada sistem sehingga pengukuran sebelumnya dapat divalidasi karena pada pengiriman berdasarkan daya pancar belum tentu dapat diterima dengan baik oleh penerima.

Pada sistem CDMA *user* yang dikirim, hal yang paling mempengaruhi baik tidaknya sinyal yang diterima adalah besarnya *noise*. Apabila terdapat gangguan seperti *noise* membuat kinerja sistem akan memburuk dikarenakan sinyal yang diterima mempunyai nilai *noise* yang tinggi.

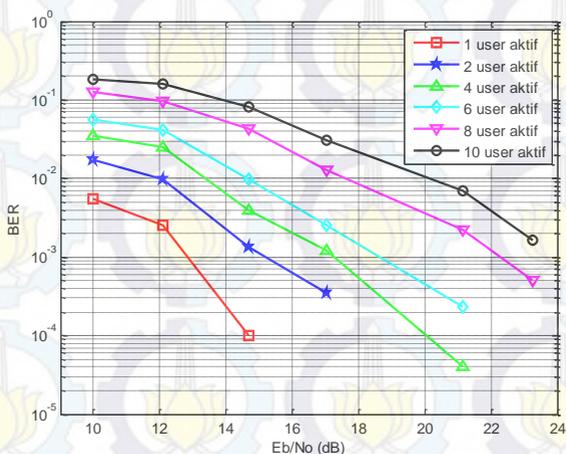
Untuk mendapatkan nilai energi noise dan energi symbol pada sistem, diawali dengan mengambil nilai *real* (inphase) dari sinyal yang telah mengalami *despreading*. Dari nilai *real* tersebut, kemudian dihitung nilai rata-rata energi simbolnya. Langkah selanjutnya, nilai *real* yang didapatkan kemudian diubah ke sisi positif dengan tujuan agar sinyal yang memiliki nilai bernilai positif untuk kemudian dihitung *varianceny*. Nilai *variance* inilah yang akan menunjukkan energi noise dan energi simbol pada sistem. Dengan melakukan perbandingan dan perubahan ke dalam bilangan logaritmik sistem dapat dihitung dan digambarkan seperti pada gambar 4.8 dimana perbandingan kinerja BER pada pengiriman *user* 1 dari pengiriman 10 *user*.

**Tabel 4. 8.** Kinerja BER Terhadap Eb/No Berdasarkan Pengiriman 1 User 3 Meter

| Eb/No (dB)  | Bit Error Rate (BER)            |         |          |         |         |        |
|-------------|---------------------------------|---------|----------|---------|---------|--------|
|             | Saat pengiriman <i>user</i> ke- |         |          |         |         |        |
|             | 1                               | 2       | 4        | 6       | 8       | 10     |
| 9.98426134  | 0.0055                          | 0.0175  | 0.03515  | 0.0557  | 0.1244  | 0.1817 |
| 12.09109931 | 0.0025                          | 0.00975 | 0.025475 | 0.04101 | 0.0966  | 0.1598 |
| 14.68224604 | 0.0001                          | 0.00135 | 0.004    | 0.0097  | 0.0430  | 0.0803 |
| 17.02705131 | 0                               | 0.00035 | 0.0012   | 0.0025  | 0.01298 | 0.031  |
| 21.16317188 | 0                               | 0       | 0.00004  | 0.00023 | 0.00218 | 0.0069 |
| 23.23967487 | 0                               | 0       | 0        | 0       | 0.0005  | 0.0016 |
| 26.43832646 | 0                               | 0       | 0        | 0       | 0       | 0      |

Merujuk pada tabel 4.8 yang ditunjukkan pada grafik pada gambar 4.8, pada hasil pengiriman untuk 1 *user* aktif mencapai nilai BER  $10^{-4}$  saat Eb/No 14.68224604 dB.

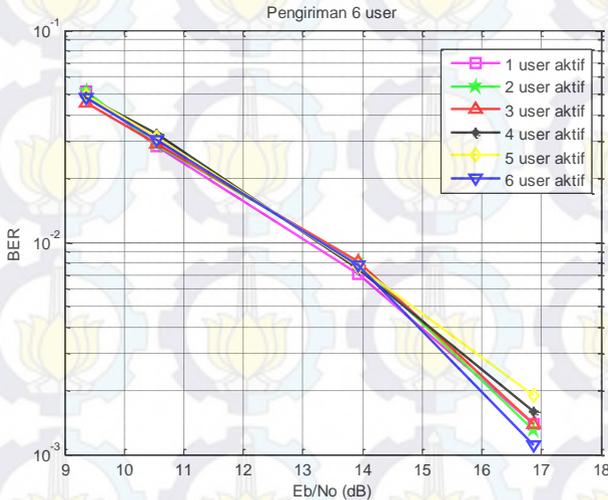
Untuk 2 *user* yang aktif mencapai nilai BER  $10^{-4}$  saat Eb/No 17.02705131 dB, untuk 4 *user* mencapai nilai BER  $10^{-5}$  saat Eb/No 21.16317188 dB, dan untuk 6 *user* mencapai nilai BER  $10^{-4}$  saat Eb/No 21.16317188 dB, dan untuk 8 *user* mencapai nilai BER  $10^{-4}$  saat Eb/No 23.23967487dB, dan untuk 10 *user* mencapai nilai BER 0 saat Eb/No 26.43832646 dB. Sehingga saat Eb/No 21.16317188 dB sudah mampu menghasilkan *error bit* dengan nilai  $10^{-4}$  sampai pengiriman *user* ke 6, namun untuk mengirimkan *user* yang lebih banyak yakni 12 *user* dibutuhkan Eb/No yang lebih besar yaitu 26.43832646.



**Gambar 4. 8** Kinerja BER terhadap Eb/No Pengiriman 10 *User* pada Jarak 3 Meter

**Tabel 4. 9.** Kinerja BER Terhadap Eb/No Berdasarkan Pengiriman 6 *User* pada Jarak 5 Meter

| Eb/No (dB)           | Bit Error Rate (BER)   |        |        |        |        |        |
|----------------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                      | User 2 saat pengiriman |        |        |        |        |        |
|                      | 1 user                 | 2 user | 3 user | 4 user | 5 user | 6 user |
| 9.367514905          | 0.0514                 | 0.0515 | 0.0453 | 0.0487 | 0.0494 | 0.0478 |
| 10.5420517           | 0.0285                 | 0.0286 | 0.0291 | 0.0324 | 0.0314 | 0.0304 |
| 13.92434384          | 0.0071                 | 0.0081 | 0.0081 | 0.0075 | 0.0077 | 0.0078 |
| 16.86456085          | 0.0014                 | 0.0013 | 0.0014 | 0.0016 | 0.0019 | 0.0011 |
| 20.38174053 s/d 35.6 | 0                      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |



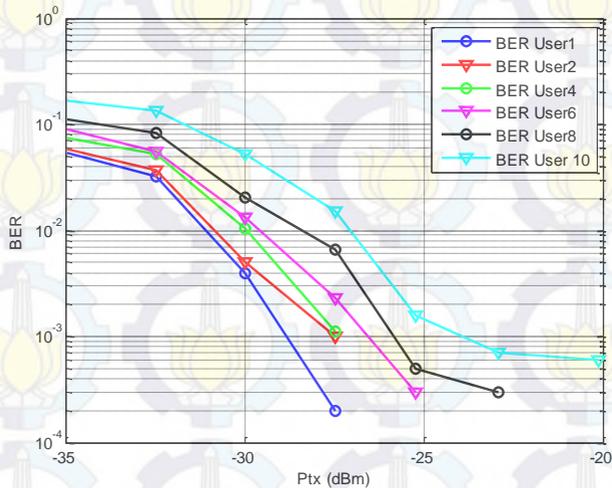
**Gambar 4. 9** Kinerja BER terhadap Eb/No berdasarkan 6 user pada Jarak 5 Meter

Pada gambar Grafik 4.11 menggambarkan kinerja kode Kasami pada pengiriman 6 user dengan menelaah pada tiap user yang dikirimkan. Pengambilan hasil ini dilakukan dengan jarak 5 meter dimana dapat dilihat pada jarak 5 meter membutuhkan Eb/No sekitar 17 dB untuk mencapai BER  $10^{-3}$  bila dibandingkan pada gambar 4.9 yaitu pengambilan user yang sama membutuhkan Eb/No 21 dB untuk mencapai BER  $10^{-4}$ .

#### 4.2.5 Pengujian dan Analisa Hasil Perbandingan Kinerja Menggunakan Modulasi BPSK dengan QPSK

Salah satu jenis modulasi digital yang memungkinkan untuk memilih besarnya nilai efisiensi *bandwidth* adalah modulasi PSK (*Phase Shift Keying*). Jika sinyal informasi mempunyai logika "1" maka sistem akan mentransmisikan sinyal pembawa dengan suatu fase tertentu misalnya fase  $0^0$ , sedangkan jika sinyal informasi mempunyai logika "0" maka sistem akan mentransmisikan sinyal pembawa dengan suatu fase yang lain, misalnya fase  $180^0$ .

Setiap kali level atau tingkat PSK meningkat (BPSK, QPSK, 8 – PSK, dan seterusnya), maka efisiensi *bandwidth* juga meningkat. Semakin besar efisiensi *bandwith* maka semakin sempit *bandwidth* yang dibutuhkan untuk transmisi data.

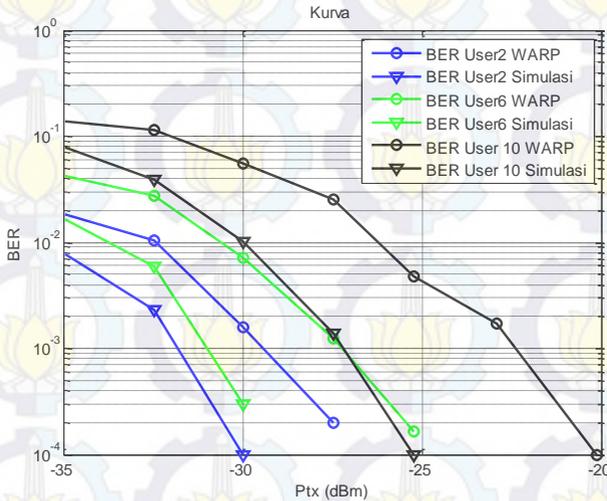


**Gambar 4. 10 Kinerja BER terhadap Ptx Pada Pengiriman 10 User**

Pada gambar 4.12 terlihat BER terhadap daya pancar dengan pengiriman 10 user dimana seiring pertambahan user maka daya yang dipancarkan dibutuhkan semakin besar.

#### 4.2.6 Pengujian dan Analisa Hasil Perbandingan Simulasi dan Implementasi pada WARP

Pengujian selanjutnya dengan membandingkan dengan simulasi dengan pengiriman user pada kanal WARP dimana user yang dikirim adalah 2, 6, dan 10 user berikut hasil perbandingan antara simulasi dengan pengiriman pada kanal WARP.



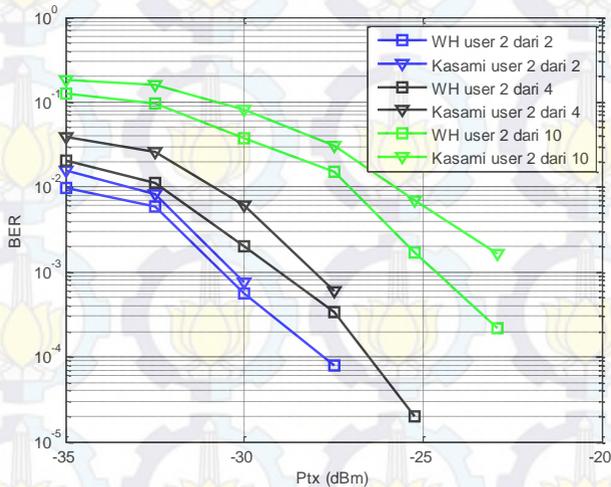
**Gambar 4. 11** Perbandingan Pengiriman *User* pada Simulasi dan WARP

Pada gambar 4.13 dapat dilihat perbandingan antara pengiriman *user* menggunakan WARP dengan pengiriman dengan simulasi. Pada pengiriman 2 *user* melalui kanal *real* (WARP) dengan daya pancar -35 dBm menghasilkan nilai BER 0.0185 sementara pada simulasi BER yang dihasilkan nilai BER 0.0077. untuk pengiriman 6 *user* dihasilkan nilai BER 0.0425, sementara pada simulasi nilai BER yang dihasilkan 0.0166. pada pengiriman 10 *user* nilai BER pada WARP sebesar 0.1373, pada simulasi didapatkan hasil BER 0.0795. sehingga dapat dilihat BER yang dihasilkan pada WARP mempunyai nilai yang lebih besar bila dibandingkan dengan hasil BER pada simulasi.

### 4.3 Analisa Perbandingan Kode Kasami dan Kode Walsh

#### 4.3.1 Analisa berdasarkan BER

Pengujian selanjutnya dilakukan perbandingan antara kode Kasami dengan kode Walsh Hadamard dimana parameter perbandingan pada pengiriman *user* ke 2, 4, dan 10. Berikut grafik pada gambar 4.12 yang dapat menampilkan perbandingan kinerja kode Kasami dengan kode yang mempunyai sifat orthogonalitas yakni kode Walsh.



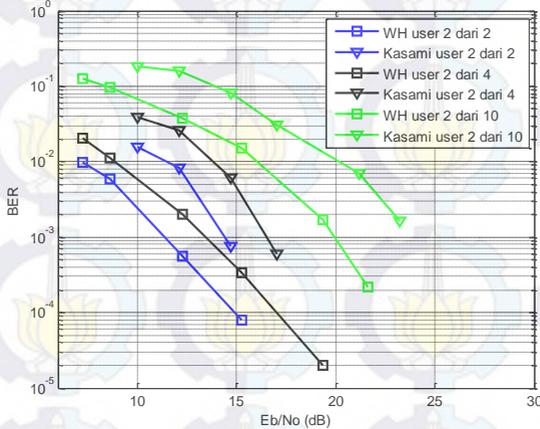
**Gambar 4. 12** Perbandingan Kode Walsh dan Kode Kasami terhadap Daya Pancar (Ptx)

Pada gambar 4.14 dapat dilakukan pengamatan terhadap daya pancar yang digunakan untuk melihat kinerja kode Kasami dan kode Walsh dimana dapat dilihat kode Kasami membutuhkan daya pancar yang lebih besar bila dibandingkan dengan pengiriman sejumlah *user* menggunakan kode Kasami. Untuk pengiriman 2 *user* kode Kasami membutuhkan daya pancar -35 dBm untuk menghasilkan nilai BER 0.01545 sementara dengan daya pancar yang sama kode Walsh telah mempunyai nilai BER 0.0096. Untuk pengiriman 4 *user* kode Kasami membutuhkan daya pancar -35 dBm untuk menghasilkan nilai BER 0.0389 sementara dengan daya pancar yang sama kode Walsh telah mempunyai nilai BER 0.02062.

Selanjutnya pengiriman 10 *user* kode Kasami membutuhkan daya pancar -35 dBm untuk menghasilkan nilai BER 0.18177 dBm sementara dengan daya pancar yang sama kode Walsh telah mempunyai nilai BER 0.12494. hasil ini menunjukkan bahwa daya pancar yang digunakan kode Kasami membutuhkan daya pancar yang lebih besar dibandingkan daya yang dibutuhkan kode Walsh untuk mengirimkan sejumlah *user* pada penelitian ini dilakukan pengamatan *user* ke 2 pada saat pengiriman sampai dengan pengiriman 10 *user*.

### 4.3.2 Analisa berdasarkan Eb/NO

Untuk mendapatkan nilai dengan validasi yang lebih tepat dibandingkan dengan Eb/No pada perbandingan kode Kasami dan Kode Walsh Hadamard dimana pengambilan ini dilakukan dengan pengiriman 10 *user* dengan pengamatan pada *user* ke 2. Berikut gambar 4.13 perbandingan nilai BER kode Kasami dan kode Walsh terhadap Eb/No.



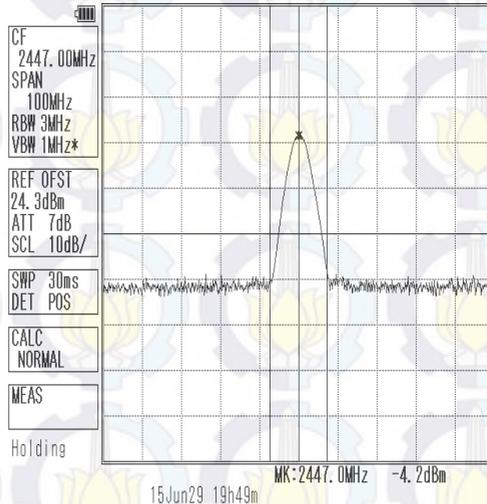
**Gambar 4.13** Perbandingan Kode Walsh dan Kode Kasami terhadap Eb/No

Gambar 4.13 menunjukkan pada pengiriman semakin banyak *user* nilai  $E_b/N_0$  yang dihasilkan semakin kecil. Dimana kode Kasami membutuhkan  $E_b/N_0$  yang lebih besar dibandingkan dengan kode Walsh untuk menghasilkan nilai BER yang semakin menurun. Pada pengiriman 2 *user* kode Kasami membutuhkan  $E_b/N_0$  17.0270 dB untuk mencapai nilai BER 0, namun kode Walsh hanya 15.249 dB.

Pengiriman 4 *user* kode Kasami membutuhkan  $E_b/N_0$  21.63 dB untuk mencapai nilai BER 0, namun kode Walsh 21.16 dB. Pengiriman dengan  $E_b/N_0$  7.22 dB kode Walsh BER yang dihasilkan 0.12, kode Kasami membutuhkan  $E_b/N_0$  9.984 dB untuk mencapai nilai BER 0.18.

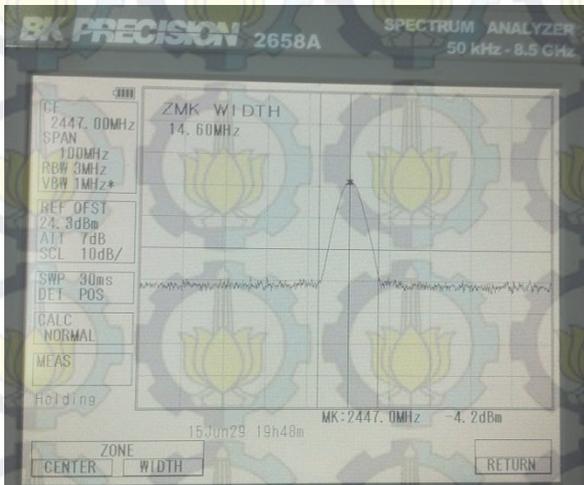
#### 4.4 Pengukuran dengan *Spektrum Analyzer*

Untuk mengetahui secara nyata/real bagaimana kinerja dari sistem dilakukan pengukuran dengan *spectrum analyzer*. Pada implementasi frekuensi carrier yang digunakan adalah 2.4 GHz (IEEE 802.11g) dan menggunakan frekuensi 2.447 GHz atau kanal 8. Gambar dibawah ini akan ditampilkan lebar pita pada passband di frekuensi kerja 2.447 GHz.



**Gambar 4. 14** *Bandwidth Passband* Frekuensi Kerja 2,447 GHz

Pada gambar 4.18 terlihat *power spectral density* dari sinyal yang dikirimkan , parameter yang diberikan adalah diberikan *level* penguatan pada Radio Frekuensi (RF) adalah 0, dapat kita lakukan konversi menjadi -35 dBm. Pada pengukuran terlihat pada titik puncak 1 menunjukkan berada pada 24,3 dBm , hal ini berarti dalam pengiriman menuju *spectrum analyzer* terjadi redaman. Bandwidth yang terlihat pada gambar 4.15 adalah 14,8 MHz.

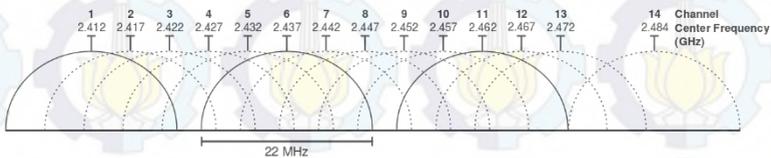


**Gambar 4. 15** Lebar Sinyal Frekuensi Kerja 2,447 GHz

Dengan merujuk pada gambar 4.16 *bandwidth* yang didapatkan hanya 14,8 MHz dikarenakan adanya batasan pengiriman pada perangkat WARP yakni adalah 20 MHz. Adapun perhitungan untuk mendapatkan bandwidth secara perhitungan.

Dimana pada penelitian digunakan simbol *rate*  $4 \times 10^6$  simbol/detik dan jumlah *chip* yang digunakan 63. Sehingga bandwidth sistem yang dibutuhkan  $4\text{MHz} \times 63 = 252 \text{ MHz}$ .

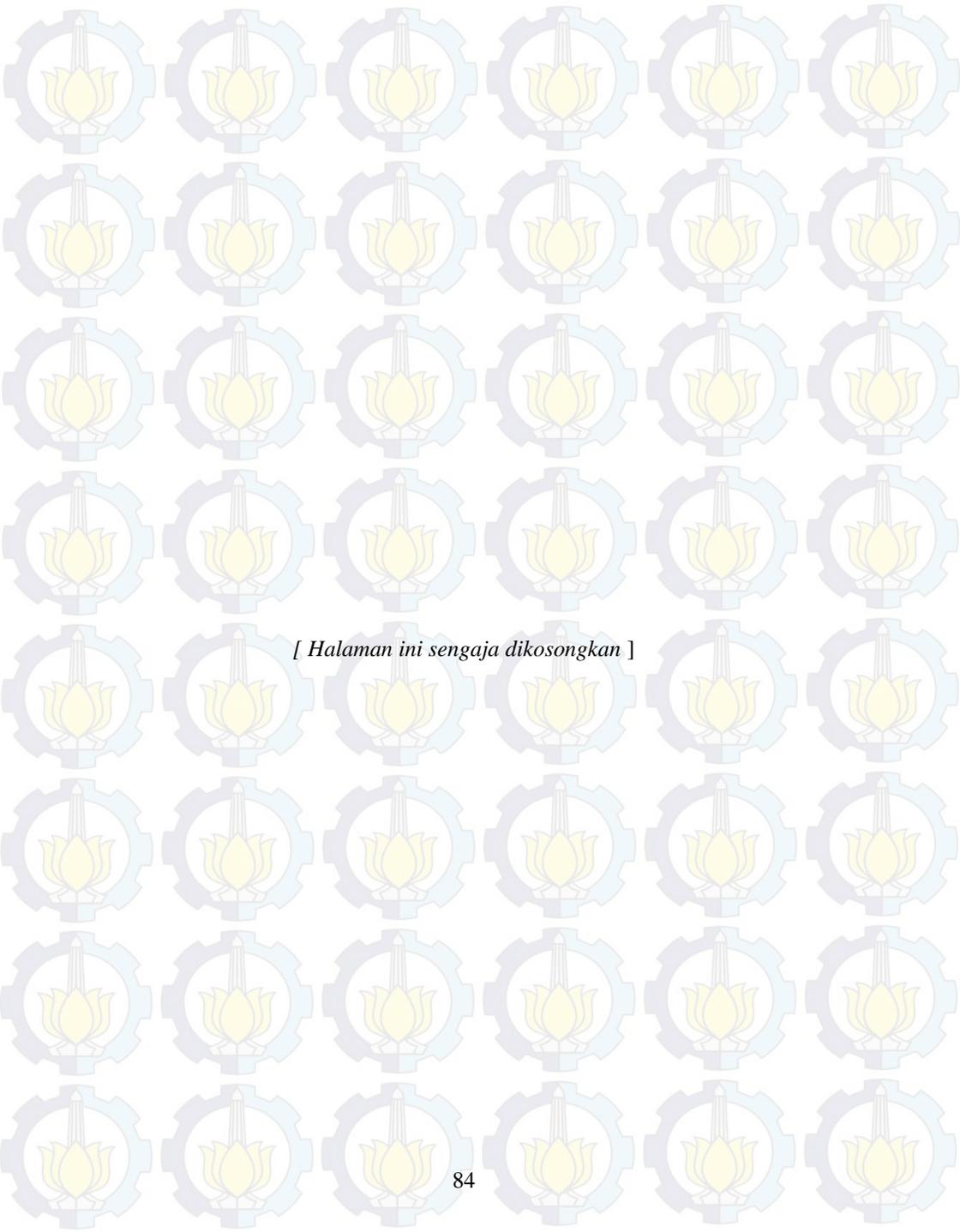
Sehingga jumlah *bandwidth* sinyal yang terlalu besar untuk melewati bandwidth sistem WARP yang sebesar 20 MHz, sehingga yang terbaca pada *spectrum analyzer* hanya sebatas 14,6 MHz adapun *noise floor* pada *spectrum analyzer* diperhitungkan sehingga bandwidth yang dicapai tidak sampai 20 MHz. Adapun pembagian kanal pada sistem ini menggunakan IEEE 802.11g seperti pada gambar dibawah ini.



**Gambar 4. 16** Range frekuensi IEEE 802.11g

## DAFTAR PUSTAKA

1. **Sasae, Iwao.** 1992. “*Digital Modulation Techniques*”. Global Telecommunications Conference, Conference Record, GLOBECOM '92. Communication for Global Users., IEEE.
2. **Divya Srivastava,** 2013, “*Spreading Codes Performance for Correlation Function Using MATLAB*”. International Journal Of Engineering Sciences Technology
3. **WARP Project** – Wireless Open Access Research Platform. <http://warp.rice.edu/trac>
4. **Proakis, John G.,** “*Digital Communications Fourth Edition*”, Prentice Hall. California. 2001.
5. **Xiong, Fuqin.** “*Digital Modulation Technique*”. United States: Artech House, INC, 2000.
6. **P Murphy, A Sabharwal, B Aazhang,** 2006, “*Design of WARP*”. A Wireless Open-Access Research Platform Signal Processing Conference’, 14th European, 1-5
7. **WARP Radio Board Overview** - Wireless Open Access Research Platform. WARP Project [http://warpproject.org/trac/wiki/HardwareUsersGuides/RadioBoard\\_v1](http://warpproject.org/trac/wiki/HardwareUsersGuides/RadioBoard_v1).
8. **Maxim Integrated Product Inc.** MAX2829/2829 Single-/Dual-Band 802.11a/b/g World-band Transceiver Ics Datasheet.2004.
9. **Andrea Goldsmith,** “*Wireless Communication*”, Cambridge University Press, 2005.
10. **Amiri, K., Sun, Y., Murphy, P., Hunter, C., Cavallaro, J. R., & Sabharwal, A.** 2007. “*WARP, a Unified Wireless Network Testbed for Education and Research*”. IEEE International Conference on Microelectronic Systems Education.



*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

## BAB 5 PENUTUP

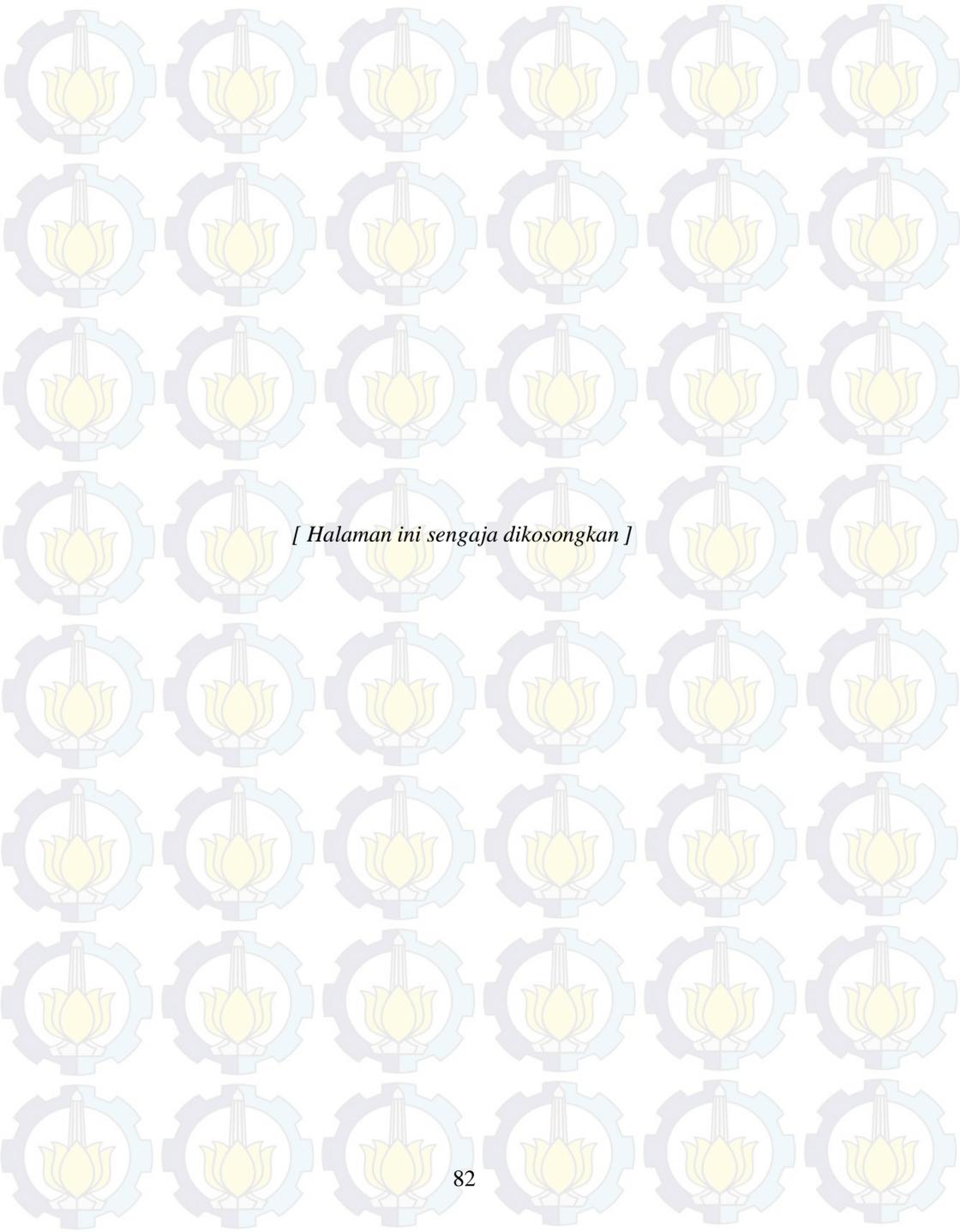
### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengukuran dan analisa yang sudah dilakukan pada Bab IV, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Kode *large* kasami mempunyai akses jamak yang besar karena dapat membangkitkan jumlah kode sebanyak 520 kode dengan jumlah *shift register* 6.
2. Batas maksimal kode *large* kasami yang dapat ditoleransi pada pengiriman secara simultan adalah 20 *user*.
3. Perbandingan jarak dapat menentukan hasil nilai BER yang diperoleh karena semakin jauh Tx dan Rx nilai BER akan semakin tinggi dimana selisih BER 0.0481 pada pengiriman 20 *user* dengan perbandingan jarak 3 dan 5 meter.
4. Dibutuhkan daya pancar besar untuk memperoleh nilai BER yang kecil, untuk menghasilkan BER  $10^{-4}$  untuk pengiriman 1, 2, 4, 6, 8, 10, dan 12 *user* secara berurutan adalah -30 dBm, -27.5 dBm, -25.25 dBm, -22.937 dBm, -22.937 dBm, -20.1 dBm, dan -17.3 dBm.
5. Pertambahan *user* dalam sistem berbanding terbalik dengan nilai Eb/No, pada pertambahan *user* dari 2 sampai 10 *user* nilai Eb/No menurun sampai dengan 9.41127515 dB.
6. Adanya korelasi silang dengan nilai 0.2380, -0.2698, dan -0.01587 antar kode menimbulkan adanya *multi user interferensi* yang menyebabkan semakin banyak *user* dikirim, data akan semakin banyak yang *error* atau rusak.

### 5.2 Saran

Dalam penggunaan kode kasami pada performasi CDMA menggunakan WARP, untuk pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan menambah sistem *Multi User Detection* (MUD) untuk mengatasi masalah *Multi User Interference* (MUI) dimana MUD dapat mendeteksi semua sinyal dari *user* dikirim secara simultan.



*[ Halaman ini sengaja dikosongkan ]*

# LAMPIRAN

## A. LEMBAR PROPOSAL

Jurusan Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Industri – ITS

TE 141599 TUGAS AKHIR – 4 SKS

12 FEB 2015

Nama Mahasiswa : Ariadna Najmy  
Nomer Pokok : 2213105034  
Bidang Studi : Teknik Telekomunikasi Multimedia  
Tugas Diberikan : Semester Genap 2014/2015  
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Titiek Suryani, MT  
2. Dr. Ir. Suwadi, MT

Usulan Tugas Akhir : **Implementasi dan Evaluasi Kinerja Kode Kasami pada CDMA Menggunakan WARP**  
*Implementation and performance evaluation of Kasami codes in CDMA using WARP*

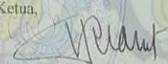
**Uraian Tugas Akhir :**  
*Code Division Multiple Access (CDMA)* adalah salah satu teknik *multiple access*, yang mendukung penggunaan *user* pada bandwidth frekuensi dan waktu yang sama. Masing – masing kanal pengguna dibedakan oleh kode *spread*. Kemampuan akses jamak yang besar pada sistem CDMA untuk memperbanyak jumlah *user* yang dapat dilayani, membutuhkan pemilihan kode *Pseudo Noise (PN)* yang banyak dengan memastikan *crosskorelasi* yang rendah pada tiap *user* salah satunya dapat dipilih kode Kasami.

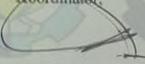
Pada tugas akhir ini, CDMA dengan kode Kasami akan diimplementasikan pada modul *Wireless Open-Access Research Platform (WARP)* yang merupakan salah satu dari jenis *Software Define Radio (SDR)*. Dengan WARP dapat terlihat unjuk kerja sistem secara *realnyata* pada kanal nirkabel. Modul WARP mampu diprogram secara langsung dengan *software* MATLAB, sehingga pemodelan sistem pada pengirim dan penerima dapat dilakukan dengan mudah. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja kode Kasami pada CDMA menggunakan WARP yang ditampilkan dalam bentuk grafik *Bit Error Rate (BER)* terhadap analisa seberapa banyak jumlah *user* yang bisa dilayani secara serentak dengan pengaruh interferensi yang masih dapat ditoleransi dan seberapa besar ketahanan terhadap *Multi User Interferensi (MUI)* untuk arah *downlink*.

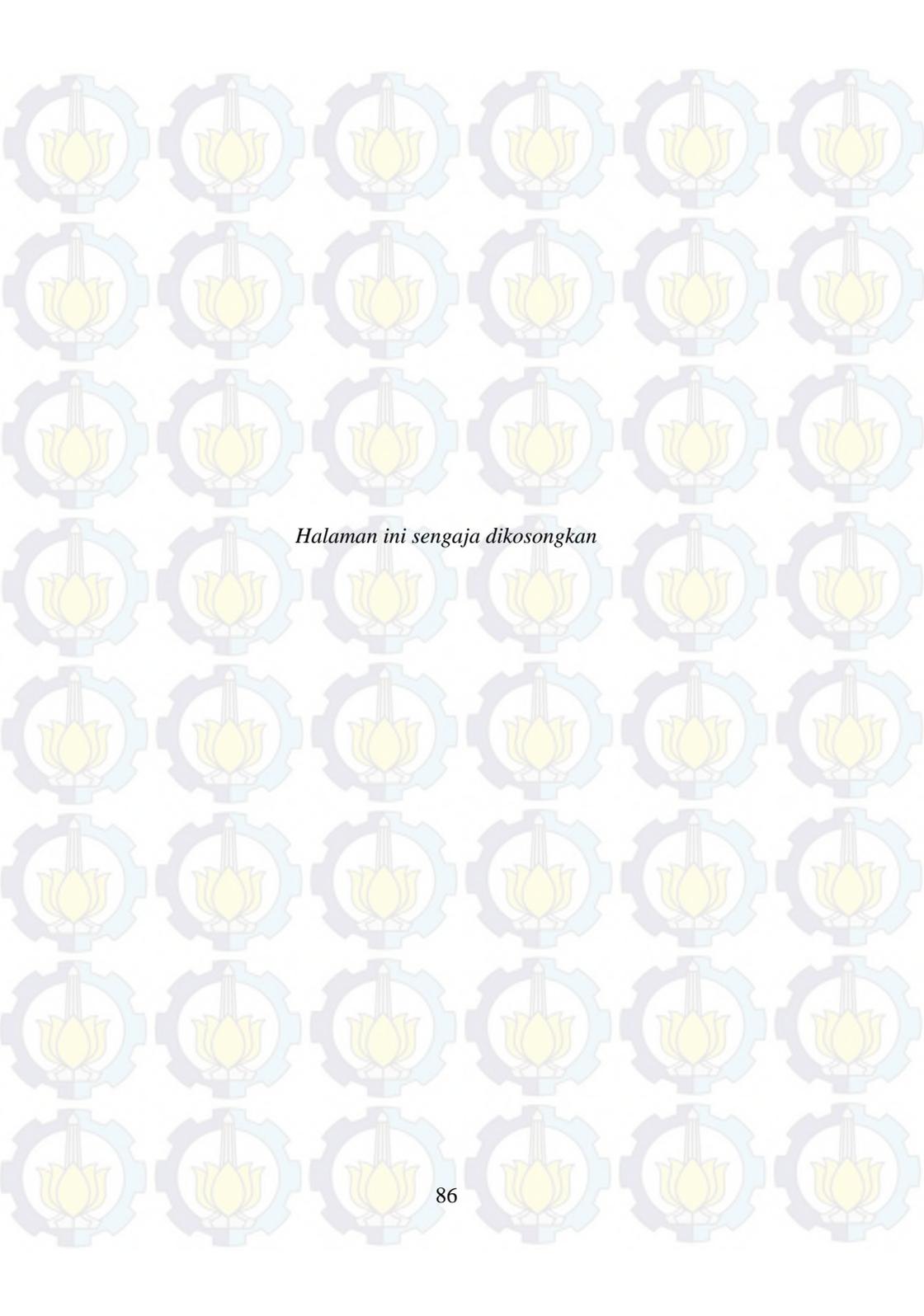
**Kata kunci :** CDMA, PN-Code ,kode Kasami, WARP

Dosen Pembimbing I  
  
**Dr. Ir. Titiek Suryani, MT.**  
NIP. 19641130 1989032 001

Dosen Pembimbing II  
  
**Dr. Ir. Suwadi, MT.**  
NIP. 19680818 1993031 002

Mengetahui,  
Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS  
Ketua,  
  
**Dr. Tri Arief Sardjono, ST, MT.**  
NIP. 19700212 1995121 001

Menyetujui,  
Bidang Studi Telekomunikasi  
Multimedia  
Koordinator,  
  
**Dr. Ir. Endroveno, DEA.**  
NIP. 19650404 1991021 001



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

B. METODE PENGUKURAN  
• INDOOR KONDISILOS



Gambar LOS pada jarak 3 meter

- **INDOOR KONDISI LOS**



**Gambar LOS pada jarak 5 meter**

### C. LISTING PROGRAM

Program utama

```
% Initialize
clear all;
close all;
clc;

warning off;
tx_kasami_code;

tx_rf_gain = 0.5:60; % 0:63 ~ 0:31 dB
for ij=1:length(tx_rf_gain)
    tx_bb_gain = 1;
    % tx_rf_gain = 60; % 0:63 ~ 0:31 dB
    rx_bb_gain = 1; % 15% 1
    rx_rf_gain = 1; % 3
    [rx_IQ,rx_RSSI,rx_gains] =
warp_transmit(xt_mf,tx_bb_gain,tx_rf_gain(ij),rx_bb_gain,rx_rf_gain);
    % rx_IQ = awgn(xt_mf,snr(ij));
    % rx_IQ = xt_mf;
    rx_kasami_code;

    Num_Err(:,ij) = nerror
    BER(:,ij) = biter
end
```

```

+ program pada TX
  %%
  PEMBANGKITAN
  user = 1;
  data_input = 100;
  for i=1:user
      rand('seed',1); datainput(i,:) =
      randi([0 1],1,data_input);
  end
  %% datainput= randi([0
  1],user,data_input);
  modulasi = 2*datainput-1;

  %% Large Kasami Sequence
  % Pembangkitan Large Kasami
  Sequence;
  m = 6;
  N = 2^m-1;
  limit = (2^m/2)*(2^m+1);
```

sreg = [1 0 1 1 0 1]; % tap shift dan isi dari shift register yg digunakan

```
%Pembangkitan deretan KeSatu
for i=1:N;
    PNcode =
    mod(sreg(6)+sreg(1),2);
    hasil1(i) = sreg(6);
    sreg = circshift(sreg,[0 1]);
    sreg(1) = PNcode;
end
deret1 = hasil1;
```

```
%Pembangkitan deretea KeDua
decimas1 = 2^(m+2)/2+1;
limit = decimas1*N;
for i=1:decimas1;
    deret_dec2(i,:)= deret1;
end
deret_decimas1 =
reshape(deret_dec2.',1,limit);
kolom2=1;
for i=1:limit;
    if mod(i,decimas1) == 0;
        hasil_dec1(1,kolom2) =
        deret_decimas1(i);
        kolom2=kolom2+1;
    end
end
deret2 = hasil_dec1;
```

```
%Pembangkitan deretan KeTiga
decimas2 = 2^(m/2)+1;
kolom1 = 1;
for i=1:length(deret1);
    if mod(i,decimas2)==0;
        hasil_dec2(1,kolom1) =
        deret1(i);
        kolom1=kolom1+1;
    end
end
for i=1:9;
    deret_dec(i,:) = hasil_dec2;
end
deret3 =
reshape((deret_dec.',N,1).');
```

```

%Proses Pembangkit Deretan
Large Kasami
%XOR-ing deret KeSatu dan
KeDua

```

```

pergeseran1 = 2^m-1;
for i=1:pergeseran1;
    gesederet2 =
    circshift(deret2,[0
i+(pergeseran1-1)]);
    if i==1;
        LKas1 = xor(deret1,deret2);
    else
        LKas1 =
        xor(deret1,gesederet2);
    end
    LK1 (i,:) = LKas1;
end
Large_Kasami1 = LK1;

```

```

%XOR-ing deret KeSatu dan
KeTiga

```

```

pergeseran2 = 2^(m/2)-1;
for i=1:pergeseran2;
    gesederet3 =
    circshift(deret3,[0,i+(pergeseran
2-1)]);
    if i==1
        LKas2 = xor(deret1,deret3);
    else
        LKas2 =
        xor(deret1,gesederet3);
    end
    LK2(i,:) = LKas2;
end
Large_Kasami2 = LK2;

```

```

%XOR-ing deret KeDua dan
KeTiga

```

```

for i=1:pergeseran2;
    gesederet3 =
    circshift(deret3,[0,i+(pergeseran
2-1)]);
    if i==1;
        LKas3 = xor(deret2,deret3);
    else
        LKas3 =
        xor(deret2,gesederet3);
    end

```

```

LK3(i,:) = LKas3;

```

```

end
Large_Kasami3 = LK3;

```

```

%XOR-ing deret KeSatu, KeDua,
dan KeTiga

```

```

for i=1:pergeseran1;
    dataLK1 =
    Large_Kasami1(i,:);
    for j=1:pergeseran2;
        deret3geser =
        circshift(deret3,[0,j+(pergeseran
2-1)]);
        if j==1;
            LKas4 =
            xor(dataLK1,deret3);
        else
            LKas4 =
            xor(dataLK1,deret3geser);
        end
        Large_Kas4(j,:) = LKas4;
    end
    Large_Kasami4 =
    reshape((Large_Kas4.'),1,(perges
eran1*pergeseran2));
    LK4(i,:) = Large_Kasami4;
end
Large_Kas5 = LK4;
Large_Kasami5 =
    reshape(Large_Kas5,63,441).';

```

```

%Menampilkan seluruh kode
dalam satu Matriks

```

```

data =
zeros(2^(m/2)*(2^m+1),N);
All_Large_Kasami =
[deret1;deret2;Large_Kasami1;
Large_Kasami2;Large_Kasami3;
Large_Kasami5];
databaru_kodekasami =
All_Large_Kasami*2-1;
lk =
length(databaru_kodekasami(1,:));
);

```

```

%% Proses Spreading Code

```

```

% spreading =
modulasi.*databaru_kodekasami
(1,:);
for i=1:user;
    spread_data =
    (databaru_kodekasami(20+i,:).)*
    modulasi(i,:);
    data_spread(i,:) =
    reshape(spread_data,1,[]);
end
% data_spreading1 =
data_spread;
data_spreading =
(ones(1,user)*data_spread).';
% data_spreading =
reshape((data_spread.').[],1);
n_spreading =
length(data_spreading);

%% IMPLEMENTASI
%% Vektor waktu
Fs = 40e6;
Ts = 1/Fs;
L = 2^14; %16384
t = (0:L-1)/Fs; %pengaruh di
data_sym

%Hitung total data payload yang
dibutuhkan, setelah dikurangi
preamble,
%txDelay dan CSI bits
% Tentukan symbol rate, cari
nilai upsampl rate untuk SRRC
Filter. Satuan
% symbol rate adalah symbol/s
Rsym = 4e6;
% Rsym = 5e6;
nsamp = floor(Fs/Rsym);
% Nilai nsamp harus integer,
setelah pembulatan kebawah,
hitung rate simbol
% sebenarnya.
Rsym = Fs/nsamp;

% Pembentukan Preamble
% Preamble bertujuan untuk
penentuan titik sampling pertama
pada penerima.

```

```

pream =
5*[1+1i;1+1i;1+1i;0;0;-1-1i;-
1-1i;-1-
1i;0;1+0i;1+0i;1+0i;0;0;0;0;0];
pream_len = length(pream);

% Correlation Matrix
% Pembentukan matriks korelasi
preamble
corr_win = 300; %at least
corr_win >= pream_len*nsamp
(MQAM=152-223)
pream_up =
upsample(pream,nsamp);
ref_vect = zeros(corr_win,1);
ref_vect(1:length(pream_up)) =
pream_up;
ref_matx =
toeplitz(ref_vect,circshift(ref_ve
ct(corr_win:-1:1),1));

% Definisi Transmission delay
% Panjang frame L akan
dikurangi sejumlah delay untuk
menangani
% transmission delay. Jika
semua frame terisi informasi,
ketika terjadi
% delay pada proses transmisi,
maka akan ada data yang tidak
tertangkap
% pada penerima. Sehingga
diperlukan delay transmisi.
Satuan : sampel
txDelay = 400;

% Phase ambiguity detector/
Channel State Information
sequence
% Bertujuan untuk menangani
ambiguitas fasa/perputaran pada
konstellasi.
% Agar sistem SIMO bisa
berfungsi dengan baik, data yang
diterima harus
% terletak pada kuadran yang
sesuai. Gunakan CSI dengan
nilai 1

```

```
CSI_syms = 150; %Jumlah
simbol untuk CSI
CSI_dat = ones(CSI_syms,1);
```

```
%Desain Square Root Raised
Cosine
```

```
%Parameter desain
menggunakan nsamp sebagai
upsample rate, N_SRRC sebagai
%orde filter dan roll-off factor
R_SRRC
shape = 'Square Root Raised
Cosine';
```

```
N_Ord = 6; %Genap
R_SRRC = 0.9; %[0-1]
SRRC_spec =
fdesign.pulseshaping(nsamp,sha
pe,'Nsym,Beta',N_Ord,R_SRRC);
h_SRRC = design(SRRC_spec);
flt_delay =
h_SRRC.order/2; %or
nsamp*N_Ord
norm_factor =
max(h_SRRC.numerator);
h_SRRC.numerator =
h_SRRC.numerator/norm_factor
; %Normalisasi filter
```

```
%Jumlah simbol maksimum
yang bisa dimuat dalam satu
transmission frame,
%data_sym mencakup CSI dan
data yang ditransmisikan
data_sym = floor((L-
(pream_len*nsamp)-txDelay-
flt_delay)/nsamp);
```

```
%Bit stuffing and frame
construction
```

```
% Bit stuffing adalah
memasukan simbol 1 (CSI)
secara periodik dalam 1
% frame transmisi. Fungsi bit
stuffing ini adalah sebagai
metode untuk
```

```
% melakukan interpolasi dan
estimasi kanal pada penerima.
Dalam satu frame
```

```
% transmisi akan memiliki total
simbol <= data_sym tergantung
dari jumlah
```

```
% simbol CSI yang digunakan.
% Representasi grafis bit
stuffing:
```

```
% |-----|
data_sym-----|
----|
% CSI - <sub-frames> -- CSI -
<sub-frames> -- ... - <sub-
frames> -- CSI
```

```
%Tentukan jumlah simbol data
diantara simbol CSI
```

```
sym_size =
floor(data_sym/(CSI_syms-1))-1;
% Tentukan total sub-frame data
sub_frame = CSI_syms-1;
```

```
%Total panjang frame aktual
dengan stuffed bits
```

```
fr_len = sub_frame*sym_size +
CSI_syms;
```

```
%Update nilai data_sym
data_sym = fr_len - CSI_syms;
```

```
%Hitung total frame data, hitung
padding, tambahkan bit stuffing
n_frames =
ceil(n_spreading/data_sym)
```

```
stuff_sym =
[upsample(CSI_dat(1:CSI_syms-
1),sym_size+1);CSI_dat(end)];
n_dat_fr =
repmat(stuff_sym,1,n_frames);
pad = n_frames*data_sym -
n_spreading;
```

```
% Tambahkan zero padding
pada simbol
```

```
n_sym_dat =
[data_spreading;zeros(pad,1)];
%Reshape n_sym_dat
```

```
n_sym_dat =
reshape(n_sym_dat,data_sym,n_
frames);
```

```
%Bagi data menjadi beberapa
frame, tambahkan bit stuffing
for ii=1:n_frames
```

```

n_dat_fr(:,ii) =
sym_stuffing(n_dat_fr(:,ii),n_sy
m_dat(:,ii),sym_size);
end

% Tambahkan preamble
temp_mat1 =
repmat(pream,1,n_frames);
xt_dat = [temp_mat1;n_dat_fr];

% Interpolasi, matched filtering,
tambahkan filter delay
xt_mf_bb =
filter(h_SRRRC,[upsample(xt_dat,
nsamp);zeros(flt_delay,n_frames
)]);
xt_mf = zeros(size(xt_mf_bb));

% Clear unused variables
clear temp_mat1 stuff_sym
n_sym

% Upconvert semua frame,
normalisasi
time = [(0:length(xt_mf)-1)/Fs,'];
f = 5e6;
for ii=1:n_frames
xt_mf(:,ii) =
xt_mf_bb(:,ii).*exp(1i*2*pi*f*time);
norm_fact =
max( [ max(real(xt_mf(:,ii))) ,
max(imag(xt_mf(:,ii))) ] );
% Normalize frame
xt_mf(:,ii) =
xt_mf(:,ii)/norm_fact;
end

```

```

program RX
%% Sinkronisasi dan Downconvert
semua frame
time = ((0:length(rx_IQ)-1)/Fs).';
rx_IQ_disp = rx_IQ;
for ii=1:n_frames
%vco_sig =
syn_frame(rx_IQ(:,ii),f,Fs);
vco_sig = exp(1i*2*pi*f*time);
rx_IQ(:,ii) =
rx_IQ(:,ii).*conj(vco_sig);

```

```

end

% Sinkronisasi fasa
% Matched filtering
hrx_SRRRC = design(SRRRC_spec);
hrx_SRRRC.numerator =
hrx_SRRRC.numerator *
(norm_factor*nsamp);
yt_mf =
filter(hrx_SRRRC,[rx_IQ;zeros(flt_delay
,n_frames)]);

yt_rx_data = zeros(size(n_dat_fr));
z_sym = zeros(size(n_sym_dat));
ch_est = zeros(size(n_dat_fr));

% Deteksi simbol pertama pada tiap-
tiap frame
for ii=1:n_frames
temp_vct1 = yt_mf(:,ii);

% Cari korelasi tertinggi
multip =
max([ max(real(temp_vct1(1:corr_win)
)) ...
max(imag(temp_vct1(1:corr_win)))));
% temp_vct1(1:corr_win) =
temp_vct1(1:corr_win)./multip;

correlation =
abs( (temp_vct1(1:corr_win)) *
ref_matx );
pream_start = find(correlation ==
max(correlation));
% pream_start = 1;
first_sample =
pream_start+length(pream_up);

% Downsampling
temp_vct2 =
temp_vct1(first_sample:end);
% Determine Maximum likelihood
first optimum sampling point
% ML_samp =
ML_first_sym(temp_vct2,nsamp);
% Start sampling at initial point

```

```
temp_vct3 =
downsample(temp_vct2(1:end),nsamp);
```

```
% Trim
temp_vct3 = temp_vct3(1:fr_len);
```

```
% Save trimmed vector
yt_rx_data(:,ii) = temp_vct3;
```

```
% Estimasi kanal
ch_est(:,ii) =
estimate_chan(yt_rx_data(:,ii),sym_siz
e);
% ch_e = conj(ch_est(:,ii))./
(abs(ch_est(:,ii)).^2);
```

```
% Hasil kali yr_rx_data dengan
konjugat dari estimasi kanal
% yt_rx_data(:,ii) =
yt_rx_data(:,ii).*exp(-
1i*angle(ch_est(:,ii)));
```

```
% Received symbols:
temp_vct3 =
yt_rx_data(:,ii).*conj(ch_est(:,ii));
% temp_vct32 =
yt_rx_data2(:,ii).*conj(ch_est2(:,ii));
multip = [abs(ch_est(:,ii)).^2];
% multip = sum(multip,2);
yt_rx_data(:,ii) =
(temp_vct3)./multip;
```

```
% Symbol de-stuffing
temp_vct3 =
sym_destuffing(yt_rx_data(:,ii),sym_si
ze);
```

```
% Potong semua frame CSI,
kumpulkan hasil data pada matriks
tertentu
z_sym(:,ii) = temp_vct3;
end
```

```
% % Save memory
% clear temp_vct1 temp_vct2
temp_vct3
% Save more memory
% Ubah yt_rx_data menjadi vektor,
potong yt_syms
```

```
yt_syms1 =
reshape(z_sym,data_sym*n_frames,1);
yt_syms2 = (yt_syms1(1:n_spreading));
yt_syms3 = reshape(yt_syms2,lk,[]);
nilai_cb(:,ij) = yt_syms2.;
```

```
% melakukan proses despreading pada
semua data user
```

```
for i=1:user
data_despread(i,:) =
(databaru_kodekasami(20+i,:)*yt_syms
3);
end
```

```
data_despreading = data_despread;
data_scatterplot = data_despread/lk;
% melakukan proses demodulasi pada
semua data user yang diterima
```

```
for j=1:user
data_demodulasi =
data_despreading(j,:);
```

```
for i=1:data_input
if data_demodulasi(:,i)<0;
hasil_dataterima = 0;
else
hasil_dataterima = 1;
end
```

```
hasildatauser(:,i) =
hasil_dataterima;
```

```
end
hasil_datauser(j,:) = hasildatauser;
end
data_output = hasil_datauser;
```

```
% % CHECK BIT ERROR
```

```
% singeuser pada TX
% biterror = biterr(datainput,dataoutput)
```

```
% melakukan check bit error pada satu
data user yang diterima
```

```
% [nerror,biterr] =
biterr(datainput(user_rx,:),data_output(
,:))
```

```
% nerror =
sum(abs(datainput(user_rx,:)-
hasil_datauser(1,:))/2)
```

```
% melakukan check bit error pada
semua data user yang diterima
```

```
for jj=1:user
```

```

[nerror(:,jj),      biter(:,jj)] =
biterr(datainput(jj,:),data_output(jj,:));
end
% Num_Err = nerror
% BER = biter

Program estimate channel
function [ CSI_est ] =
estimate_chan( yt_sym, sym_size )
%ESTIMATE_CHAN interpolate
channel estimation based on CSI
symbols
% this function will create channel
estimation using interpolation method
% based on received CSI symbols.
Assuming CSI symbols is known
within the
% transmitter and receiver, if sampled
at an interval, this function is
% capable to estimate channel
response for all received symbols.
% yt_sym = received symbol with CSI
estimator
% sym_size = Number of symbols
between CSI estimator
% CSI | DATA | CSI | DATA | CSI |
DATA | CSI | DATA ... | CSI
% |-----yt_sym-----|
% |sym_size|
%
%Determine frame length
fr_len = length(yt_sym);
%Extract all received CSI bits
CSI_rec_dat =
downsample(yt_sym,sym_size+1);
%Generate x-variables for interpolation
xx = 1:sym_size+1:fr_len;

%Construct polynomial for
interpolation
pp =
interp1(xx,CSI_rec_dat,'cubic','pp');

%Create vector for all frame length
xi = 1:fr_len;
%Interpolate result
CSI_est = ppval(pp,xi).';

```

```

%CSI_est
interp1(xx,CSI_rec_dat,xi,'pchip').';
end

program sym_stuffing
function [ CSI_sym_up ] =
sym_stuffing( CSI_sym_up, dat_sym,
sym_size )
%SYM_STUFFING Insert data
symbols into frame
% Assuming frame is already
prepared with upsampled rate of CSI
symbols
% with equal spaces.
% dat_sym = symbols to be inserted.
% sym_size = symbol size between
each CSI bits
% CSI_sym_up = frame of inserted
dat_sym

%Determine frame length
fr_len = length(CSI_sym_up);

%Then fill temporary vector with
dat_sym
n_iter = 1;
for ii=1:sym_size+1:fr_len-1
CSI_sym_up(ii+1:ii+sym_size) =
dat_sym((n_iter-
1)*sym_size+1:n_iter*sym_size);
n_iter = n_iter+1;
end

program sym_destuffing
function [ res_frame ] =
sym_destuffing( stuff_fr, sym_size )
%SYM_DESTUFFING Removes all
bit stuffing within a frame
% Detailed explanation goes here

%Determine frame length
fr_len = length(stuff_fr);

%Determine total sub-frames
sub_frame = floor(fr_len/(sym_size+1));

%Determine total data to be extracted
& create its vector

```

```

res_frame = zeros( sub_frame*sym_size,1 );

% Then fill res_frame with dat_sym
n_iter = 1;
for ii=1:sym_size+1:fr_len-1
    res_frame((n_iter-1)*sym_size+1:n_iter*sym_size) = stuff_fr(ii+1:ii+sym_size);
    n_iter = n_iter+1;
end
end

program warp transmit
function [ rx_IQ, rx_RSSI, rx_gains ] = warp_transmit( st, tx_bb_gain, tx_rf_gain, rx_rf_gain, channel )
% WLABV7_TXRX_FRAMES
Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
NUMNODES = 2;
nodes = wl_initNodes(NUMNODES);

fprintf('Begin WARP Tx-Rx...\n')
tic;
% Initialize WARP
USE_AGC = false;

% Create a UDP broadcast trigger and tell each node to be ready for it
eth_trig = wl_trigger_eth_udp_broadcast;
wl_triggerManagerCmd(nodes,'add_ethernet_trigger',[eth_trig]);

% Get IDs for the interfaces on the boards. Since this example assumes each board has the same interface capabilities, we only need to get the IDs
% from one of the boards
[RFA,RFB] = wl_getInterfaceIDs(nodes(1));

% Set up the interface for the experiment

```

```

wl_interfaceCmd(nodes,'RF_ALL','tx_gains',tx_bb_gain,tx_rf_gain);
wl_interfaceCmd(nodes,'RF_ALL','channel',2,4,9);

if(USE_AGC)
    wl_interfaceCmd(nodes,'RF_ALL','rx_gain_mode','automatic');

    wl_basebandCmd(nodes,'agc_target',-10);

    wl_basebandCmd(nodes,'agc_trigger_delay',511);
else
    wl_interfaceCmd(nodes,'RF_ALL','rx_gain_mode','manual');
    RxGainRF = rx_rf_gain; % Rx RF Gain in [1:3]
    RxGainBB = rx_bb_gain; % Rx Baseband Gain in [0:31]

    wl_interfaceCmd(nodes,'RF_ALL','rx_gains',RxGainRF,RxGainBB);
end

% We'll use the transmitter's I/Q buffer size to determine how long our transmission can be
txLength = nodes(1).baseband.txIQLen;

% Set up the baseband for the experiment
wl_basebandCmd(nodes,'tx_delay',0);
wl_basebandCmd(nodes,'tx_length',txLength);

node_tx = nodes(1);
node_rx = nodes(2);
RF_TX = RFA;
RF_RX = RFB;

Ts = 1/(wl_basebandCmd(nodes(1),'tx_buff_clk_freq'));

```

```

Ts_RSSI = 1/(wl_basebandCmd(nodes(1),'rx_rssi_
clk_freq'));

%enabling both tx and rx buffer
% Write to buffer and enable both tx, rx

st_size = size(st);
rx_IQ = zeros(txLength,st_size(2));
rx_RSSI = zeros(txLength/4,st_size(2));
rx_gains = zeros(3,st_size(2));

%Do transmit-receive for all st frames
wl_interfaceCmd(node_tx,RF_TX,'tx_e
n');
wl_interfaceCmd(node_rx,RF_RX,'rx_
en');
wl_basebandCmd(node_tx,RF_TX,'tx_
buff_en');
wl_basebandCmd(node_rx,RF_RX,'rx_
buff_en');

for m=1:st_size(2);

    wl_basebandCmd(node_tx,[RF_TX],
'write_IQ', st(:,m) );

    %send trigger
    eth_trig.send();

    %Get received data

    %First RF
    rx_IQ(:,m) =
wl_basebandCmd(node_rx,[RF_RX],'re
ad_IQ', 0, txLength);
    rx_RSSI(:,m) =
wl_basebandCmd(node_rx,[RF_RX],'re
ad_RSSI',0,txLength/(Ts_RSSI/Ts));
    rx_gains(:,m) =
wl_basebandCmd(node_rx,[RF_RX],'a
gc_state');
end

%Disable all RF to both node
wl_basebandCmd(nodes,'RF_ALL','tx_
rx_buff_dis');

```

```

wl_interfaceCmd(nodes,'RF_ALL','tx_r
x_dis');
pr_time = toc;
fprintf('\nDone. Process time = %f s
\n',pr_time);
end

```

program Perhitungan Eb/No

```

clear all;
close all;
close;
warning off;
%% PERULANGAN
a=matfile('4user');
user = a.user;
databaru_kodekasami =
a.databaru_kodekasami;
lk = length(databaru_kodekasami(1,:));
nilai_eb= a.nilai_eb;
for ganti=1:13
    eb=nilai_eb(:,ganti);
    eb_value = reshape(eb,lk,[]);
    for jj=1:user
        despread_eb =
(databaru_kodekasami(20+jj,:)*eb_valu
e)/lk;
        eb_inp = real(despread_eb);
        ((-2 2 -2 2));
        nilai_Eb =
mean(abs(eb_inp).^2);%+mean(abs(eb
_quad).^2);
        Eb(jj,:) = nilai_Eb;
        no_inp = abs(eb_inp);
        noise = no_inp;%+i*no_quad;
        nilai_No = var(noise);
        No(jj,:) = nilai_No;
        EbNo(jj,:) =
10*log10(nilai_Eb/nilai_No);
    end
    Eb_gain(:,ganti) = Eb;
    No_gain(:,ganti) = No;
    EbNo_gain(:,ganti) = EbNo;
end
Eb_gain
No_gain
EbNo_gain

```