

Implementasi dan Evaluasi Kinerja Kode Walsh Hadamard Pada Code Division Multiple Access (CDMA) Menggunakan Wireless Open-Access Research Platform (WARP)

Fadhila Andam Dewi, Titiék Suryani, dan Suwadi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: titiks@ee.its.ac.id , suwadi110@gmail.com

Abstrak— Perkembangan teknologi komunikasi bergerak di masa yang akan datang banyak bertumpu pada *Code Division Multiple Access (CDMA)*, dimana setiap pengguna menggunakan frekuensi yang sama dalam waktu bersamaan tetapi menggunakan sandi unik yang saling *orthogonal*. Sandi-sandi ini membedakan antara pengguna satu dengan pengguna yang lain. Pengiriman pengguna menggunakan frekuensi yang sama dalam waktu bersamaan bisa menimbulkan *Multi user Inteference*. Salah satu sistem yang dapat mengatasi masalah tersebut adalah Walsh Hadamard yang memiliki sifat *orthogonal*. Sistem ini dapat diimplementasikan pada *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. Modul WARP mampu diprogram secara langsung dengan *software* MATLAB, sehingga pemodelan sistem *baseband*, *passband* pada pengirim dan penerima dapat dilakukan dengan mudah. Hasil dari implementasi dan pengukuran menunjukkan bahwa nilai BER berpengaruh terhadap banyaknya user yang dikirim karena ketika jumlah user yang dikirim lebih banyak nilai BER semakin besar. Sementara dalam hal jarak nilai BER berpengaruh terhadap perubahan jarak dimana nilainya akan lebih baik saat jarak 3meter daripada jarak 5meter dan 7meter. Seperti saat daya pancar -35 dbm nilai BER saat 3 meter 0.0093, jarak 5 meter 0.024 dan 7 meter 0.275.

Kata Kunci— *Bit Error Rate, CDMA, Software Defined Radio, Walsh Hadamard, Wirelles Open-Access Research Platform.*

I. PENDAHULUAN

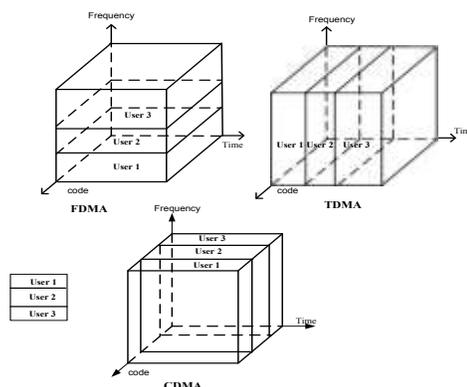
Perkembangan teknologi komunikasi bergerak di masa yang akan datang banyak bertumpu pada *Code Division Multiple Access (CDMA)*, dimana setiap pengguna menggunakan frekuensi yang sama dalam waktu bersamaan tetapi menggunakan sandi unik yang saling *orthogonal*. Sandi-sandi ini membedakan antara pengguna satu dengan pengguna yang lain. Pengiriman setiap pengguna secara bersamaan akan mengakibatkan terjadinya MUI (*Multi user Inteference*). Efek MUI akan menimbulkan kesalahan informasi yang diterima oleh user, sehingga dapat menurunkan unjuk kerja sistem. Untuk itu digunakan sandi unik yang saling *orthogonal*.

Ada bermacam-macam kode PN, yaitu *M-sequences*, kode Gold, kode Kasami, dan kode Walsh Hadamard. Tiap kode PN mempunyai karakteristik berbeda-beda, seperti autokorelasi dan korelasi silang yang berbeda-beda. Hal ini sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem keseluruhan. Kode Walsh Hadamard yang memiliki sifat *orthogonal* satu sama lain dan digunakan sebagai penyandi kanal untuk memberikan identitas yang berbeda pada tiap pengguna. Korelasi silang dari kode Walsh Hadamard dapat juga bernilai tidak nol dan tidak sinkron yang menyebabkan pengguna dapat berinterferensi satu sama lain.

II. DASAR TEORI

A. Code Division Multiple Access (CDMA)

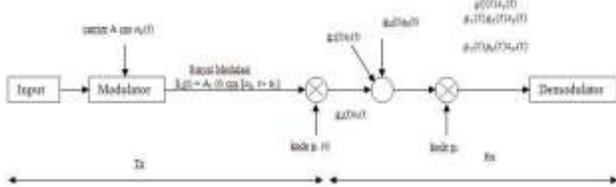
CDMA mengubah sistem komunikasi yang berbasis analog menjadi sistem komunikasi yang berbasis digital. Pada komunikasi konvensional pembagian kanal komunikasi menggunakan proses pemfilteran didalam domain frekuensi atau yang biasa disebut dengan *Frequency Division Multiple Access (FDMA)*, atau pembagian kanal komunikasi berdasarkan waktu atau *Time Division Multiple Access (TDMA)*. User pada CDMA menggunakan waktu dan frekuensi secara bersamaan. Untuk membedakan setiap kanal atau pengguna maka digunakan kanal kode yang unik yang juga digunakan untuk melebarkan sinyal, sehingga dapat menghemat penggunaan kanal komunikasi dibawah adalah beberapa kelebihan sistem CDMA.



Gambar 1 Kanal FDMA, TDMA, CDMA

Setiap user pada CDMA akan memperoleh kode PN sendiri. Sinyal informasi akan dikirimkan dalam bentuk deretan *spreading*. Pemilihan kode yang digunakan sangat penting, karena nilai autokorelasi dan nilai korelasi silang serta panjang periode dari kode PN memiliki pengaruh. Kode *spreading* yang orthogonal merupakan suatu keunggulan, karena kode-kode tersebut mengurangi MAI.

Teknik akses bersama *spread spectrum* membolehkan banyak sinyal informasi menggunakan *bandwidth* (lebar pita) RF yang sama untuk mentransmisikan sinyal info secara bersamaan tanpa mengganggu satu sama lain. Pada skema CDMA, misalkan N user diberikan masing-masing kode $g_i(t)$ dimana $i = 1, 2, 3, \dots, N$. Kode yang digunakan user untuk sistem CDMA bersifat *orthogonal* agar korelasi silang dari 2 kode yang berbeda mendekati nol.



Gambar 2 Blok Diagram CDMA [1]

Blok pertama mengilustrasikan data modulasi dari sebuah pembawa $A \cos \omega t$. Keluaran dari data modulasi untuk user pertama adalah :

$$s_1(t) = A_1(t) \cos[\omega_0 t + \phi_1(t)] \tag{2.1}$$

Data yang telah dimodulasi akan dikalikan dengan sinyal kode $g_1(t)$. Proses ini disebut dengan proses *spreading* dan menghasilkan sinyal $g_1(t)s_1(t)$. Dalam skema CDMA, user ke-2 sampai dengan ke- N dikalikan dengan dengan sinyal kode mereka masing-masing. Setiap sinyal kode berfungsi untuk menjaga kerahasiaan dan melindungi sinyal informasi. Hasil perkalian sinyal info setiap user dengan masing-masing sinyal kodenya akan ditambahkan sebelum dikirimkan. Prosesnya dijelaskan dalam persamaan :

$$\square s_1(t) = g_1(t)s_1(t) + g_2(t)s_2(t) + g_3(t)s_3(t) + \dots + g_N(t)s_N(t) \tag{2.2}$$

Jika sinyal yang dikirimkan mengalami rusak yang disebabkan oleh AWGN. Sinyal yang dikirimkan atau sinyal yang diterima pada penerima adalah :

$$\square r(t) = s(t) + n(t) \tag{2.3}$$

Dimana : $n(t) = \text{noise awgn}$.

Asumsikan pada penerima data yang akan diolah adalah data dari user 1 dengan kode yang digunakan $g_1(t)$. Kode yang digunakan user pada penerima harus sama dengan yang digunakan pengirim. Pada penerima data sinyal yang masuk seperti persamaan 2.1 akan dikalikan dengan $g_1(t)$. Keluaran dari hasil perkalian yang diinginkan adalah :

$$r_1(t) = g_1^2 s_1 \tag{2.4}$$

Ditambahkan data yang diterima yang tidak diinginkan :

$$g_1(t)g_2(t)s_2(t) + g_1(t)g_3(t)s_3(t) + g_1(t)g_4(t)s_4(t) + \dots + g_1(t)g_N(t)s_N(t) \tag{2.5}$$

Jika sinyal kode $g_i(t)$ yang digunakan bersifat orthogonal sinyal yang diinginkan akan menghasilkan nilai $1(\int_0^T g_1^2(t) dt = 1)$, sinyal yang tidak diinginkan akan ditolak untuk diteruskan karena $\int_0^T g_i(t) + g_j(t) dt = 0$ dengan nilai $i \neq j$, nilai i dan j adalah integer positif.

B. Pseudo Noise (PN) Code

Pada CDMA sinyal di-*spreading* dengan cara mengalikan dengan *Pseudo-Noise code* (PN code). Kode PN adalah rangkaian bit dengan kecepatan tinggi yang bernilai polar dari 1 ke -1 atau non polar 1 ke 0. Kode PN yang mempunyai satuan chip, merupakan sinyal penyebar sinyal informasi dan digunakan untuk membedakan antara kanal/pengguna satu dengan yang lainnya. Pemilihan kode harus dilakukan dengan hati-hati dengan memperhatikan beberapa kriteria sebagai berikut:

- a. Harus berbeda antara satu dengan yang lain, tetapi yang digunakan pada sisi pengirim dan sis penerima harus sama.
- b. Harus acak, tetapi memiliki pola tertentu
- c. Mempunyai autokorelasi yang baik
- d. Harga korelasi silang rendah. Dengan semakin rendah harga korelasi silang maka jumlah kanal dalam satu pita frekuensi semakin tinggi.

Pemakaian sejumlah *chip* kode ini dimaksudkan mendapatkan sinyal-sinyal dalam bit-bit kecil dalam kode PN dari sinyal asli. Hal ini dengan mengalikan sinyal asli termodulasi dengan kode PN berkecepatan tinggi yang akan membagi sinyal menjadi bit-bit kecil, oleh karena itu lebar band menjadi bertambah. Pelebaran bandwidth yang terjadi akibat proses *spreading* berbanding lurus dengan jumlah *chip* yang digunakan.

C. Kode Walsh Hadamard

Kode Walsh Hadamard merupakan kode orthogonal yang dipergunakan untuk memisahkan kanal-kanal untuk sistem CDMA. Sebuah simbol Walsh adalah sebuah baris atau kolom yang ada pada *hadamard* matrik. Setiap simbol Walsh terdiri atas chip-chip Walsh, dikarenakan matriks Hadamard berukuran $M \times M$ dimana $M = 2^a$ dan a panjang data input Walsh maka setiap simbol Walsh memiliki panjang M bit dan total simbol Walsh dalam matrik Hadamard adalah sebanyak M simbol. Karakteristik dari matriks Hadamard adalah antar baris atau antar kolom saling orthogonal. Dengan kata lain korelasi antar baris atau antar kolom menghasilkan nilai sama dengan nol. Hal tersebut dapat di jelaskan sebagai berikut :

$$H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

Dalam hal ini diambil elemen-elemen yang ada pada baris 2 dan baris 3. Melalui perhitungan berikut dapat dilihat bahwa baris 2 dan 3 saling orthogonal.

$$1 \times 1 + -1 \times 1 + 1 \times -1 + -1 \times -1 = 1 + (-1) + (-1) + 1 = 0$$

Dari perhitungan diatas dapat dilihat bahwa perkalian antar elemen yang bersesuaian (baris yang berbeda tetapi kolom yang sama) menghasilkan nilai 0. Korelasi antar pasangan baris berbeda menghasilkan nilai 0 dimana ini menunjukkan bahwa antar baris berbeda pada matriks Hadamard adalah saling orthogonal. Hal yang sama juga berlaku untuk korelasi antar kolom berbeda pada matriks Hadamard. Dengan memperhatikan karakteristik dari matriks Hadamard ini maka simbol Walsh yang berbeda adalah juga saling orthogonal karena kumpulan simbol Walsh dibentuk dari matrik Hadamard. Kode Walsh Hadamard dibangkitkan dari penerapan transformasi matrik Hadamard. Berikut adalah transformasi Walsh Hadamard didapatkan dari persamaan :

$$H_1 = [1]$$

$$H_2 = \begin{bmatrix} H_N & H_N \\ H_N & -H_N \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Dimana H_{2N} adalah invers dari H_N

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

D. Parameter Sinyal PN

Untuk merencanakan suatu kode PN yang digunakan pada aplikasi sistem *spread spectrum* maka harus diperhatikan parameter-parameter berikut, yaitu:

1. Korelasi Diri (Autokorelasi)

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

$$R_c(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T g(t) \cdot c(t + \tau) dt \quad (2.7)$$

Fungsi autokorelasi ternormalisasi untuk suatu *sequence maximal length* $R_c(t)$ diberikan pada gambar 2.4. pada gambar terlihat untuk $t = 0$ bentuk perulangan terjadi dan kedua sinyal *matched* seara sempurna sehingga autokorelasinya $R_c(t) = 1$.

2. Fungsi Cross Correlation

Fungsi korelasi silang adalah fungsi yang menunjukkan ukuran kesamaan antara dua buah kode yang berbeda. Hal ini dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$R_c(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T c_i(t) \cdot c_j(t + \tau) dt \quad (2.8)$$

E. Modulasi BPSK

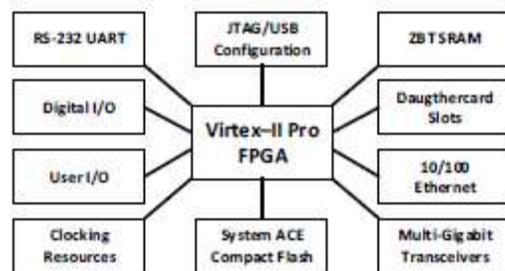
Modulasi merupakan proses *switching* antara sinyal yang berbeda untuk mentransmisikan informasi yang sudah dikodekan. Secara umum gelombang pembawa modulasi dapat dinyatakan oleh persamaan berikut [2] :

$$s(t) = A \sin(2\pi fc + \theta) \quad (2.9)$$

Pada proses modulasi terdapat modulator dan demodulator digital yang berguna untuk memetakan deretan informasi biner menjadi menjadi sinyal yang nantinya dikirimkan. Pada modulasi *binary*, modulator digital secara sederhana memetakan digit biner “0” menjadi sinyal gelombang $S_0(t)$ dan digit biner “1” menjadi $S_1(t)$.

F. Wireless Open Access Research Platform (WARP)

Wireless Open Access Research Platform (WARP) merupakan salah satu perangkat radio yang dapat diprogram untuk membuat *prototype* jaringan *wireless* yang dikembangkan di laboratorium CMC di universitas Rice, Amerika. WARP menggabungkan perangkat dengan kemampuan tinggi yang dapat diprogram dengan *repository open-source*. Komponen utama *hardware* dari WARP adalah *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 *hardware* WARP dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 3 Arsitektur hardware WARP [3]

Radio board merupakan interface dari domain digital ke domain analog. *Radio board* pada WARP didesain menggunakan IC Maxim MAX2829, pada proses konversi dari digital ke analog atau sebaliknya, *radio board* menggunakan A/D (Analog to Digital) dan D/A (Digital-to-Analog) converter. *Radio board* juga melakukan proses modulasi dan demodulasi *baseband*. *Clock board* mempunyai fungsi sebagai sumber *logic clock* ADC/DAC dan sumber *radio clock* untuk *Power Supply Radio board* *Radio board* *Radio board* *Radio board* *FPGA* *Ethernet* 16

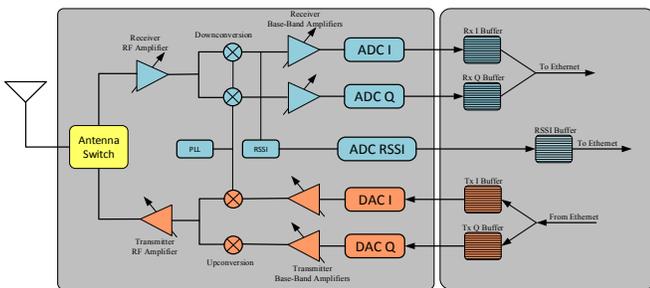
upconversion/downconversion pada radio board. Clock board menghasilkan logic clock pada frekuensi 40 MHz dan radio clock pada frekuensi 20 MHz.



Gambar 4 Modul WARP dan radio board [3]

G. WARPLab

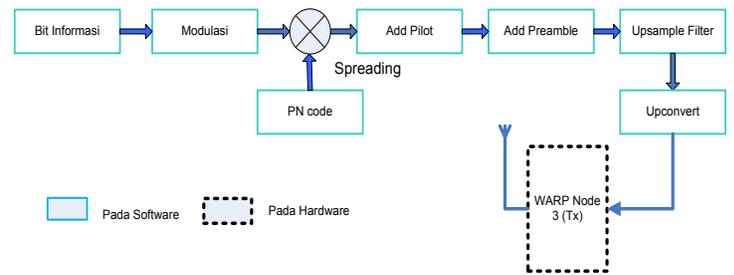
WARPLab merupakan kerangka kerja yang digunakan untuk prototype PHY dengan MATLAB dan hardware WARP. Dengan WARPLab dimungkinkan membangkitkan sinyal dari MATLAB secara langsung dan ditransmisikan secara realtime melalui kanal udara menggunakan node WARP. Kerangka kerja yang digunakan mempunyai fleksibilitas untuk pengembangan sistem dengan menggunakan banyak node. Arsitektur WARPLab ditunjukkan pada gambar 8.



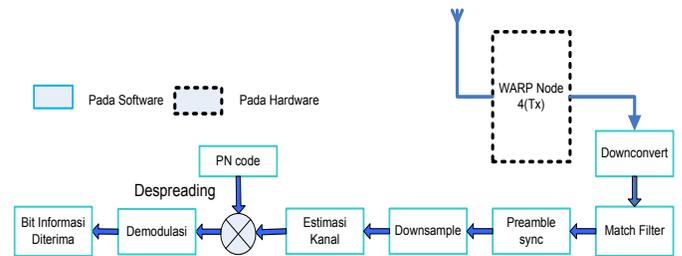
Gambar 5 Arsitektur WARPLab [4]

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SITEM

Pada proses perancangan dan implementasi Kinerja Kode Walsh Hadamard Pada CDMA dengan menggunakan WARP akan mengacu pada program yang dirancang oleh Universitas Rice. Dalam melakukan perancangan sistem perlu dilakukan beberapa langkah-langkah diantaranya adalah integrasi Personal Computer (PC) dengan modul WARP, tahap kedua adalah pemodelan sistem komunikasi SISO dengan Kode Walsh Hadamard penerapan model menggunakan program Matlab untuk mengolah data sebelum dikirim dan setelah diterima. Tahap selanjutnya adalah skenario pengujian sistem yang akan dilakukan di indoor saja. Dengan menetapkan skenario pengujian selanjutnya dapat menganalisa serta mengevaluasi sistem yang telah dibuat untuk melihat tingkat keberhasilan sistem tersebut. Sehingga pada akhirnya dapat dilakukan perhitungan serta nilai Bit Error Rate (BER) terhadap kinerja sistem. Secara garis besar, proses sistem ini dilakukan dengan langkah-langkah yang ditunjukkan pada gambar 6.

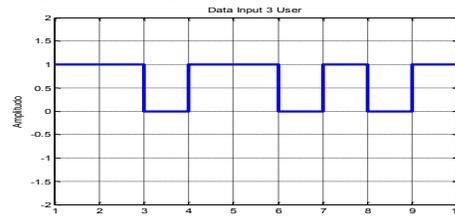


Gambar 6 Blok desain implementasi sistem transmitter

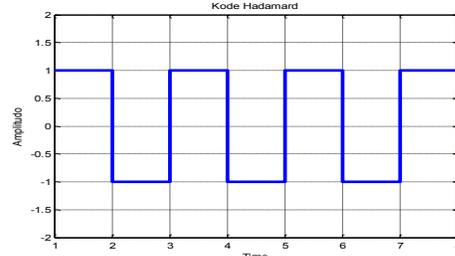


Gambar 7 Blok desain implementasi sistem receiver

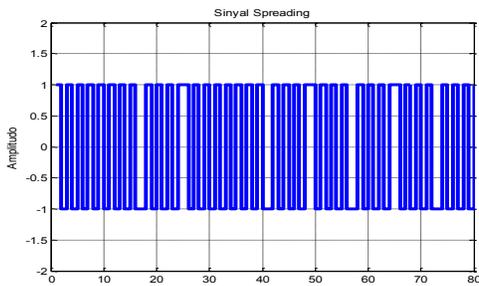
Dalam blok diagram Tugas Akhir yang dirancang, sinyal masukan dibangkitkan secara random atau acak. Setiap bit informasi yang dibangkitkan saling bebas dan tidak mempengaruhi satu sama lain serta memungkinkan tidak terjadinya pengulangan atau pengambilan bit yang sama. Bit yang dibangkitkan secara acak bernilai '1' dan '0' akan dimodulasi dengan modulasi Binary Phase Shift Keying (BPSK). Modulasi BPSK menghasilkan nilai fasa yang berbeda 180° antara bit '0' dan bit '1'. Lalu keluaran dari modulasi dikalikan dengan kode PN. Selanjutnya sinyal ini akan di spreading. Spreading merupakan proses dimana sinyal informasi yang telah dimodulasi dikalikan dengan kode PN yang telah dibangkitkan sehingga 1 bit menghasilkan deretan bit sebanyak panjang kode yang digunakan. Gambar berikut merupakan hasil pembangkitkan kode Hadamard untuk 3 user



Gambar 8 data input 3 user

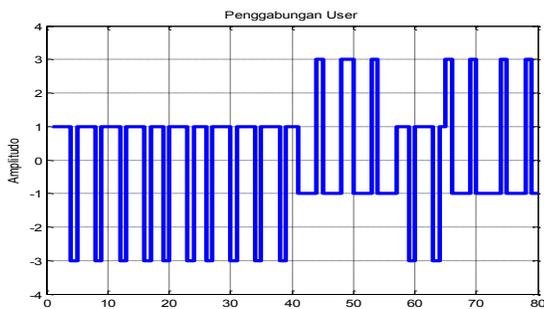


Gambar 9 kode Hadamard



Gambar 10 Hasil proses *spreading* data user

Sebelum data dikirim semua user dalam sistem CDMA melakukan proses *composite* atau penggabungan karena CDMA mempunyai sistem kerja mengirimkan user dalam waktu dan frekuensi yang sama. Dalam pentransmisiannya data yang akan dikirim ditambahkan pilot yang terletak di awal data yang bertujuan sebagai respon estimasi kanal dipenerima. Penambahan simbol ini diletakkan setiap 9 simbol data secara periodic. Preamble akan ditambahkan setelah penambahan pilot. Preamble bertujuan mendeteksi data awal di penerima dengan jumlah preamble 19. Untuk meningkatkan sampling rate data yang akan dikirim maka dilakukan proses *upsample*. Untuk menghindari pelemahan dari radio DC, maka data atau sinyal yang akan dikirim dikalikan terhadap frekuensi sinusoidal.

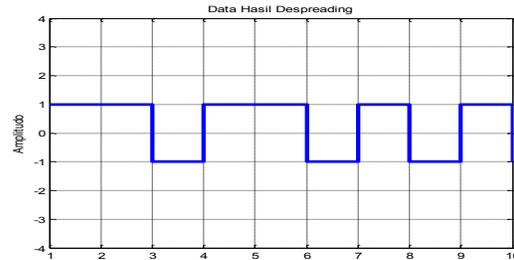


Gambar 11 Hasil penambahan semua user

Proses pengiriman data yang terjadi pada perangkat WARP sinyal data yang telah di bagi menjadi beberapa frame dikirimkan dan di simpan pada *buffer Tx* melalui *Ethernet*. Kemudian dilakukan persiapan pengiriman dan penerimaan data dengan menyalakan radio pada *node* pengirim dan penerima. Jika sebuah *node* berkerja pada kondisi *receive enable*, maka *node* tersebut akan bersiap menerima sinyal pada kanal Wi-Fi tertentu. Pada *node Rx*, pengambilan data dilakukan dengan cara mengambil data yang diterima pada *buffer node Rx*. Kemudian data yang masih terbagi dalam *frame* akan digabungkan kembali sesuai dengan data awal yang dikirimkan

Dipenerima data akan dikebalikan ke frekuensi baseband yang dikenal dengan istilah *downconvert*. Match filter untuk menghilangkan frekuensi tinggi yang dihasilkan dari *downconvert* dan agar sesuai dengan bentuk pulsa *raise cosine* di pengirim. Deteksi preamble dan *downsampling*, deteksi *preamble* ini dilakukan berdasarkan korelasi tertinggi antara sampel sinyal yang diterima dengan sampel *preamble* dengan *reference matrix* yang telah di *generate* pada penerima.

Simbol hasil dari proses *downsample* dilakukan 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 bagian ini adalah kebalikan dari *spreading*, dimana sinyal informasi yang diterima akan dikalikan dengan PN Code yang sama pada saat proses pengiriman disebut *dispsreading*. Setelah sinyal didespsreading maka dedemodulasi sehingga didapatkan data awal kembali.



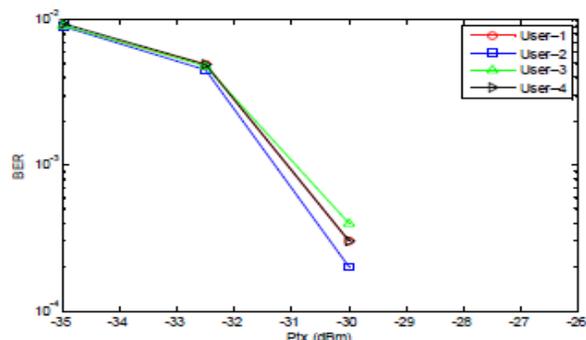
Gambar 12 Hasil proses *despsreading* data user

IV. HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

Dalam bab ini akan dibahas tentang hasil dari pengukuran dan analisa dari Kinerja Kode Walsh Hadamard Pada Code Division Multiple Acces (CDMA) menggunakan *Wireless Open Acces Research Platform* (WARP). Hasil dari pengukuran kinerja sistem ini akan ditampilkan dalam bentuk grafik BER vs Daya Pancar (dbm). Dengan menggunakan kode hadamard yang ada kita menganalisa kinerja Kode Walsh Hadamard terhadap *Multi User Inteferece* (MUI). Untuk menganalisis hal ini terdapat beberapa model sistem yang dapat dianalisa dari Tugas Akhir ini yaitu Kinerja sistem terhadap Multiuser Inteferece antar user dalam kode Hadamard, Kinerja sistem terhadap perubahan jarak dan kinerja sistem terhadap ketiga kode Hadamard 16,32, dan 64.

A. Analisis kinerja sistem terhadap sistem Multiuser

Pada pengukuran sistem yang diimplementasikan pada modul WARP menggunakan parameter pengujian dengan nilai Tx RF = 0:5:60, Tx BB = 1, Rx RF = 1, dan Rx BB = 1, dimana Tx RF memiliki ekivalensi nilai yang sama dengan Ptx (dbm). Untuk hasil pengujian pada modul WARP dalam sistem ini akan disajikan dalam bentuk grafik BER vs daya Pancar (dBm).

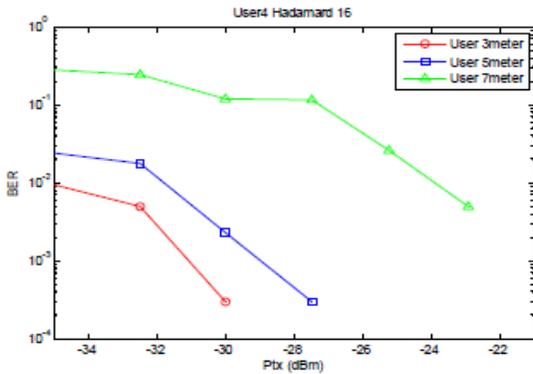


Gambar 13 Grafik BER saat Pengiriman 4 User Hadamard 16 bersamaan

Dari tabel juga dapat kita lihat bahwa rata-rata nilai BER hampir sama untuk masing-masing user. Hal ini disebabkan karena MAI dari sistem yang membuat data rusak tiap-tiap user. Dapat kita lihat pada saat Ptx -35 dbm nilai BER yang dihasilkan untuk user 1 adalah 0.0089, BER user 2 0.0089, BER user 3 0.0091 dan BER user 4 0.0093. Kode Hadamard secara teori memiliki sifat yang *orthogonal*. Tapi dalam bahwa pengukuran didapatkan Hadamard tidak sepenuhnya *orthogonal* karena adanya *cross korelasi* yang menyebabkan terjadinya penurunan kinerja terhadap sistem.

B. Analisis Kinerja Sistem Terhadap Perubahan Jarak

Pada pengukuran ini dilakukan pengamatan terhadap kinerja sistem untuk mengetahui bagaimana pengaruh jarak antara penerima dan pemancar pada sebuah sistem komunikasi. Secara teori, semakin jauh jarak antara antena pemancar dan penerima maka semakin melemah sinyal yang dikirimkan sehingga *error* yang terjadi juga akan semakin besar.



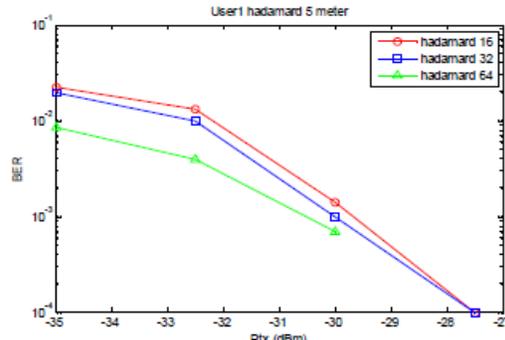
Gambar 14 BER User 4 Hadamard 16 dengan jarak yang berbeda

Dari gambar BER yang dihasilkan untuk jarak 3 meter adalah 0.0044, jarak 5 meter adalah 0.0183 dan jarak 7 meter adalah 0.225. Tingginya *Bit error rate* yang didapatkan karena daya pancar yang diberikan kecil yaitu sebesar -35 dbm dalam pengiriman data. Apalagi dengan perubahan jarak yang terjadi, semakin jauh jarak penguatan daya pancar yang diberikan harus lebih besar.

Dari hasil pengukuran terhadap fungsi jarak, pada Hadamard seperti yang ditunjukkan gambar 14 jarak 3 meter menghasilkan BER yang lebih kecil dibandingkan pada jarak 5 meter dan 7 meter pada panjang kode yang digunakan sama yaitu Hadamard 16. Hal ini menandakan bahwa jarak dan daya pancar 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.

C. Analisis Kinerja Sistem Terhadap Hadamard 16,32,64

Untuk pengujian sistem akan dikirimkan 10.000 bit dimana setiap bit akan di *upsample* menjadi 10. kemudian dilihat perbandingan bit yang dikirim terhadap bit yang diterima dari perubahan kode Hadamard dan jarak yang dilakukan. Masing – masing kode mempunyai panjang chip rate yang berbeda.



Gambar 15 Grafik BER 1 User Hadamard dalam 5 meter

Dalam gambar 15 Pada saat Ptx -30 dbm nilai BER yang dihasilkan untuk Hadamard 16 adalah 0.0224, dengan Ptx yang sama -35 dbm Hadamard 32 memiliki nilai BER 0.0196 dan Hadamard 64 adalah 0.00185. Semakin panjang kode yang digunakan maka ketahanan data semakin bagus. Hal ini dikarenakan dengan banyaknya jumlah chip yang tersedia makin banyak user yang bisa ditampung.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan proses implementasi, pengukuran dan analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1) *Multiuser interference* pada pengukuran berpengaruh terhadap kinerja sistem, terutama ketika pengiriman user secara bersamaan dengan jumlah user yang banyak. Semakin banyak user yang dikirim berakibat pada bertambah besar kesalahan bit yang diterima pada penerima.
- 2) Ketika suatu sistem diberi variasi jarak yang berbeda dan semakin jauh ternyata menyebabkan penurunan performansi sistem. Hal ini ditunjukkan dengan nilai BER yang semakin besar jika jarak bertambah.
- 3) Pada pengukuran didapatkan kinerja Hadamard dengan kode yang berbeda 16, 32, dan 64, kode Hadamard 64 memiliki performansi yang lebih baik dari kode 16 dan 32. ketika Ptx -30 dBm untuk kode Hadamard 16 BER 0.0003 dan kode Hadamard 32 BER 0.0002 terdapat selisih BER sebesar 0.0001, untuk Hadamard 64 sudah nilai BER 0.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sklar, Bernard. "Digital Communications Fundamentals and Applications". Prentice Hall. California 2001.
- [2] Proakis, John G., "Digital Communications Fourth Edition", Prentice Hall, California, 2001.
- [3] Tsai Shang-Ho., Yuan-Pei Lin., C.-C. Jay Kuo., Fellow "MAI-Free MC-CDMA System Based on Hadamard-Walsh Codes". IEEE, Signal Processing, 2006
- [4] Maxim Integrated Product Inc. MAX2828/2829 Single-/Dual-Band 802.11a/b/g World-band Transceiver ICs Datasheet. 2004.