

# Implementasi dan Evaluasi Kinerja *Direct Sequence Spread Spectrum* Menggunakan *Wireless Open-Access Research Platform* (WARP)

Aditya Sukmana Putra, Suwadi, dan Titiek Suryani

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

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

**Abstrak**—Dalam sistem komunikasi nirkabel, khususnya pada dunia komunikasi taktis atau militer, salah satu yang harus dihadapi adalah gangguan *jamming*. Informasi yang dikirimkan harus tahan terhadap *jamming* dan aman, sehingga informasi hanya bisa diterima oleh sisi penerima yang diinginkan saja. Salah satu sistem yang dapat mengatasi masalah tersebut adalah *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) dimana informasi akan dikalikan secara langsung dengan *pseudo-noise sequence* yang mempunyai laju chip jauh lebih besar, sehingga sinyal akan dikirimkan pada *bandwidth* yang jauh lebih besar dari laju bit. 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/nyata 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. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem DSSS pada WARP yang bekerja pada frekuensi 2,4 GHz yang ditampilkan dalam bentuk grafik *Bit Error Rate* (BER) terhadap variasi nilai daya sinyal *jamming* dengan mengirimkan 38400 bit. Kinerja sistem terbaik didapatkan ketika daya sinyal *jamming* lebih kecil atau sama dengan daya sinyal carrier sistem DSSS. Pada *Single Tone Jamming* (STJ) sistem akan mencapai nilai BER  $1 \cdot 10^{-3}$  saat daya sinyal *jamming* 125 % dari daya sinyal sistem DSSS, sedangkan pada *Multi Tone Jamming* (MTJ) sistem akan mencapai BER  $1 \cdot 10^{-3}$  saat daya sinyal *jamming* 100 % dari daya sistem DSSS.

**Kata Kunci**—DSSS, singletone *jamming*, multitone *jamming*, WARP, *MATLAB*

## I. PENDAHULUAN

DALAM proses pengiriman data, khususnya di dunia telekomunikasi taktis atau militer, sistem yang aman dan tahan terhadap gangguan *jamming* menjadi hal utama. Salah satu metode yang dibutuhkan akan sistem komunikasi tersebut harus mengatasi masalah interferensi, dapat menjamin kerahasiaan informasi yang dikirim dan dapat beroperasi pada tingkat *Signal to Noise Ratio* (S/N) yang rendah atau tahan terhadap *noise/derau* yang besar. *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) adalah metode yang tepat untuk mengatasi hal ini. Teknik ini adalah sebuah teknik transmisi dimana kode *pseudo noise* digunakan sebagai gelombang modulasi untuk menyebarkan energi sinyal melalui *bandwidth* yang jauh lebih besar dari *bandwidth* sinyal informasi.

*Software Define Radio* (SDR) akan menjadi sebuah perangkat yang dapat memvisualisasikan sistem komunikasi yang tahan terhadap *jamming*. Banyak SDR yang telah diproduksi dalam dunia telekomunikasi, namun baru-baru ini ada SDR yang bersifat *open-source* yaitu *Wireless Access-Open Research Platform* (WARP). Salah satu keunggulan dari WARP adalah dapat diprogram dengan software *MATLAB* serta pengembangan versi terbaru dapat diupdate dengan *MATLAB*. WARP menawarkan tingkat *fleksibilitas* yang tinggi, artinya bahwa perubahan parameter seperti modulasi, penguatan *baseband*, penguatan *Radio Frekuensi* (RF) dapat diganti pada sisi *software* sesuai dengan kebutuhan, sehingga lebih efisien dalam mendesain sistem komunikasi. WARP dapat beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz dan 5 GHz (IEEE 802.11a/b/g), sehingga dalam perancangan dapat divisualisasikan secara nyata/*real* dan dapat dilihat kinerja sistem apabila diberi gangguan *jamming*. Pada tugas akhir ini akan dilakukan pengujian sistem DSSS yang akan diimplementasikan pada *hardware* WARP yang beroperasi pada frekuensi 2,4 GHz (IEEE 802.11g) sehingga nantinya sistem ini mampu mengatasi gangguan *Single Tone Jamming* (STJ) dan *Multi Tone Jamming* (MTJ) yang berada disekitar frekuensi kerja sistem DSSS. Dengan simulasi ini diharapkan mampumengetahui kinerja sistem pada WARP yang ditampilkan dalam bentuk grafik *Bit Error Rate* (BER) terhadap variasi nilai daya sinyal *jamming*.

## II. TEORI PENUNJANG

### A. *Spread Spectrum*

*Spread spectrum* adalah suatu teknik pengiriman sinyal informasi yang menggunakan kode *chip* untuk menebarkan spektrum energi sinyal informasi dalam pita frekuensi yang jauh lebih besar dari spektrum minimal yang dibutuhkan untuk menyalurkan suatu informasi. Sistem komunikasi *spread spectrum* berguna untuk menekan adanya *jamming*. Konsep ini didasarkan pada teori C.E. Shannon untuk kapasitas saluran [1]:

$$C = W \log_2 (1+S/N) \quad (1)$$

Dimana: C = Kapasitas kanal transmisi

W = Lebar pita frekuensi transmisi

S = Daya Sinyal

N = Daya Noise

Ada beberapa teknik modulasi yang dapat digunakan untuk menghasilkan spectrum sinyal tersebar antara lain [1]:

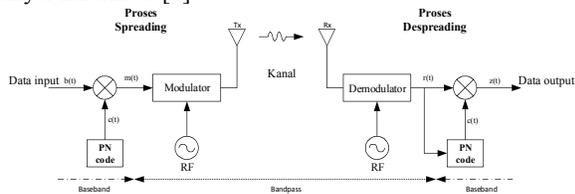
1. *Direct Sequence*, yaitu teknik mengalikan secara langsung bit informasi dengan *pseudo noise sequence* (PN *sequence*) di sisi pengirim dan penerima, dimana PN *sequence* memiliki laju chip jauh lebih besar dari bit informasi.
2. *Frequency Hopping*, yaitu teknik modulasi dimana data akan ditransmisikan pada frekuensi yang berbeda-beda atau berpindah-pindah (*hopping*) dalam waktu yang cepat.
3. *Hybrid*, yaitu teknik modulasi gabungan antara *direct sequence* dan *frequency hopping*.

Secara umum sistem komunikasi *spread spectrum* dibedakan oleh tiga elemen [3], yaitu:

1. *Bandwidth* sinyal yang lebih besar daripada kebutuhan sinyal informasi yang dikirimkan.
2. *Bandwidth* yang disebar menggunakan bantuan kode yang independen terhadap data informasinya.
3. Pada *receiver* kode yang independen tadi digunakan untuk me-recovery data informasi. Sehingga diperlukan adanya sinkronisasi antara pemancar dan penerima.

**B. Direct Sequence**

Salah satu teknik sistem komunikasi *spread spectrum* adalah *direct sequence*. *Direct sequence* merupakan teknik *spread spectrum* yang paling luas dikenal dan banyak digunakan, karena sistem ini paling mudah diimplementasikan dan mempunyai data rate yang tinggi. *Direct sequence* menggunakan kode unik untuk menebarkan sinyal baseband yang akan dimodulasi digital bersama sinyal informasi [2].

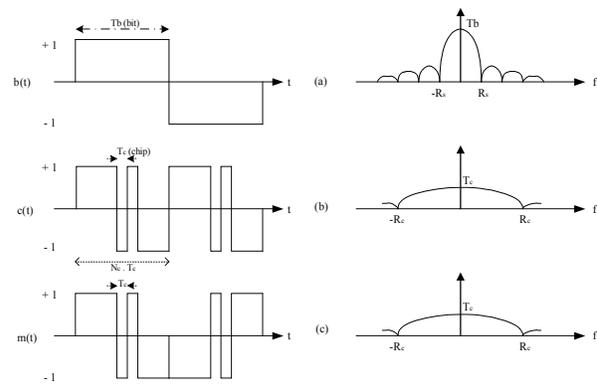


Gambar 1. Blok pemancar dan penerima *Direct Sequence Spread Spectrum*[2]

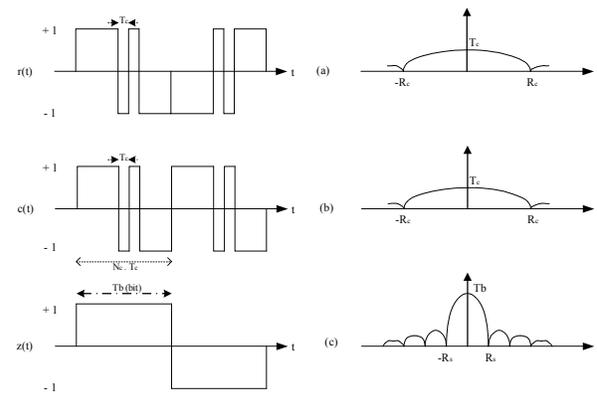
Pada gambar 1 terlihat bagaimana prinsip kerja dari sistem DSSS. Sinyal informasi pada bagian pengirim mempunyai laju bit yang rendah, sinyal tersebut dikalikan dengan sinyal PN *sequence*, dimana sinyal tersebut dibangkitkan oleh *pseudo noise generator*, yang mempunyai laju bit jauh lebih tinggi daripada sinyal informasi. Setelah sinyal dikalikan dengan PN *sequence* dilakukan proses modulasi sebelum sinyal tersebut dipancarkan oleh antena.

Pada gambar 2 terlihat perbedaan laju bit antara sinyal informasi dengan sinyal PN *sequence*.  $T_b$  merupakan periode waktu dalam satu pulsa sinyal informasi, sedangkan  $T_c$  merupakan periode waktu dalam satu pulsa sinyal PN *sequence*. Pada gambar 2(a) terlihat pada domain frekuensi laju bit jauh lebih kecil *dari* laju chip pada gambar 2(b).

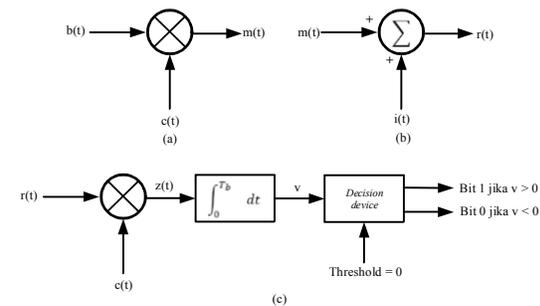
Data sinyal yang diterima merupakan sinyal informasi ditambah dengan sinyal noise. Proses *despreading* ini dilakukan dengan mengalikan sinyal diterima dengan PN *sequence* yang nantinya sinyal tersebut akan kembali seperti semula seperti ditunjukkan pada gambar 3(c).



Gambar 2. Pada sisi pengirim (a) Data informasi dan *power spectral density* (b) Data chip (PN-*sequence*) dan *power spectral density* (c) Data sinyal spreading dan *power spectral density*[1]



Gambar 3. Pada sisi penerima (a) Data sinyal despreading dan *power spectral density* (b) Data chip (PN-*sequence*) dan *power spectral density* (c) Data informasi dan *power spectral density*[1]



Gambar 4. Model sistem spread spectrum baseband ideal. (a) Sisi pengirim. (b) Kanal. (c) Sisi penerima[5].

Sinyal informasi  $b(t)$  yang awalnya berupa *narrowband* akan dikalikan secara langsung dengan sinyal PN  $c(t)$  yang berupa *wideband* sehingga akan menghasilkan sinyal  $m(t)$  yang mempunyai spektrum hampir sama dengan *wideband* sinyal PN atau bisa dinamakan dengan kode chip spreading. Untuk transmisi *baseband*, dapat dilihat sinyal  $m(t)$  pada sisi pengirim memiliki persamaan sebagai berikut [5]:

$$m(t) = c(t)b(t) \tag{2}$$

Sinyal yang diterima  $r(t)$  terdiri dari sinyal yang dikirim ditambah dengan *interferensi*  $i(t)$ , model kanal pada gambar 4 sehingga persamaan menjadi [5]:

$$r(t) = m(t) + i(t) = c(t)b(t) + i(t) \tag{3}$$

Untuk mengembalikan sinyal asli  $b(t)$ , pada sinyal penerima  $r(t)$  diaplikasikan *demodulator* yang terdiri dari *integrator* dan *decision device* yang dapat dilihat pada gambar 4. Pada sisi penerima sinyal  $c(t)$  merupakan sinyal yang dibangkitkan oleh *PN sequence*, dimana sinyal ini merupakan sinyal replika yang digunakan di sisi pengirim. Kita anggap pada penerima memiliki sinkronisasi yang sempurna dengan pengirim. Pada sisi penerima dapat dijelaskan pada persamaan berikut[5] :

$$z(t) = c(t) + r(t) \tag{4}$$

$$= c^2(t)b(t) + c(t)i(t)$$

Pada persamaan 4 terlihat bahwa data sinyal  $b(t)$  dikalikan dua kali dengan sinyal PN  $c(t)$ , tetapi pada sinyal  $i(t)$  dikalikan hanya satu kali. Karena sinyal PN  $c(t)$  mempunyai nilai level -1 dan +1, sehingga mempunyai persamaan[5] :

$$c^2(t) = 1, \text{ u n t i s e m i n i l t} \tag{5}$$

Sehingga, persamaan 4 dapat kita sederhanakan sebagai berikut :

$$z(t) = b(t) + c(t)i(t) \tag{6}$$

Dari persamaan 6 dapat dilihat bahwa sinyal  $b(t)$  diproduksi kembali pada proses perkalian yang dilakukan di penerima, kecuali efek dari interferensi, sinyal interferensi tetap pada kondisi *wideband*. Diketahui bahwa komponen data  $b(t)$  merupakan *narrowband*, sedangkan komponen *spurious c(t)i(t)* merupakan *wideband*. Pada sisi penerima hal yang menyebabkan sinyal kembali seperti semula adalah *baseband low-pass filter* dengan *bandwidth* yang cukup untuk memproduksi ulang sinyal  $b(t)$ , dan sinyal  $c(t)i(t)$  akan mengalami redaman[5].

C. Pseudo Noise (PN)

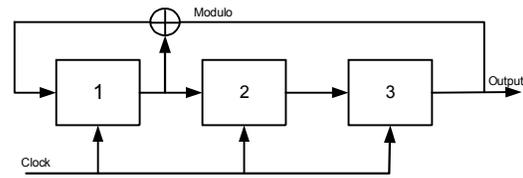
Dapat juga disebut *pseudorandom sequence* adalah biner *sequence* dengan autokorelasi yang mirip dalam satu periode. Pada sistem DSSS *pseudorandom sequence* sangat berperan dalam proses *spreading* dan *despreading* dari sinyal baseband. *PN code* mempunyai satuan chips, yang merupakan sinyal yang 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 [3], yaitu :

- a. Balance property. Dibutuhkan pada setiap periode sekuensi, dimana perbedaan antara banyaknya jumlah biner 0 dan biner 1 paling banyak adalah satu digit.
- b. Run property. Didefinisikan sebagai sekuensi dari satu tipe tunggal dari digit biner. 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.

Salah satu cara untuk menghasilkan sinyal PN adalah dengan menggunakan *Maximum Length Sequences* (MLS),

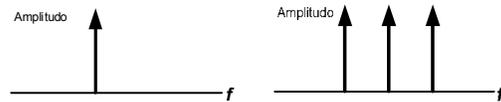
yang menggunakan konsep *polynomial*. Suatu MLS dibentuk dari gabungan shift register dan kumpulan sirkuit logic pada sistem feedback-nya, serta clock untuk mengatur periode pembangkitan chip pada deretan bit-bit sekuensi [1].



Gambar 5. Diagram MLS PN Generator[1]

D. Teknik Jamming

Pada dasarnya *jamming* adalah sinyal dari luar sistem yang bertujuan untuk mengganggu sinyal informasi. Sinyal *jamming* dalam penelitian ini berupa *Single Tone Jamming* dan *Multi Tone Jamming*[4].

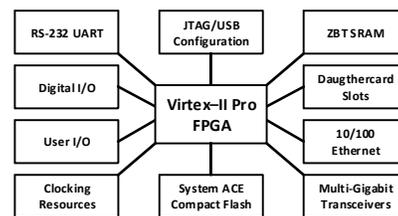


Gambar 6. Spektrum Singletone dan Multitone Jamming [4]

E. Modul 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*.

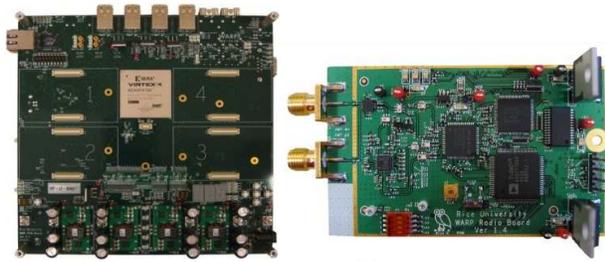
Komponen utama *hardware* dari WARP adalah *FPGA board*, *radio board* dan *clock board*. *FPGA board* terdiri dari *FPGA chips*, *4Mb onboard memory* dan memiliki *peripheral I/O* yaitu *multi gigabit transceiver*, *USB port*, *JTAG header*, *ethernet port*, *daughtercard connectors*, *compact flash slot*.



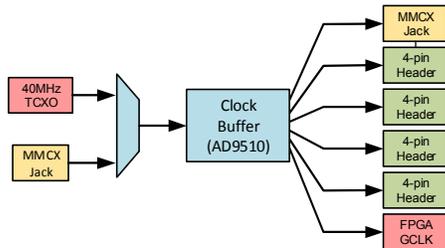
Gambar 7. Arsitektur hardware WARP [7]

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.

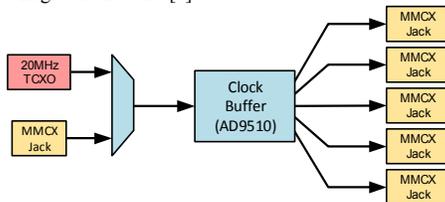
*Clock board* pada gambar 9 mempunyai fungsi sebagai sumber *logic clock* ADC/DAC dan sumber *radio clock* pada gambar 10 untuk *upconversion/downconversion* pada *radio board*. *Clock board* menghasilkan *logic clock* pada frekuensi 40 MHz dan *radio clock* pada frekuensi 20 MHz.



Gambar 8. Modul WARP dan radio board [8]



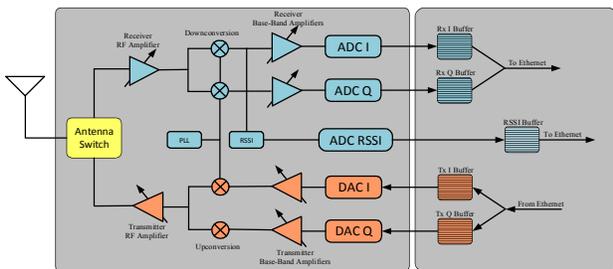
Gambar 9. Logic clock board [8]



Gambar 10. Radio clock board [8]

F. WARPLab versi 7

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*.



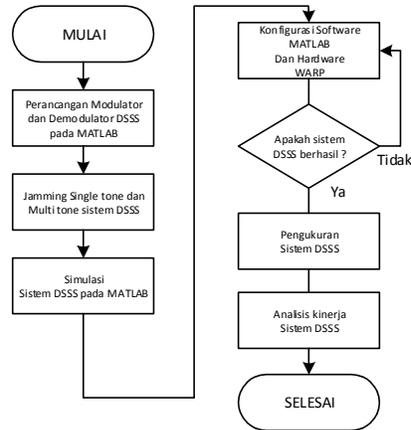
Gambar 11. Arsitektur WARP Lab [8]

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

Pada perancangan ini akan dibuat sistem modulasi dan demodulasi DSSS menggunakan *MATLAB*. *MATLAB* telah dirancang agar terhubung dengan WARP, sehingga dapat mempermudah implementasi yang dilakukan pada kanal yang nyata. Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam proses ini dapat dilihat pada gambar 12.

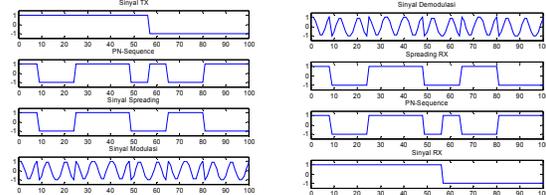
Blok modulasi dilakukan sebelum bit informasi dikirimkan melalui suatu kanal. Modulasi yang digunakan

pada perancangan ini adalah BPSK (Binary Phase Shift Keying).



Gambar 12 Diagram alir perancangan

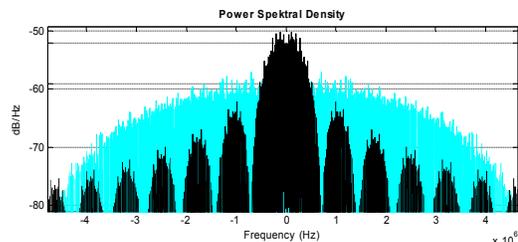
Digunakan modulasi BPSK karena mendukung suatu informasi memiliki *bandwidth* yang lebar dan modulasi ini sering digunakan pada DSSS. Modulasi BPSK menghasilkan nilai fasa yang berbeda 180° antara bit '0' dan bit '1'. Lalu keluaran dari modulasi dikalikan dengan sinyal cosinus untuk melakukan penggeseran frekuensi kerja sistem.



Gambar 13. Modulasi dan demodulasi sistem DSSS

Pada pemodelan kali ini, dalam proses spreading akan dikalikan dengan sinyal dai *PN Sequence* dengan *polynomial generator*[1 1 0 1] dan *initial state* [0 0 1], *PN sequence* memiliki interval waktu 7 kali lebih cepat daripada bit informasi.

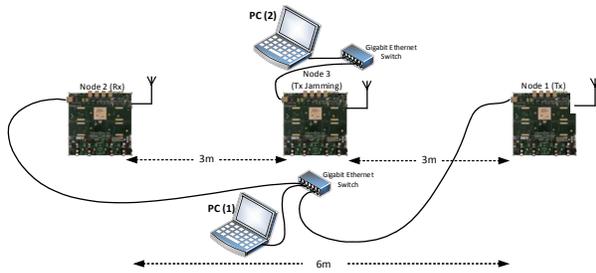
Periode bit informasi yang jauh lebih besar dari chip mengakibatkan laju chip menjadi seperti gambar 14. Laju chip jauh lebih besar dari pada laju bit informasi.



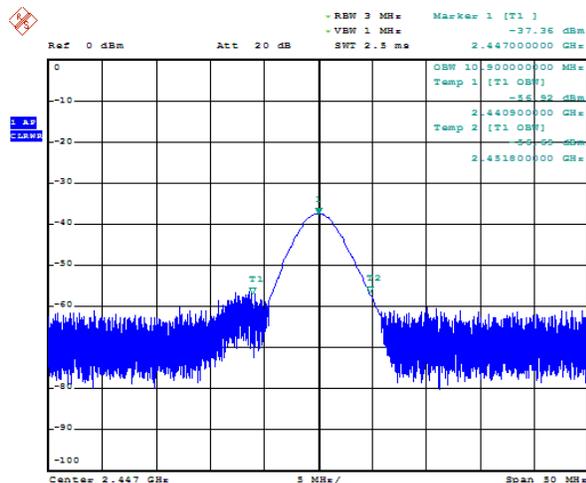
Gambar 14. Spektrum frekuensi bit informasi dan DSSS

Pada kanal transmisi ditambahkan sinyal *jamming* yang bekerja pada 3 frekuensi yang berbeda untuk mengganggu sinyal sinyal info.

Pada pemodelan sistem sinyal *Single Tone Jamming* akan bekerja pada frekuensi 2,446 GHz, 2,447 GHz, dan 2,448 GHz dengan daya sinyal *jamming* yang divariasikan. Sedangkan sinyal *Multi Tone Jamming* akan bekerja pada frekuensi 2,446 GHz dan 2,447 GHz, 2,447 GHz dan 2,448 GHz, serta 2,446 GHz dan 2,448 GHz.



Gambar 15. Implementasi sistem DSSS dengan *Single Tone Jamming* dan *Multi Tone Jamming*



Gambar 16. Spektrum frekuensi sistem DSSS kanal 8.

Pada gambar 16 merupakan visualisasi spektrum pada frekuensi tengah 2,447 GHz, dengan *power transmit* (Ptx) terukur pada *Spectrum Analyzer* -37,36 dBm dan *bandwidth* 10,9 MHz.

#### IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

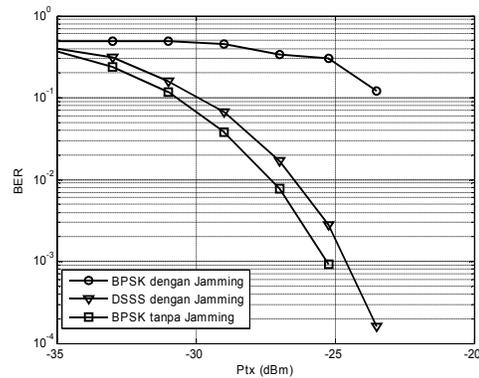
Pada bab ini akan dibahas tentang hasil dari pengukuran dan analisa dari implementasi modulasi dan demodulasi *Direct Sequence Spread Spectrum* yang telah dijelaskan pada Bab III. Hasil dari pengukuran kinerja dari sistem ini akan ditampilkan dalam bentuk grafik BER vs *Daya noise*. Dalam proses analisis data pengukuran ini akan dibagi menjadi tiga bagian , antara lain :

1. Analisis kinerja dari modulator dan demodulator BPSK.
2. Analisis kinerja sistem BPSK dan DSSS.
3. Analisis kinerja Implementasi DSSS dengan gangguan dari *Single Tone Jamming* dan *Multi Tone Jamming*.

##### A. Analisis Kinerja Sistem BPSK dan DSSS yang diberi gangguan jamming tone

Pada analisa ini bertujuan untuk mengetahui apakah adanya *PN sequence* dalam sistem yang dirancang berpengaruh terhadap kinerja sistem yang terganggu oleh sinyal *jamming*. Untuk mengetahui kinerja sistem yang terganggu oleh sinyal *jamming*, dapat dilihat dari nilai BER terhadap *power transmit* (Ptx) dengan membandingkan nilai BER sistem BPSK (tanpa *PN sequence*) dengan sistem DSSS (menggunakan *PN sequence*). Bit yang dikirimkan sebanyak 38.400 bit. Sinyal *jamming* yang digunakan adalah sinyal *cosinus* dengan frekuensi dan daya yang sama dengan sinyal *carrier* pada sistem.

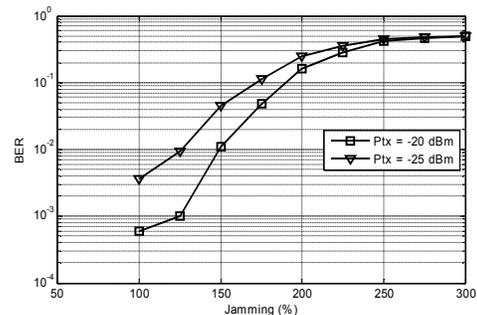
Pada gambar 17 ditunjukkan bahwa nilai BER yang dihasilkan oleh sistem DSSS dengan *PN sequence* memperbaiki kinerja sebesar 72,27 % dibandingkan dengan sistem BPSK (tanpa *PN sequence*) jika sinyal informasi terkena pengaruh sinyal *jamming*.



Gambar 17. BER sistem BPSK vs DSSS

##### B. Analisis Kinerja Sistem DSSS pada Simulasi dan Implementasi dengan Gangguan Single Tone Jamming

Simulasi dibuat seperti yang dijelaskan sebelumnya dimana sistem ini yang akan diimplementasikan pada modul WARP. Pengukuran menggunakan node WARP bertujuan sebagai pendekatan sistem komunikasi DSSS secara real. Perancangan yang telah dibuat pada bab 3 akan diukur menggunakan node WARP dimana node (1) berada pada jarak 6 meter dari node (2) dan ditengah akan diletakkan node WARP sebagai *jamming*. Dalam pengukuran ini sistem akan di *jamming* dengan *Single Tone Jamming* dan *Multi Tone Jamming* pada nilai *power transmit* -25 dBm dan -20 dBm.

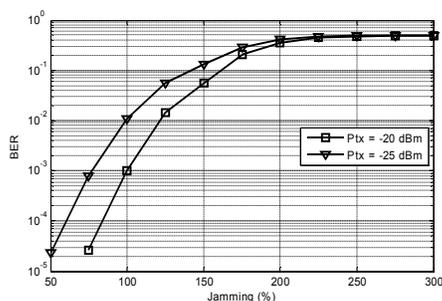


Gambar 18. Grafik BER vs Daya *Single Tone Jamming* pada frekuensi kerja 2.447 GHz

Pada data hasil pengukuran gambar 18 terlihat pada grafik bahwa adanya perbedaan daya sinyal *jamming* sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem DSSS. Frekuensi kerja sinyal *jamming* ini berada tepat di frekuensi pembawa dari sinyal informasi. Pada pengukuran dengan frekuensi *jamming* berada diatas dan dibawah frekuensi kerja sistem menunjukkan kinerja sistem yang hampir sama, artinya sistem yang di *jamming* dengan daya sama atau lebih kecil, masih menunjukkan kinerja yang baik, didasari atas BER masih mencapai  $10^{-3}$ .

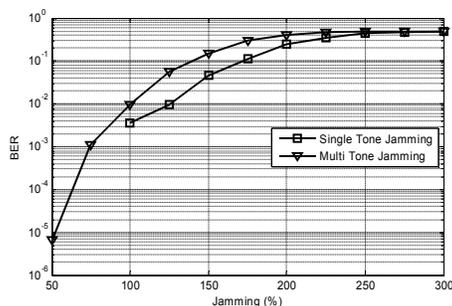
### C. Analisis Kinerja Sistem DSSS pada Simulasi dan Implementasi dengan Gangguan Multitone Jamming

Pada pengukuran ini sistem akan diganggu dengan sinyal *Multi Tone Jamming*, artinya sinyal akan diganggu oleh dua sinyal *jamming* yang bekerja pada frekuensi berbeda.



Gambar 19. Grafik BER vs Daya sinyal *jamming* pada frekuensi 2,447 GHz dan 2,448 GHz

Pada gambar 19 terlihat bahwa terdapat pengaruh penggunaan sinyal *jamming* menggunakan dua frekuensi sekaligus. Pada gambar 20, perbedaan *single tone* dengan *multi tone* dapat terlihat pada nilai BER yang lebih besar jika dibandingkan dengan sinyal yang diberi gangguan *Single Tone Jamming*.



Gambar 20. Grafik BER *single tone* vs *multi tone*

Dapat dilihat pada gambar 20 bahwa banyaknya gangguan *jamming* menyebabkan suatu sistem mengalami penurunan kinerja, artinya perlu dilakukan perubahan kombinasi dari sisi *processing gain*, supaya sistem bisa mengatasi masalah *Multi Tone Jamming*.

## V. KESIMPULAN/RINGKASAN

1. Sinyal *jamming* pada pengukuran berpengaruh terhadap kinerja sistem, terutama pada perubahan daya *jamming*. Semakin besar daya *jamming* berakibat pada bertambah besar kesalahan bit yang diterima pada penerima.
2. Ketika suatu sistem diberi gangguan *jamming* pada frekuensi kerja sistem, penggunaan *PN sequence* menjadi penting untuk memperbaiki kinerja sistem, hal ini terbukti bahwa kinerja sistem ketika mengirim dengan teknik DSSS mempunyai kinerja 72,27 % lebih baik jika dibandingkan dengan modulasi tanpa *PN sequence*.
3. Pada *jamming* jenis *single tone*, ketika Ptx -25 dBm mencapai nilai BER  $10^{-3}$  rata-rata pada saat besar *jamming* 100 % dari daya sinyal *carrier* sistem. Sedangkan ketika Ptx -20 dBm nilai BER  $10^{-3}$  rata-rata didapat ketika sinyal *jamming* 125 % dari daya sinyal *carrier* sistem.

4. Pada *jamming* jenis multi tone, ketika Ptx -25 dBm mencapai nilai BER  $10^{-3}$  rata-rata pada saat besar *jamming* 50 % dari daya sinyal *carrier* sistem. Sedangkan ketika Ptx -20 dBm nilai BER  $10^{-3}$  rata-rata didapat ketika sinyal *jamming* 100 % dari daya sinyal *carrier*.
5. Pada pengukuran sistem diketahui bahwa untuk jenis *jamming* berupa *single tone* dan *multi tone*, besarnya nilai *power transmit* (Ptx) akan mempunyai pengaruh yang baik atau stabil pada sistem ketika sistem mempunyai daya sinyal *carrier* yang sama atau lebih besar daripada daya sinyal *jamming*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Torrieri, Don., "Principle of Spread Spectrum Communication Systems", Springer, New York, 2005.
- [2] Proakis, John G., "Digital Communications Fourth Edition", Prentice Hall, California, 2001.
- [3] Sklar, Bernard. "Digital Communications Fundamentals and Applications". Prentice Hall. California 2001.
- [4] Poisel, Richard A. "Modern communication *Jamming* Principles and Techniques". Artech House. Norwood MA. 2011.
- [5] Haykin, Simon., "Communication Systems Fourth Edition". Mc Master. New York. 2000.
- [6] Maxim Integrated Product Inc. MAX2828/2829 Single-/Dual-Band 802.11a/b/g World-band Transceiver ICs Datasheet. 2004.
- [7] WARP Project - Wireless Open Access Research Platform. [Online] Desember 2014. [Disunting: Desember 23, 2014.] <http://warp.rice.edu/trac/wiki/about>.
- [8] WARP Radio Board Overview - Wireless Open Access Research Platform. WARP Project - Wireless Open Access Research Platform. [Online] Desember, 2014. [Disunting: Desember 23, 2014.] [http://warpproject.org/trac/wiki/HardwareUsersGuides/RadioBoard\\_v1](http://warpproject.org/trac/wiki/HardwareUsersGuides/RadioBoard_v1)