

Implementasi *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) pada DSK TMS320C6416T

Ocki Aditya Muhammad, Suwadi, dan Titiek Suryani

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

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

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

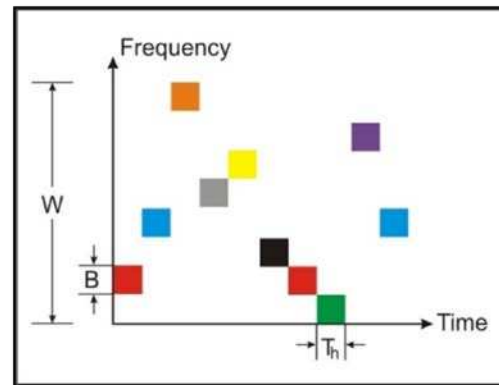
Abstrak—Teknik *Spread Spectrum* (spektral tersebar) merupakan salah satu jenis teknik pengiriman sinyal yang tahan terhadap gangguan berupa *noise* maupun *jamming*. Pada saat proses melakukan pengiriman informasi, teknik ini mempunyai tingkat keamanan informasi yang cukup tinggi. Pada komunikasi *Frequency-Hopping Spread Spectrum* (FHSS), sinyal informasi akan dilompatkan secara acak pada beberapa frekuensi pembawa yang tersedia. Teknik FHSS ini memiliki ketahanan yang tinggi terhadap *jamming*, khususnya jenis *Single Tone Jamming* (STJ) dan *Multi Tone Jamming* (MTJ). Dalam Tugas Akhir ini akan dilakukan implementasi sistem FHSS ke dalam *DSP Starter Kit* TMS320C6416T. Sistem FHSS ini akan dimodelkan dengan menggunakan *software* Matlab Simulink dan Code Composer Studio. Terdapat tiga pengujian sistem secara simulasi dan implementasi yaitu sistem dengan gangguan AWGN, gangguan STJ, dan gangguan MTJ. Parameter yang digunakan saat pengujian antara lain E_b/N_0 , Frekuensi *Jamming* (F_j), dan Amplitudo *Jamming*. Hasil pengujian akan ditampilkan dalam bentuk grafik BER terhadap variasi nilai E_b/N_0 dan grafik BER terhadap variasi Amplitudo *Jamming*. STJ dan MTJ mulai mengganggu sistem FHSS saat kondisi E_b/N_0 20dB, frekuensi *jamming* sama dengan frekuensi pembawa, dan amplitudo *jamming* lebih dari 100% terhadap amplitudo sinyal pembawa, jika dibawah 100% menghasilkan nilai BER 10^{-5} jadi masih dalam kondisi terbaik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem FHSS lebih tahan terhadap *Single Tone* dan *Multi Tone Jamming* dibandingkan sistem 4-ary FSK.

Kata kunci—*Frequency Hopping*, *Spread Spectrum*, *Jamming*, *Bit Error Rate*, DSK TMS320C6416T, Matlab

I. PENDAHULUAN

Pada sistem komunikasi ada berbagai macam teknik yang digunakan untuk mengirim informasi/data dari pemancar ke penerima. Pada saat proses pengiriman informasi/data sering dijumpai masalah interferensi, *noise*, maupun *jamming* yang bisa merusak sinyal informasi. Untuk mengatasi masalah tersebut maka digunakan teknik komunikasi *frequency-hopping spread spectrum*. Teknik tersebut digunakan karena sinyal pembawa (*carrier*) mengubah-ubah frekuensi (*frequency-hopping*) secara acak tetapi sesuai urutan. Jadi dapat mengurangi kerusakan yang ditimbulkan oleh interferensi, *noise*, maupun *jamming* dan menjamin kerahasiaan sinyal yang dikirimkan.

Pada proyek akhir ini akan melakukan simulasi pengiriman dan penerimaan sinyal informasi dari pemancar ke penerima dengan teknik *frequency-hopping spread*



Gambar 1. Pola *Frequency-hopping* [3]

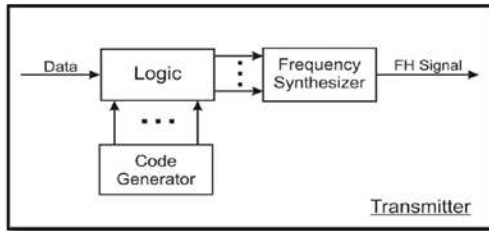
spectrum disertai gangguan (*jamming*) yaitu *Single* dan *Multi Tone Jamming*. Simulasi dilakukan dengan bantuan perangkat lunak (*software*) MatLAB, kemudian diimplementasikan pada perangkat keras (*hardware*) DSK TMS320C6416T. DSK TMS320C6416T adalah salah satu dari perangkat yang bisa digunakan untuk memvisualisasikan proses pengiriman dan penerimaan sinyal informasi dan didukung perangkat lainnya.

II. TEORI PENUNJANG

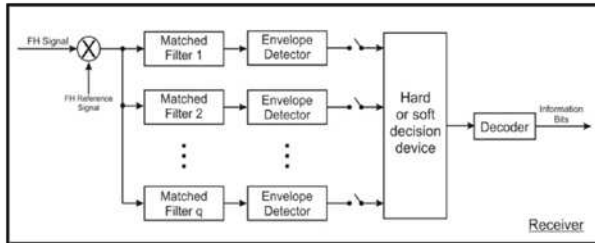
A. *Frequency-Hopping Spread Spectrum* (FHSS)

Frequency-Hopping Spread Spectrum merupakan salah satu teknik *spread spectrum* yang memiliki karakteristik perubahan secara periodik pada frekuensi pembawa dari sinyal yang ditransmisikan. Urutan frekuensi pembawa disebut *frequency-hopping pattern*. Himpunan frekuensi pembawa $M \{f_1, f_2, \dots, f_M\}$ disebut *hopset*. Waktu perubahan frekuensi pembawa disebut *hop rate*. *Hopping* (lompatan) yang terjadi melalui pita frekuensi disebut *hopping band* yang mencakup kanal frekuensi M . Setiap kanal frekuensi didefinisikan sebagai daerah spektral yang mencakup frekuensi pembawa tunggal dari *hopset* sebagai pusat frekuensi dan memiliki bandwidth B cukup besar untuk mencakup sebagian besar *power* dalam bentuk sinyal pulsa dengan frekuensi pembawa tertentu. Gambar 1 mengilustrasikan kanal frekuensi dikaitkan dengan pola *frekuensi-hopping* tertentu. [3]

Sebuah sistem FH/MFSK menggunakan MFSK sebagai modulasi datanya. Salah satu frekuensi q dipilih sebagai pembawa (*carrier*) atau frekuensi tengah untuk setiap simbol ditransmisikan, dan kumpulan frekuensi q memungkinkan perubahan frekuensi di setiap *hop*. Blok pemancar pada Gambar 2 untuk sistem FH/MFSK di mana keluaran bit dari generator kode dan input digital digabungkan untuk menentukan frekuensi yang dihasilkan oleh *synthesizer*. Pada sistem FH/MFSK, setiap frekuensi q



Gambar 2. Diagram Blok Pemancar FH/MFSK [3]



Gambar 3. Diagram Blok Pemancar FH/MFSK [3]



Gambar 4. Single Tone Jamming [2]

atau pola di kumpulan MFSK dapat dianggap sebagai frekuensi tengah dari sub kanal MFSK. Pada Gambar 3 menggambarkan elemen utama dari sebuah penerima FH/MFSK non-koheren. Setiap filter *matched* sesuai dengan sub-kanal MFSK. Secara praktis ortogonalitas sistem FH/MFSK dari pola q MFSK tidak sempurna karena frekuensi yang berpindah-pindah terjadi setelah lompatan di penerima.

B. Single Tone Jamming

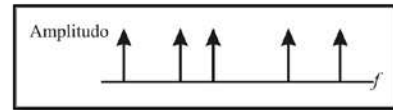
Pada *single tone* ini sinyal *jamming* ditransmisikan di frekuensi tunggal, ditunjukkan pada Gambar 4. Dengan demikian, sinyal *jamming* merupakan sebuah pola *Continuous Wave (CW)* yang diletakkan di frekuensi tunggal. *Single tone jamming* juga disebut dengan *spot jamming*. [2]

CW *jamming* untuk sistem FHSS tidak berhasil, akan tetapi berhasil diterapkan untuk target yang sangat sempit seperti telegrafi On-Off Keying (OOK) yang tidak mengubah frekuensi. *Single tone jamming* mungkin berguna terhadap sistem AJ DSSS dengan mengatasi pengolahan *gain* dari sistem tersebut pada penerima dan menyebabkan efek kerusakan pada level *despread*. Ketika daya jammer total tetap, daya lebih dapat ditempatkan dalam satu pola dibandingkan di setiap beberapa pola, sehingga meningkatkan kemungkinan mengatasi pengolahan *gain*.

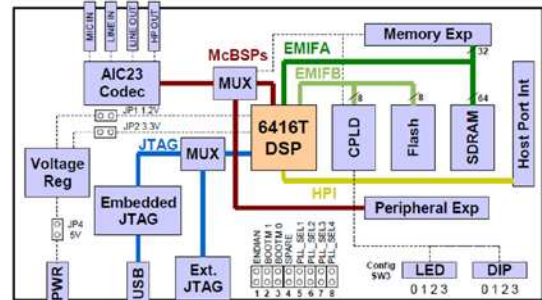
Ketika ada satu pola ditempatkan di kanal data, sedangkan saluran komplementer hanya memiliki *thermal noise*, maka *jammer* dapat meningkatkan kemampuan penerimaan bit data benar, tergantung pada hubungan fase antara pola interferensi, pola data dan magnitudo relatif dari *tones*.

C. Multiple Tone Jamming

Pada *Multiple tone jamming*, satu atau lebih dari satu *jammer tone* ditempatkan di spektrum. Dimana *jammer* tersebut ditempatkan dan jumlahnya mempengaruhi kinerja *jamming*. *Multiple-tone jamming* mendistribusikan daya



Gambar 5. Multiple Tone Jamming [2].



Gambar. 3. DSK TMS320C6416T [6].

jammer di antara beberapa pola (*tones*) dan ditunjukkan pada Gambar 5. [2] *Jammer* akan memancarkan lebih dari satu pola (*tone*) yang ditempatkan secara acak atau ditempatkan pada frekuensi tertentu. Jika target khusus sistem komunikasi AJ yang rentan terhadap pola tertentu dan *jammer* mengetahuinya, maka mungkin lebih bijaksana untuk menggunakan pola pada frekuensi tertentu daripada menempatkannya secara acak. [2]

Ketika pola dalam kanal berurutan, hal ini disebut *comb jamming*. Disini, tidak mempedulikan strategi pola *jamming* yang sedang dibahas, secara diam-diam diasumsikan bahwa pola ditempatkan tepat pada frekuensi di spektrum sehingga pola *jammer* melewati filter penerima tanpa distorsi atau pelemahan. *Multitone Jamming* diilustrasikan pada Gambar 2.5. ketika interferensinya adalah pola *jammer* hanya ke kedua kanal data dan kanal komplementer tanpa *noise*. [2]

D. DSP Starter Kit TMS320C6416T

Texas Instruments DSK TMS320C6416T adalah *low cost development platform* untuk aplikasi pemrosesan sinyal digital secara *real-time*. Terdiri dari sebuah papan sirkuit kecil berisi DSP TMS320C6416 *fixed-point* dan *interface* rangkaian analog (codec) TLV320AIC23 yang terhubung ke PC melalui port USB [5]. *Digital Signal Processor* digunakan untuk berbagai aplikasi, dari komunikasi, *speech control* dan *image processing*. Aplikasi umum yang menggunakan DSP ini yaitu untuk frekuensi 0-96 kHz. Frekuensi tersebut merupakan standar dalam sistem telekomunikasi untuk *sample speech* di 8 kHz (satu sampel setiap 0,125 ms).

DSK TMS320C6416 merupakan *multi-layer board* berukuran 8.75 x 4.5 inch (210 x 115 mm), disuplai daya eksternal +5 volt. DSK ini terdiri dari sebuah 1 GHz DSK TMS320C6416 *fixed-point digital signal processor* dan 16-bit *stereo codec* TLV 320AIC23 untuk *input* dan *output* analog. Codec AIC23 menyediakan ADC dan DAC dengan *clock* 12 MHz dan *sampling rate* 8-96 kHz. DSK memiliki 16 MB *Synchronous Dynamic Random (SDRAM)* dan 512 kB *flash memory*. Fasilitas *card expansion* dan dua konektor 80-pin juga disediakan untuk *external peripheral* dan *external memory interfaces*. JTAG *emulation* melalui *on-board JTAG emulator* dengan *USB host interface* atau *external emulator*. Konfigurasi *software board* melalui register diimplementasikan pada CPLD serta pemilihan *configured boot* dan *clock input* [6].

Terdapat empat konektor pada DSK untuk *input* dan *output*:

- MIC IN untuk *input* dari *microphone*.
- LINE IN untuk *input* dari *function generator*.
- LINE OUT untuk *output*.
- HEADPHONE untuk *output* pada *headphone*.

Dip switch dalam DSK dapat difungsikan sesuai program dan menyediakan fungsi kontrol. Terdapat pengatur tegangan yang menyediakan 1,26 V untuk *processor* dan 3,3 V untuk sistem memori dan kelengkapan lain.

E. Code Composer Studio v3.1

CCS merupakan sebuah *Integrated Development Environment* (IDE) untuk *Texas Instruments* (TI) *embedded processor*. CCS menyediakan IDE untuk pemrosesan sinyal digital *real-time* berdasarkan bahasa pemrograman C. CCS menghasilkan kode seperti *assembler*, *C compiler*, dan *linker* untuk keluaran DSK *Texas Instrument*.

CCS memiliki kemampuan grafis dan mendukung *real-time debugging*. *C compiler* mengkompilasi sebuah program dalam bahasa C dengan ekstensi *.c, untuk menghasilkan file *assembly* menggunakan ekstensi *.asm. *Assembler* memproses file *.asm untuk menghasilkan file bahasa mesin dengan ekstensi *.obj. Kemudian *linker* menggabungkan file-file tersebut menjadi *executable file* dengan ekstensi *.out. File ini kemudian dimasukkan ke dalam prosesor C6714. Untuk analisis *real-time* dapat menggunakan fasilitas *real-time data exchange* (RTDX) yang memungkinkan pertukaran data antara PC dan DSK tanpa melepas DSK [6].

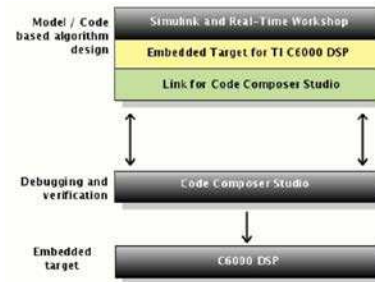
Pada *software* Matlab telah disediakan sebuah fungsi untuk berkomunikasi dengan DSK TMS320C6x dengan bantuan CCS. Kemudian CCS mengintegrasikan simulasi yang sudah dibentuk dari Simulink Matlab kemudian mengkonversikan ke dalam bahasa C maupun *assembly*.

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

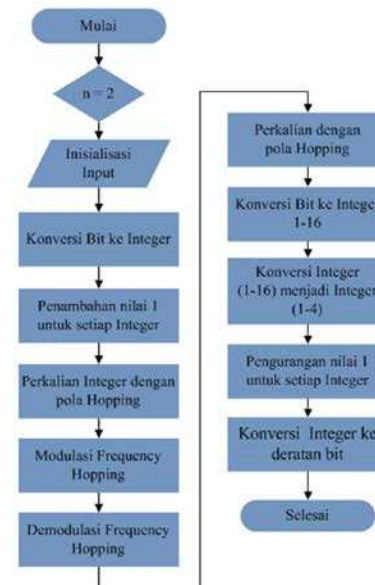
Perancangan dan implementasi sistem dibuat diagram alir yang berpedoman pada Gambar 5. Dalam blok diagram Tugas Akhir yang dirancang, sinyal masukan akan dibangkitkan dari *random integer generator*. Selanjutnya sinyal masukan yang sudah diproses modulator akan diuji oleh gangguan yang disengaja berupa *jamming*. *Jamming* akan diletakkan setelah proses modulasi. Jenis yang akan diujikan adalah *Single Tone* dan *Multi Tone Jamming*. Hasil pengujian terhadap sistem FHSS akan dibandingkan dengan sistem 4-ary FSK.

Pada sistem FHSS ini sinyal masukan atau data yang dikirim berupa sinyal digital yang dibangkitkan dari dalam Matlab Simulink, maka bit yang dihasilkan merupakan deretan bit secara acak dari blok *random integer generator* (misalkan 1 0 1 1 0 0 0 1 0 1 1 0).

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 5, untuk sinyal masukan dari Matlab berasal dari *random integer generator* dengan nilai 1 dan 0 secara acak. Selanjutnya bit-bit tersebut akan dijadikan menjadi simbol, tiap simbol berisikan 2 bit. Konversi bit-bit tersebut sebanyak n menjadi sinyal yang bernilai *integer* dengan nilai 0 hingga $(2^n)-1$ sesuai jenis modulasi yang telah ditentukan MFSK ($m=2^n$, dimana $n=2,4,6$). Pada tugas akhir ini digunakan $n=2$, sehingga ada 4 kemungkinan nilai simbolnya yaitu 00 01 10 11.



Gambar. 4. Diagram alir antara Simulink, CCS, dan C6000 DSP [6].

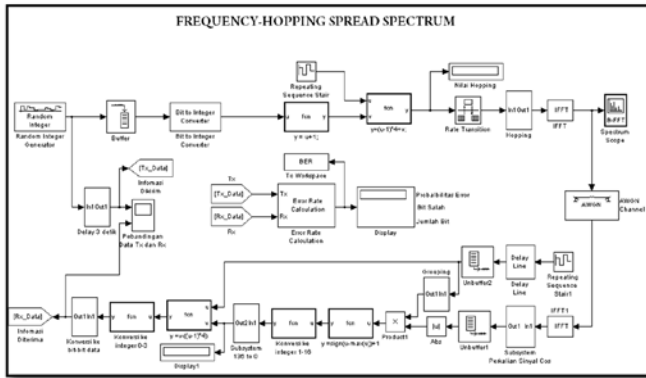


Gambar. 5. Diagram Alir Sistem FHSS

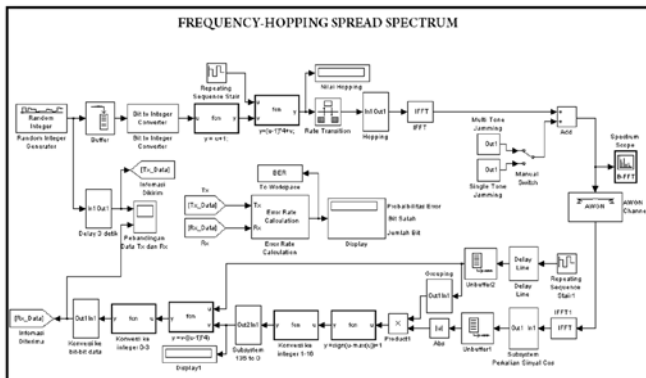
Simbol-simbol tersebut kemudian dikonversi oleh *bit to integer converter* menjadi nilai *integer* (0-3). Selanjutnya nilai *integer* tersebut ditambah dengan nilai 1. Kemudian akan dicampur dengan pola lompatan yang dihasilkan oleh *repeating sequence stair*. Nilai pola lompatan adalah nilai acak (1 sampai 4) tetapi terus berulang selama sistem berjalan. Misalkan nilai pola lompatannya adalah '4 3 1 2' maka pola lompatan yang akan dihasilkan adalah '43124312...4312'. Proses selanjutnya yaitu modulasi dengan mengalikan frekuensi pembawa sesuai dengan nilai yang berasal dari pencampuran dengan pola lompatan tadi. Hasil dari proses modulasi berasal dari perkalian terhadap sinyal pembawa $\cos(2\pi ft)$ dengan nilai f yang berbeda-beda. Frekuensi pembawa yang digunakan sebanyak 16 frekuensi.

Hasil modulasi akan dilewatkan di kanal AWGN dan kemudian diterima oleh penerima. Di penerima akan dilakukan proses demodulasi. Demodulasi merupakan proses kebalikan dari modulasi yaitu dengan mengalikan sinyal hasil modulasi dengan sinyal pembawa untuk memisahkan sinyal *carrier* dengan sinyal informasi. Selanjutnya dilakukan proses *de-mapping* yang akan menghasilkan nilai *integer* 1 sampai 16. Nilai tersebut akan dicampur dengan pola lompatan sehingga menghasilkan nilai *integer* 0 sampai 3. Proses selanjutnya nilai tersebut dikonversi ke dalam bentuk bit-bit informasi dengan nilai logika 0 dan 1 sesuai dengan data yang dikirim.

Berdasarkan dari diagram alir pada Gambar 5, maka dibuat pemodelan sistem modulasi-demodulasi FHSS dengan menggunakan *software* Matlab Simulink seperti berikut:



Gambar. 6. Pemodelan Sistem FHSS dengan gangguan kanal AWGN.



Gambar. 7. Pemodelan Sistem FHSS dengan gangguan kanal AWGN, Single Tone, dan Multi Tone Jamming.

Untuk pemodelan sistem FHSS pada Gambar 6, hanya menggunakan kanal AWGN sebagai pengganggu. Sedangkan pada Gambar 7, sistem FHSS akan diuji dengan gangguan *Single Tone*, dan *Multi Tone Jamming*.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

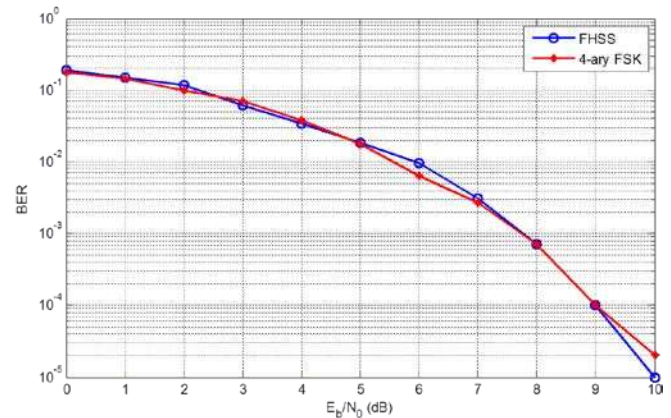
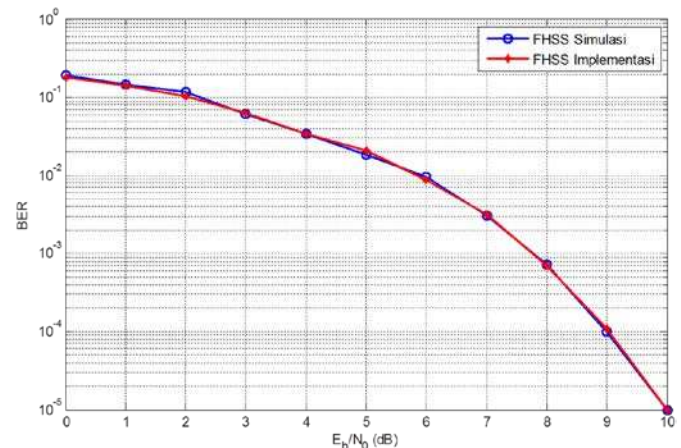
Dalam bab ini akan dibahas mengenai pengujian secara simulasi dan implementasi *Frequency Hopping Spread Spectrum* yang telah dijelaskan sebelumnya pada Bab III. Hasil pengujian kinerja sistem FHSS akan disajikan dalam bentuk grafik BER vs E_b/N_0 , sedangkan untuk kinerja sistem FHSS terhadap *jamming* dalam bentuk grafik BER vs Amplitudo *Jamming*. Terdapat beberapa model sistem FHSS yang dapat dianalisa dari Tugas Akhir ini yaitu :

1. Kinerja sistem FHSS terhadap gangguan kanal AWGN.
2. Kinerja sistem FHSS terhadap gangguan kanal AWGN dan *Single Tone Jamming*.
3. Kinerja sistem FHSS terhadap gangguan kanal AWGN dan *Multi Tone Jamming*.

Selain dilakukan pengujian terhadap 3 model sistem FHSS diatas, juga akan dilakukan pengujian sistem 4-ary FSK sebagai pembanding. Kinerja sistem FHSS terhadap gangguan kanal AWGN secara simulasi disajikan dalam grafik BER vs E_b/N_0 (dB) menggunakan metode *Monte Carlo* pada *BER Analysis Tool*. Sedangkan untuk kinerja sistem FHSS terhadap gangguan kanal AWGN dan *Single Tone* atau *Multi Tone Jamming* disajikan dalam grafik BER vs Amplitudo *Jamming*.

A. Kinerja sistem FHSS terhadap gangguan Kanal AWGN

Pengujian sistem FHSS ini menggunakan *BER Analysis Tool* pada Matlab untuk menghasilkan nilai BER dari sistem. Jumlah bit yang dikirimkan adalah 100000 bit dan batas jumlah bit yang salah (*error*) adalah 100 kesalahan bit. Pada sistem FHSS yang telah disimulasikan, nilai BER yang

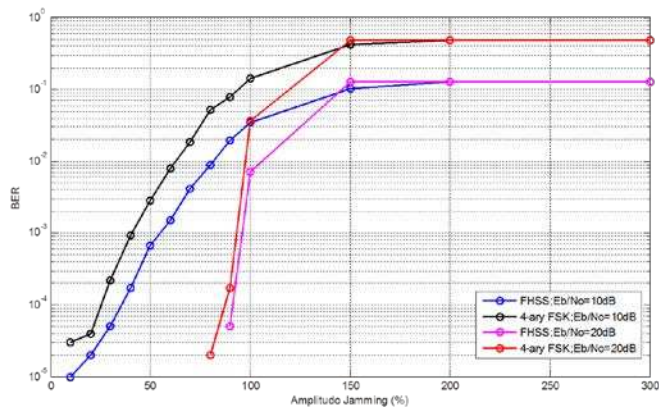
Gambar. 8. Grafik BER vs E_b/N_0 (dB) Sistem FHSS dan 4-ary FSK.Gambar. 9. Grafik BER vs E_b/N_0 (dB) Sistem FHSS secara simulasi dan implementasi.

paling baik didapatkan dengan nilai 1×10^{-5} dengan nilai $E_b/N_0 = 10$ dB yang ditunjukkan pada Gambar 8. Hal tersebut dapat diartikan bahwa masih ada 1 bit yang salah di penerima FHSS setiap 100.000 bit yang dikirimkan pemancar. Berdasarkan grafik Gambar 9, sistem FHSS saat $E_b/N_0 = 10$ dB menghasilkan nilai BER 0.00001 baik simulasi maupun implementasi. Dengan demikian nilai $E_b/N_0 = 10$ dB akan dijadikan patokan untuk pengujian sistem terhadap *jamming* karena pengaruh *noise*-nya sedikit. Terdapat perbedaan nilai yang sangat kecil yang ditunjukkan pada sistem FHSS saat $E_b/N_0 = 7$ dB yang menghasilkan nilai BER 0.00317. Sedangkan saat simulasi menghasilkan nilai BER 0.00307, hanya selisih 0.00007.

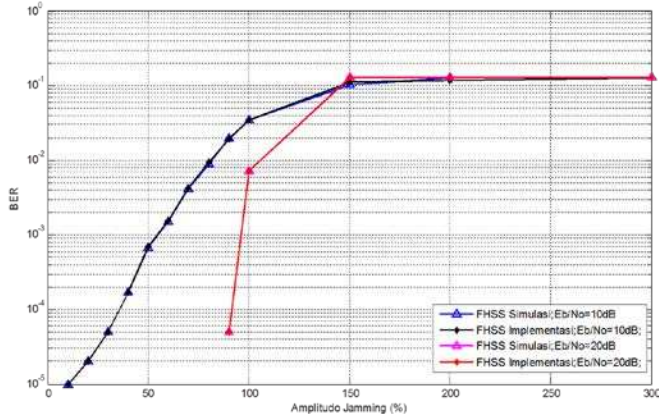
B. Kinerja sistem FHSS terhadap gangguan Kanal AWGN dan Single Tone Jamming

Pada pengujian ini frekuensi *jamming* disesuaikan dengan salah satu dari frekuensi sinyal pembawa, untuk FHSS menggunakan frekuensi *jamming* = 2 Hz. Sedangkan untuk 4-ary FSK menggunakan frekuensi *jamming* = 1 Hz. Dari hasil pengujian sistem FHSS dan 4-ary FSK dengan gangguan *Single Tone Jamming* dihasilkan nilai BER rata-rata yang ditunjukkan pada Gambar 10.

Pada saat menggunakan nilai $E_b/N_0 = 10$ dB, terlihat bahwa ada kenaikan nilai BER disetiap kenaikan nilai amplitudo *jamming*. Hal tersebut dikarenakan ada pengaruh *noise* dan *jamming* itu sendiri. Untuk melihat pengaruh *jamming* tanpa dipengaruhi AWGN maka digunakan $E_b/N_0 = 20$ dB, dimana nilai BER-nya adalah 0. Saat menggunakan $E_b/N_0 = 20$ dB pada FHSS terlihat tidak ada kenaikan nilai BER dari 10% sampai 80%, dapat diartikan sistem FHSS tersebut masih tahan terhadap *Single Tone Jamming*. Akan tetapi STJ mulai mengganggu pada saat



Gambar 10. Grafik BER vs Amplitudo Jamming $F_j = F_c$. (Single Tone Jamming).

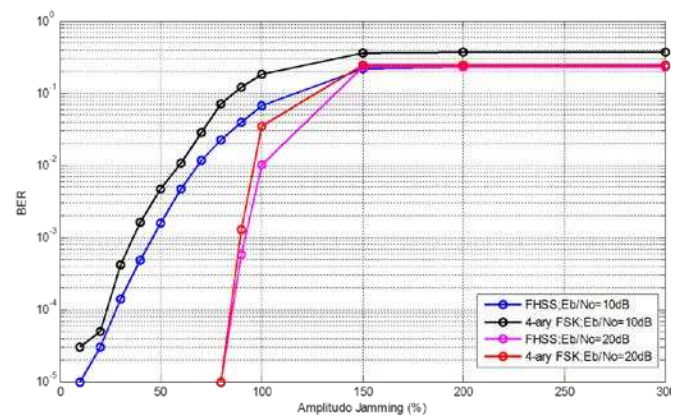


Gambar 11. Grafik BER Sistem FHSS Single Tone Jamming secara simulasi dan implementasi ($F_j = F_c$)

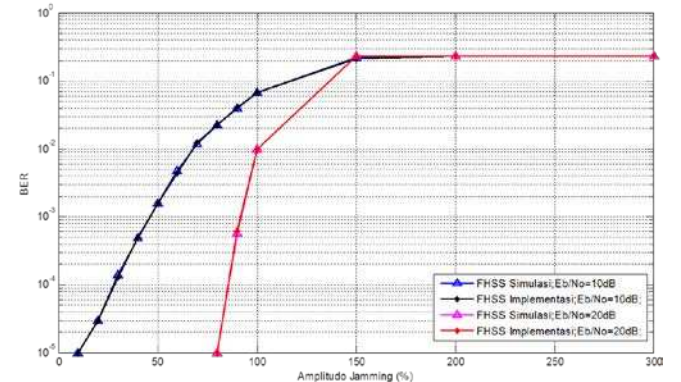
nilai amplitudo STJ lebih dari 90% dari amplitudo sinyal pembawa. Sedangkan untuk 4-ary FSK, STJ mulai mengganggu pada saat nilai amplitudo STJ lebih dari 80% dari amplitudo sinyal pembawa. Pada saat nilai amplitudo STJ lebih dari 150% dari amplitudo sinyal pembawa maka nilai BER-nya akan tetap, baik itu saat menggunakan nilai Eb/No 10 atau 20 dB. Berdasarkan dari hasil implementasi di DSK TMS320C6416T pada Gambar 11, didapatkan nilai BER yang hampir sama dengan nilai BER simulasi. Pada saat menggunakan Eb/No 10 dB dan amplitudo jamming 100% menghasilkan nilai BER simulasi 0.03426, sedangkan nilai BER implementasi 0.03433. Maka terdapat selisih antara keduanya hanya 0.0007. Pada menggunakan Eb/No 20 dB dan amplitudo jamming 100% menghasilkan nilai BER simulasi 0.00719, sedangkan nilai BER implementasi 0.00723. Maka terdapat selisih antara keduanya hanya 0.0004. Saat Eb/No 20 dB, jamming tidak mempengaruhi sistem jika nilai amplitudo dibawah 90%. Berdasarkan dari grafik Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa nilai BER akan sama ketika amplitudo jamming lebih dari 150% baik itu menggunakan Eb/No 10 atau 20 dB. Dengan demikian bisa dikatakan hasil implementasi di DSK TMS320C6416T sesuai dengan sistem yang dimodelkan oleh Matlab Simulink.

C. Kinerja sistem FHSS terhadap gangguan Kanal AWGN dan Multi Tone Jamming

Selain melakukan pengujian sistem FHSS dengan Single Tone Jamming, sistem juga diuji dengan Multi Tone Jamming (MTJ). Parameter yang digunakan sama seperti saat melakukan pengujian dengan STJ, yaitu Eb/No, amplitudo jamming, dan frekuensi jamming. Berbeda dengan STJ, MTJ menggunakan dua frekuensi untuk



Gambar 12. Grafik BER vs Amplitudo Jamming dengan $F_j = F_c$. (Multi Tone Jamming).



Gambar 13. Grafik BER Sistem FHSS Multi Tone Jamming secara simulasi dan implementasi ($F_j = F_c$)

melakukan jamming. Untuk pengaturan parameter-parameter yang lain sama seperti saat melakukan pengujian dengan STJ. Berdasarkan grafik pada Gambar 12 dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai amplitudo jamming maka nilai bit yang salah akan semakin besar (banyak) saat Eb/No=10dB. Hal tersebut dikarenakan adanya pengaruh noise AWGN dan MTJ. Sedangkan pada saat menggunakan Eb/No=20dB pada FHSS terlihat tidak ada kenaikan nilai BER dari 10% sampai 80%, hal tersebut diartikan sistem FHSS tersebut masih tahan terhadap Multi Tone Jamming. MTJ mulai mengganggu pada saat nilai amplitudo MTJ lebih dari 80% dari amplitudo sinyal pembawa, begitu pula yang terjadi pada 4-ary FSK. MTJ mulai mengganggu pada saat nilai amplitudo MTJ lebih dari 80% dari amplitudo sinyal pembawa. Nilai kesalahan bit sistem FHSS masih lebih kecil dari sistem 4-ary FSK.

Berdasarkan grafik Gambar 12 pada saat amplitudo jamming 100% terjadi perbedaan BER yang banyak antara sistem FHSS dan 4-ary FSK. Jika amplitudo jamming lebih dari 150% maka nilai kesalahan bit (BER) akan tetap.

Berdasarkan dari hasil implementasi di DSK TMS320C6416T didapatkan nilai BER yang hampir sama dengan nilai BER simulasi. Misalkan pada saat menggunakan Eb/No 10 dB dan amplitudo jamming 150% menghasilkan nilai BER simulasi 0.22020, sedangkan nilai BER implementasi 0.21627. Maka terdapat selisih antara keduanya hanya 0.00393. Pada saat menggunakan Eb/No 20 dB dan amplitudo jamming 150% menghasilkan nilai BER simulasi 0.23152, sedangkan nilai BER implementasi 0.23563. Maka terdapat selisih antara keduanya hanya 0.00411.

Saat Eb/No 20 dB, jamming tidak mempengaruhi sistem FHSS jika nilai amplitudo dibawah 80%. Berdasarkan dari

grafik Gambar 13 dapat dilihat bahwa nilai BER akan sama ketika amplitudo *jamming* lebih dari sama dengan 150% baik itu menggunakan E_b/N_0 10 atau 20 dB. Dengan demikian bisa dikatakan hasil implementasi di DSK TMS320C6416T sesuai dengan sistem yang dimodelkan oleh Matlab Simulink.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

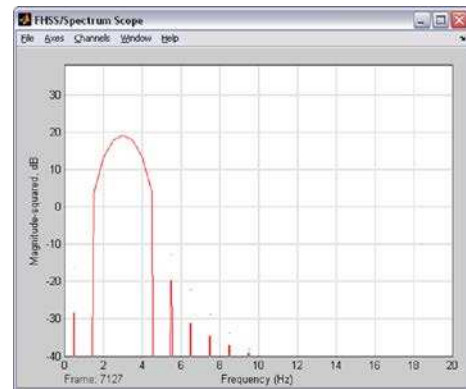
Berdasarkan dari hasil proses simulasi, implementasi, pengujian, dan analisis dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Kinerja sistem FHSS lebih tahan terhadap *Single* dan *Multi Tone Jamming* dibandingkan dengan sistem 4-ary FSK karena sistem FHSS memiliki frekuensi pembawa sebanyak 16 frekuensi.
2. Parameter yang mempengaruhi nilai BER pada sistem FHSS E_b/N_0 , Frekuensi *jamming* (F_j) dan Amplitudo *Jamming*. Semakin besar nilai Amplitudo *jamming* maka nilai BER sistem FHSS akan bertambah. Selain itu, penempatan frekuensi *jamming* juga berpengaruh pada sistem FHSS. Saat kondisi $F_j = F_c$ nilai BER akan lebih besar daripada saat $F_j \neq F_c$.
3. Kinerja terburuk sistem FHSS saat diganggu oleh *Single Tone Jamming* adalah saat kondisi $E_b/N_0 = 10$ dB, $F_j = F_c$, dan amplitudo STJ lebih besar dari 150% yang menghasilkan nilai BER mencapai 0.12714.
4. Kinerja terburuk sistem FHSS saat diganggu oleh *Multi Tone Jamming* sama seperti *Single Tone Jamming* yaitu saat kondisi $E_b/N_0 = 10$ dB, $F_j = F_c$, dan amplitudo MTJ lebih besar dari 150% yang menghasilkan nilai BER mencapai 0.23152.
5. Nilai BER dari hasil implementasi sistem FHSS pada DSK TMS320C6416T sesuai dengan hasil simulasi Matlab Simulink.

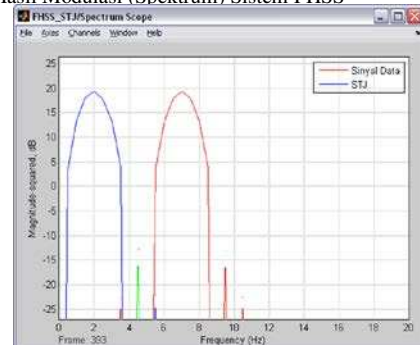
DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sklar, Bernard. "Digital Communications Fundamentals and Applications". Prentice Hall. California. 2001.
- [2] Poisel, Richard A. "Modern Communications Jamming Principles and Techniques". Artech House. Norwood MA. 2011.
- [3] Torrieri, Don. "Principles of Spread-Spectrum Communication Systems 2nd Edition". Springer. New York. 2011.
- [4] Hayes, Monson H. "Schaum's Outline of Theory and Problems of Digital Signal Processing". The McGraw-Hill Companies, Inc. United States of America. 1999.
- [5] Chassaing, Rulph. "Digital Signal Processing and Applications with the TMS320C6713 and TMS320C6416 DSK". JOHN WILEY & SONS, INC. USA. Second Edition, 2008.
- [6] _____. "TMS320C6416T DSK Technical Reference". SPECTRUM DIGITAL, INC. 2004.
- [7] _____. "Praktikum Pengolahan Sinyal – Code Composer Studio Basic". Laboratorium Pengolahan Sinyal E-206 (D4 Lintas Jalur) PENS-ITS. Surabaya. 2006.
- [8] Prasetya, Angga Yuda. "Implementasi Modulasi dan Demodulasi M-ARY QAM pada DSK TMS320C6416T". Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS. Surabaya. 2013.
- [9] Rajagopalan, Arun. Washington, Gregory. "Simulink Tutorial". The Intelligent Structures and Systems Laboratory Department of Mechanical Engineering The Ohio-State University. Ohio. 2002.
- [10] Tang, Shensheng. "Modelling, Performance Analysis of Noncoherent 8FSK Modem". _____.
- [11] Mathworks. "Documentation Center". <http://www.mathworks.com/help/>

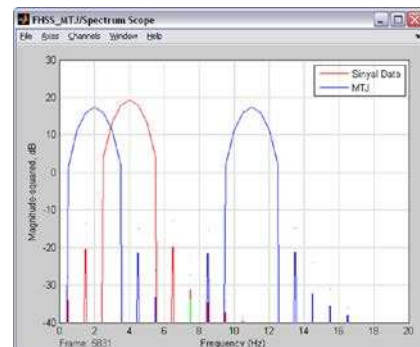
LAMPIRAN



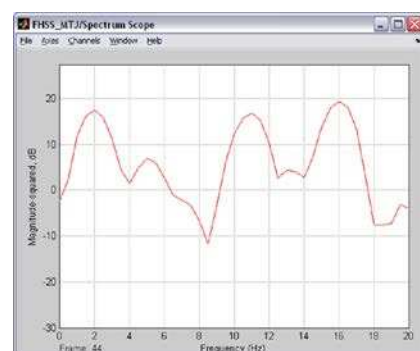
Gambar 14. Hasil Modulasi (Spektrum) Sistem FHSS



Gambar 15. Spektrum Sistem FHSS dengan *Single Tone Jamming* ($F_j = 2$ Hz)



Gambar 16. Spektrum Sistem FHSS dengan *Multi Tone Jamming* ($F_{j1} = 2$; $F_{j2} = 11$ Hz)



Gambar 17. Spektrum Sistem FHSS dengan *Multi Tone Jamming* setelah melewati kanal AWGN