
ANALISIS KARAKTERISASI TEKNOLOGI DIRECT SEQUENCE SPREAD SPECTRUM DAN FREQUENCY HOPPING SPREAD SPECTRUM

Fawzan Ghalib Abdul Karim Bawahab^{1,†}, Elvan Yuniarti¹, Edi Kurniawan²

¹Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah
Jakarta, Jalan. Ir. H. Djuanda No.95, Cempaka Putih, Ciputat, Kota Tangerang Selatan, Banten
15412, Indonesia

²Pusat Penelitian Fisika, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, PUSPIPTEK

[†fawzanghalib@gmail.com](mailto:fawzanghalib@gmail.com)

Diterima: April 2019; Diperbaiki: Juni 2019; Disetujui: Juni 2019; Tersedia Daring: Desember 2019

Abstrak

Pada penelitian ini, telah dilakukan analisa karakterisasi pada teknologi *Direct Sequence Spread Spectrum* dan *Frequency Hopping Spread Spectrum*, sebagai salah satu teknik *multiple-access* pada sistem komunikasi. Karakterisasi dilakukan untuk mencari bagaimana cara meningkatkan keoptimalan kedua sistem tersebut, dalam mengatasi masalah interferensi dengan sistem dan *channel* yang sama. Dan juga untuk menentukan variabel apa yang mempengaruhi keoptimalan kedua sistem tersebut. Karakterisasi dilakukan dengan menentukan variabel-variabel yang mempengaruhi keoptimalan keduanya. Hasil dari karakterisasi, diketahui variabel-variabel yang mempengaruhi kemampuan sistem DSSS yaitu nilai frekuensi *spreading* ($f_s > f_d$). Sedangkan untuk sistem FHSS yaitu nilai frekuensi *spreading* ($h_i > \frac{3}{2}f_d$ dan $h_i' > \frac{3}{2}f_d$) dan selisih antara frekuensi *hopping* data dengan frekuensi *hopping* interferensi ($|h_i - h_i'| > 3f_d$).

Kata Kunci: BER, DSSS, FHSS, Interference, Spread spectrum.

Abstract

In this study, characterization of Direct Sequence Spread Spectrum and Frequency Hopping Spread Spectrum technologies have been done, as one of the multiple-access techniques in communication systems. Characterization is done to find out how to improve the ability of the two systems, in solving interference problems with the same system and channel. And also to determine what variabel affects the ability of the two systems. Characterization is done by determining the variables that affect the ability of both. The results of the characterization, known variables that affect the ability of the DSSS system are the spreading frequency value ($f_s > f_d$). As for the FHSS system, the spreading frequency value ($h_i > \frac{3}{2}f_d$ and $h_i' > \frac{3}{2}f_d$) and the difference between frequency hopping data with frequency hopping interference ($|h_i - h_i'| > 3f_d$).

Keywords: BER, DSSS, FHSS, Interference, Spread spectrum.

PENDAHULUAN

Spread Spectrum Multiple Access (SSMA) adalah salah satu teknik *multiple-access* pada sistem komunikasi, yang bekerja dengan memperluas *bandwidth* sinyal yang dikirim menjadi jauh lebih besar dibandingkan dengan *bandwidth* dari sinyal data [1]. *Spread Spectrum* ditemukan pada akhir 1940-an. Awalnya diterapkan dalam komunikasi militer, untuk menghindari interferensi dan *encoding* oleh perangkat lain. Saat ini sistem *spread spectrum* digunakan dalam banyak sistem komunikasi. Antara lain yaitu; pada sistem komunikasi WLAN (*Wireless Local Area Networks*) IEEE 802.11 [2], sistem navigasi GPS (*Global Positioning System*) [2], sistem komunikasi satelit GLOBALSTAR [3], sistem kendali dan komunikasi pada *Drone* atau UAV (*Unmanned Aerial Vehicles*) [4], sistem komunikasi seluler generasi kedua (2G) berdasarkan standar IS-95, Wideband-CDMA pada sistem komunikasi selular generasi ketiga (3G) [2] dan sedang dikembangkan sebagai metode *multiple access* pada sistem komunikasi selular generasi kelima (5G) [5].

Selain bidang komunikasi, sistem *spread spectrum* juga banyak digunakan pada: metode watermarking digital sebagai perlindungan hak cipta atas data audio, gambar, dan video (multimedia) [6] [7] [8]; metode watermarking digital dalam bidang telemedicine [9]; rangkaian pengubah DC/DC [10], LLC Resonant [11], dan Serial AT Attachment Generasi ke-3 (SATA-III) [12] untuk mengurangi masalah interferensi elektromagnetik (EMI).

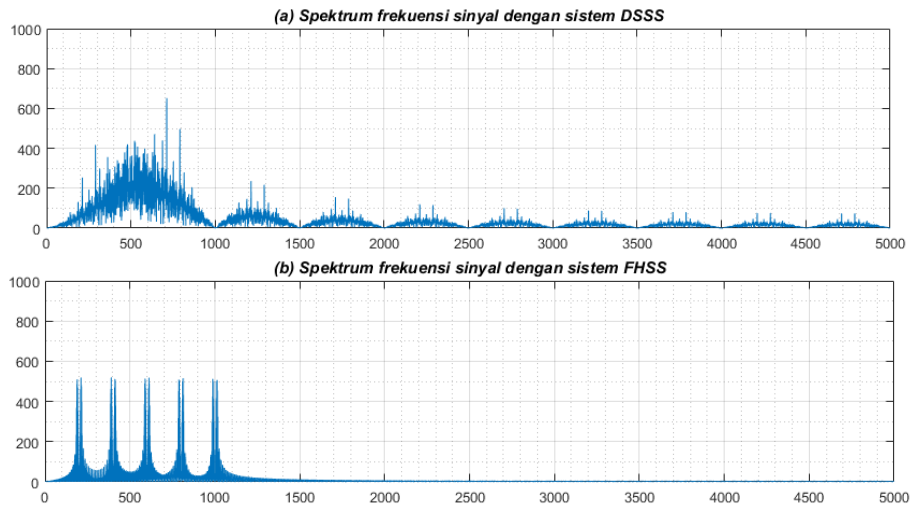
Sistem *spread spectrum* yang paling banyak digunakan adalah sistem *direct-sequence* dan *frequency-hopping*. Kedua sistem tersebut telah banyak digunakan pada perangkat komunikasi, khususnya pada sistem kendali dan komunikasi *Drone* atau UAV. Akan tetapi masih belum diketahui secara pasti bagaimana cara meningkatkan keoptimalan kedua sistem tersebut dalam menghindari interferensi; dan juga bagaimana pengaruhnya jika dalam satu tempat terdapat dua atau lebih perangkat komunikasi yang menggunakan salah satu dari kedua sistem tersebut dengan *channel* yang sama.

Penelitian ini dimaksudkan untuk merancang dan mensimulasikan sistem DSSS dan FHSS, dan juga dilakukan analisa karakterisasi pada kedua sistem tersebut. Perancangan program simulasi dilakukan berdasarkan fungsi matematis dan langkah-langkah pemrosesan sinyal digital pada kedua sistem, dan dengan menggunakan software Matlab. Sedangkan analisa karakterisasi dilakukan dengan program simulasi, yang akan mensimulasikan proses interferensi dengan sistem dan *channel* yang sama. Dan akan divariasikan variabel-variabel yang terdapat pada masing-masing sistem. Dengan begitu akan diketahui variabel-variabel apa saja yang mempengaruhi keoptimalan masing-masing sistem. Parameter yang digunakan untuk menentukan seberapa besar keoptimalan masing-masing sistem yaitu nilai BER. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat sebagai referensi, untuk meningkatkan keoptimalan sistem DSSS dan FHSS pada sebuah perangkat komunikasi. Sedangkan model program simulasi diharapkan dapat digunakan untuk perkembangan teknik *multiple-access* baru, yang lebih tahan terhadap interferensi.

Bagian selebihnya paper ini disusun sebagai berikut. Pada bagian kedua disampaikan mengenai sistem *spread spectrum* serta pemrosesan sinyal pada sistem DSSS dan FHSS. Pada bagian tiga dipaparkan mengenai perancangan program simulasi. Bagian empat menampilkan hasil simulasi. Bagian lima menampilkan pembahasan dari hasil simulasi. Paper ini diakhiri dengan kesimpulan.

Spread spectrum (penyebaran spektrum) adalah salah satu teknik *multiple-access* yang bekerja dengan memperluas *bandwidth* sinyal yang dikirim menjadi jauh lebih besar dari sinyal data. Sistem komunikasi *spread spectrum* berguna untuk; mengurangi interferensi, membuat komunikasi yang lebih aman dan sulit dideteksi, mengurangi *multipath fading* dan sebagai teknik *multiple-access*. Sinyal *spread spectrum* menyebabkan interferensi yang relatif kecil pada sistem lain yang beroperasi pada pita spektrum frekuensi yang sama [1].

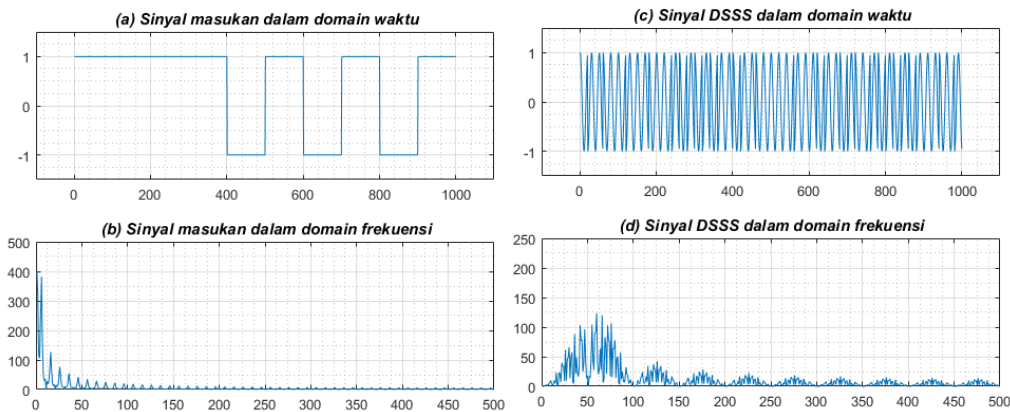
Sistem *spread spectrum* yang paling banyak digunakan adalah sistem *direct-sequence* dan *frequency-hopping*. Sistem *direct-sequence spread spectrum* (DSSS) mentransmisikan sinyal pada satu frekuensi namun pada pita yang sangat lebar. Sedangkan sistem *frequency-hopping spread spectrum* (FHSS) mentransmisikan sinyal dengan pita sempit, namun dengan cepat melompat dari satu frekuensi ke frekuensi berikutnya (beberapa milidetik pada setiap frekuensi).



Gambar 1. Spektrum frekuensi sinyal dengan sistem (a) DSSS & (b) FHSS

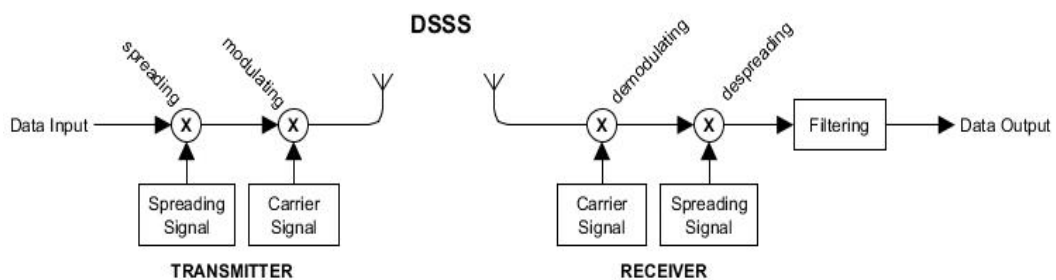
Direct Sequence Spread Spectrum

Direct sequence spread spectrum merupakan jenis spread spectrum yang paling luas dikenal dan paling banyak digunakan, karena sistem ini dikenal paling mudah implementasinya dan memiliki kecepatan data (*data rate*) yang tinggi. Sebagian besar peralatan atau piranti LAN nirkabel yang ada di pasaran sekarang ini menggunakan teknologi DSSS. DSSS merupakan suatu metode untuk mengirimkan data dimana pengirim dan penerima keduanya berada pada set frekuensi yang lebar. Saluran yang lebar ini memungkinkan perangkat untuk memancarkan lebih banyak informasi pada *data rate* yang lebih tinggi dibanding FHSS.



Gambar 2. Bentuk sinyal masukan dalam domain (a) waktu dan (b) frekuensi dan bentuk sinyal DSSS dalam domain (c) waktu dan (d) frekuensi

Berikut adalah blok diagram pemrosesan sinyal sistem DSSS pada sisi *transmitter* dan *receiver*:



Gambar 3. Blok diagram pemrosesan sinyal pada *transmitter* dan *receiver* dari sistem DSSS

Berikut adalah persamaan matematis dari sinyal yang dikirim pada *transmitter* dengan sistem DSSS [1]:

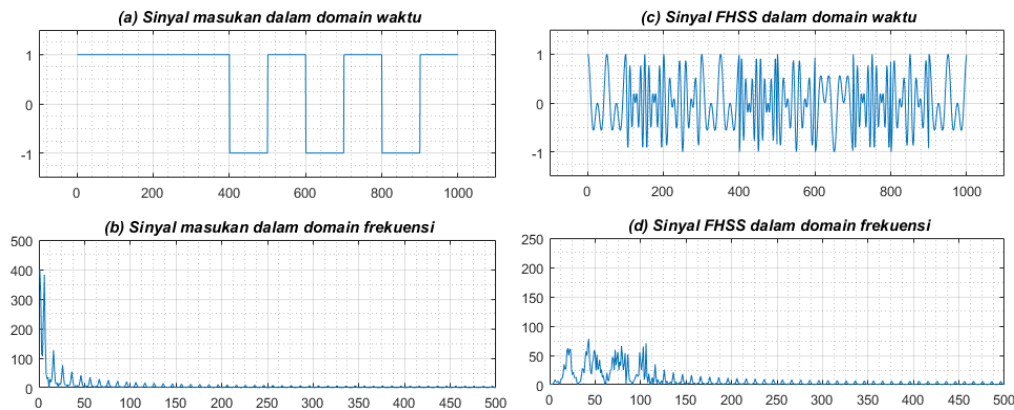
$$\begin{aligned}
 t(t) &= d(t)p(t)c(t) & (1) \\
 d(t) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} d_i \psi(t - iT_d) \\
 p(t) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} p_i \psi(t - iT_s) \\
 c(t) &= A \cos(2\pi f_s t + \theta) \\
 \psi(t - iT) &= \begin{cases} 1, & 0 \leq (t - iT) < T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}
 \end{aligned}$$

Dimana $t(t)$ adalah fungsi sinyal data yang dikirim dari *transmitter*, $d(t)$ adalah fungsi sinyal data, $p(t)$ adalah fungsi sinyal *spreading*, $c(t)$ adalah fungsi sinyal *carrier*, $\psi(t)$ adalah fungsi unit *impulse*, t adalah waktu (s), A adalah amplitudo sinyal, θ adalah besar fasa sinyal ($^\circ$), d_i adalah deret data, T_d adalah periode sinyal data (s), p_i adalah deret *pseudo noise*, T_s adalah periode sinyal *spreading* (s) dan f_s adalah frekuensi sinyal *spreading* (Hz).

Direct sequence spread spectrum (DSSS) bekerja dengan menyebarkannya sinyal data dengan sinyal *spreading* (sinyal *pseudo-random*) yang frekuensinya lebih besar daripada frekuensi dari sinyal data (*bitrate*), kemudian memodulasi sinyal tersebut dengan sinyal *carrier*. Di *receiver*, sinyal data dihasilkan dari perkalian dengan sinyal *carrier* dan sinyal *spreading* yang sama pada *transmitter*, membalik proses pengkodean pada *transmitter*. Dan proses terakhir pada *receiver* yaitu *filtering*, untuk menghilangkan sinyal-sinyal lain selain sinyal yang sama pada *transmitter*. Dan berikut adalah gambar perubahan bentuk sinyal pada sistem DSSS, mulai dari pembentukan sinyal pada *transmitter* sampai dengan proses perbandingan sinyal *input* dengan sinyal *output*.

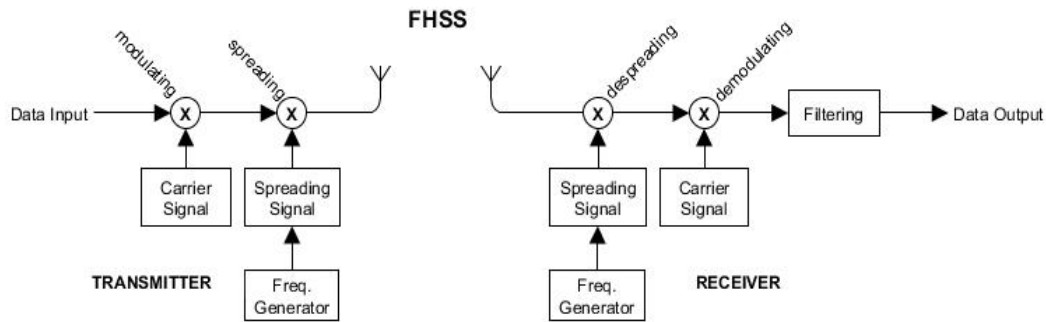
Frequency Hopping Spread Spectrum

Pada sistem *frequency hopping spread spectrum* frekuensi sinyal *spreading* akan terus berubah atau melompat (*hopping*) pada interval waktu yang ditentukan sebelumnya [13]. *Transmitter* memilih besar frekuensi yang akan digunakan berdasarkan deret frekuensi *spreading*.



Gambar 4. Bentuk sinyal masukan dalam domain (a) waktu dan (b) frekuensi dan bentuk sinyal FHSS dalam domain (c) waktu dan (d) frekuensi

Berikut adalah blok diagram pemrosesan sinyal sistem FHSS pada sisi *transmitter* dan *receiver*:



Gambar 5. Blok diagram pemrosesan sinyal pada *transmitter* dan *receiver* dari sistem FHSS

Berikut adalah persamaan matematis dari sinyal yang dikirim pada *transmitter* dengan sistem DSSS [1]:

$$\begin{aligned}
 t(t) &= d(t)p(t)c(t) & (2) \\
 d(t) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} d_i \psi(t - iT_d) \\
 p(t) &= A \cos(2\pi t h(t) + \theta) \\
 c(t) &= A \cos(2\pi f_d t + \theta) \\
 h(t) &= \sum_{i=-\infty}^{\infty} h_i \psi(t - iT_d),
 \end{aligned}$$

dimana $h(t)$ adalah fungsi frekuensi *hopping* (Hz), h_i adalah frekuensi *hopping* (deret frekuensi *spreading*, Hz) dan f_d adalah frekuensi sinyal data (Hz).

Prinsip kerja sistem FHSS tidak jauh berbeda dengan sistem DSSS. Perbedaannya pada sistem FHSS sinyal data demodulasi terlebih dahulu dengan sinyal *carrier*. Kemudian disebarakan dengan sinyal *spreading* yang frekuensinya lebih besar dari frekuensi data, dan nilainya terus berubah. Setiap saat, frekuensi sinyal *spreading* dipilih dari rentang frekuensi yang telah ditentukan dan hanya diketahui oleh pengguna sistem. Oleh karena itu, proses komunikasi sulit diganggu jika tidak diketahui frekuensi yang digunakan atau pola frekuensi *spreading* mereka [9]. Dan berikut adalah gambar perubahan bentuk sinyal pada sistem DSSS, mulai dari pembentukan sinyal pada *transmitter* sampai dengan proses perbandingan sinyal *input* dengan sinyal *output*.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari hingga Agustus 2018. Adapun tempat penelitian dilaksanakan di Pusat Penelitian Fisika (P2F), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), kawasan Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (PUSPIPTEK) Serpong, Gedung 440-442, Tangerang Selatan. Dengan alat yang digunakan berupa 1 buah Personal Computer (PC) dan bahan berupa *Software* MATLAB versi R2015b. Penelitian ini hanya menggunakan 1 buah alat dan 1 bahan, hal ini dikarenakan penelitian ini berupa pembuatan program simulasi. Penelitian ini meliputi beberapa tahap. Secara garis besar tahapan tersebut terbagi atas penurunan persamaan matematis, pembuatan program simulasi dan pengambilan data dari program simulasi.

Persamaan matematis sistem DSSS dan FHSS diperoleh dari penurunan fungsi gelombang untuk sinyal yang dikirim *transmitter* pada kedua sistem. Kemudian sinyal tersebut digabungkan dengan sinyal interferensi yang memiliki sistem dan frekuensi *spreading* yang sama, dengan cara dijumlahkan. Dan dilakukan proses demodulasi dan despreading seperti pada *transmitter*. Fungsi tersebut diturunkan sampai hanya tersisa fungsi $d(t)$ sebagai fungsi dari data yang dikirim *transmitter*. Dengan begitu data yang diterima oleh *receiver* akan sesuai dengan data yang dikirim oleh *transmitter*, dan sistem dikatakan optimal. Penurunan persamaan matematis dari sistem DSSS dan FHSS ini akan digunakan sebagai penyesuaian dengan data hasil dari program simulasi. Jika data yang diperoleh sesuai dengan model matematisnya, maka program yang dibuat dapat dikatakan sesuai dengan langkah-langkah pemrosesan sinyal pada sistem DSSS dan FHSS. Dan data yang diperoleh dari program yang dibuat dapat dikatakan valid.

Program yang dibuat akan digunakan untuk mensimulasikan proses pengiriman dan penerimaan sinyal dari kedua sistem. Dan juga untuk pengambilan data yang akan dijadikan parameter dalam melakukan analisa karakterisasi pada kedua sistem, yaitu nilai BER. BER merupakan sejumlah bit digital bernilai tinggi pada jaringan transmisi yang ditafsirkan sebagai keadaan rendah, atau sebaliknya. Kemudian dibagi dengan sejumlah bit yang diterima atau diproses selama beberapa periode yang telah ditetapkan.

$$BER = \frac{\text{Jumlah bit error}}{\text{Jumlah keseluruhan bit}} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

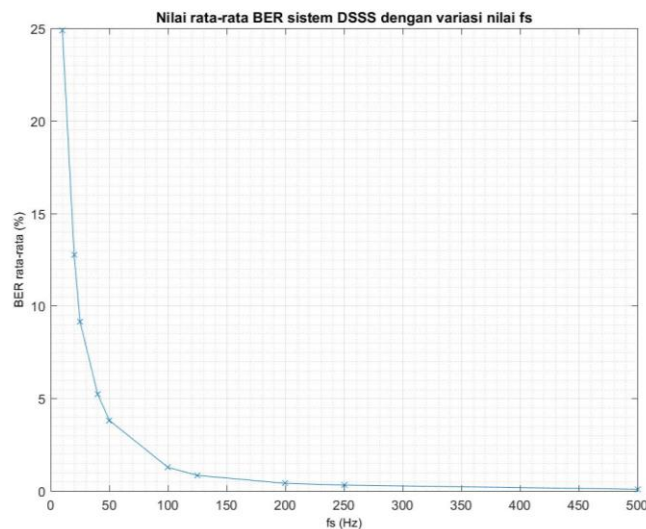
Karakterisasi sistem DSSS dan FHSS dilakukan dengan *running* Program yang telah dibuat dan memvariasikan variabel-variabel (frekuensi *spreading*, *bitrate* dll) yang mempengaruhi keoptimalan sistem. Kemudian dilihat nilai BER yang dihasilkan. Dengan begitu akan diketahui bagaimana pengaruh nilai frekuensi *spreading*, *bitrate* dan variable-variabel lain terhadap kemampuan dari masing-masing sistem untuk menghindari interferensi dengan sistem dan *channel* yang sama. Dan juga akan dibuktikan dengan hasil dari penurunan persamaan matematis. Berikut adalah hasil dan pembahasan dari *running* Program DSSS dan FHSS:

DSSS

Untuk Program Karakterisasi DSSS, dilakukan 2 kali pengambilan data karakterisasi. Pertama dengan cara memvariasikan nilai frekuensi *spreading* dengan nilai *bitrate* tetap (10 Hz) dan yang kedua dengan memvariasikan nilai *bitrate* dengan nilai frekuensi *spreading* tetap (500 Hz). Dan berikut adalah tabel dan grafik data BER yang dihasilkan dari kedua proses tersebut:

Tabel 1. Data BER Program Karakterisasi DSSS dengan variasi nilai frekuensi *spreading*

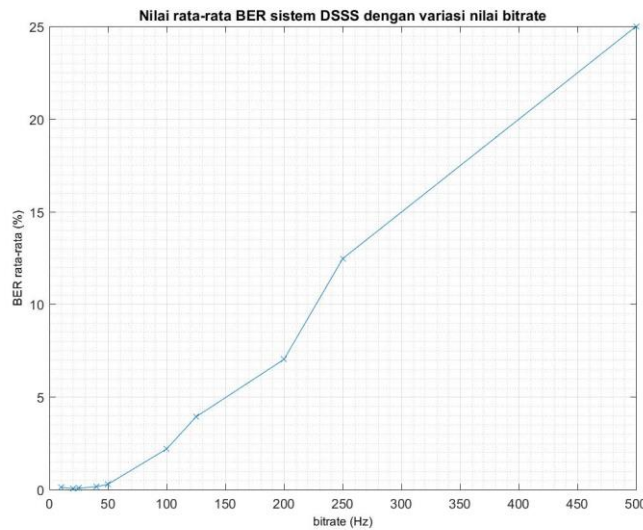
No	Frekuensi <i>spreading</i> (Hz)	BER (%)
1	10	24.864
2	20	12.764
3	25	9.162
4	40	5.238
5	50	3.810
6	100	1.270
7	125	0.840
8	200	0.410
9	250	0.314
10	500	0.092



Gambar 6. Data BER Program Karakterisasi DSSS dengan variasi nilai frekuensi *spreading*

Tabel 2. Data BER Program Karakterisasi DSSS dengan variasi nilai *bitrate*

No	Bitrate (Hz)	BER (%)
1	10	0.120
2	20	0.052
3	25	0.073
4	40	0.147
5	50	0.287
6	100	2.194
7	125	3.924
8	200	7.028
9	250	12.463
10	500	24.993



Gambar 7. Data BER Program Karakterisasi DSSS dengan variasi nilai *bitrate*

Hasil dari *running* program diatas dapat dilihat bahwa pada sistem DSSS, semakin besar nilai frekuensi *spreading* ketika nilai *bitrate* tetap maka sistem ini semakin optimal. Dan sebaliknya, semakin besar nilai *bitrate* ketika nilai frekuensi *spreading* tetap maka sistem ini semakin kurang optimal. Berdasarkan penurunan fungsi matematis yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa syarat agar sistem DSSS lebih optimal untuk menghindari interferensi yaitu jika:

$$f_s > f_d$$

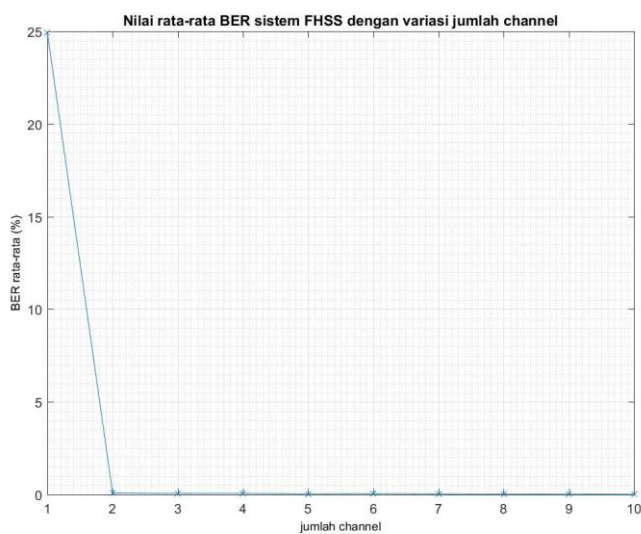
Dan syarat tersebut telah sesuai dengan data yang telah diperoleh diatas.

FHSS

Selanjutnya untuk Program Karakterisasi FHSS, juga dilakukan 2 kali pengambilan data karakterisasi. Pertama dengan cara memvariasikan jumlah *channel* (frekuensi *hopping* h_i) dengan nilai *bitrate* tetap (10 Hz). Dan yang kedua dengan memvariasikan nilai selisih antara *channel* sinyal data dengan *channel* sinyal interferensi (selisih antara frekuensi *hopping* data h_i dengan frekuensi *hopping* interferensi h_i') dengan nilai *bitrate* tetap (10 Hz). Dan berikut adalah tabel dan grafik data BER yang dihasilkan dari kedua proses tersebut:

Tabel 3. Data BER Program Karakterisasi FHSS dengan variasi jumlah *channel*

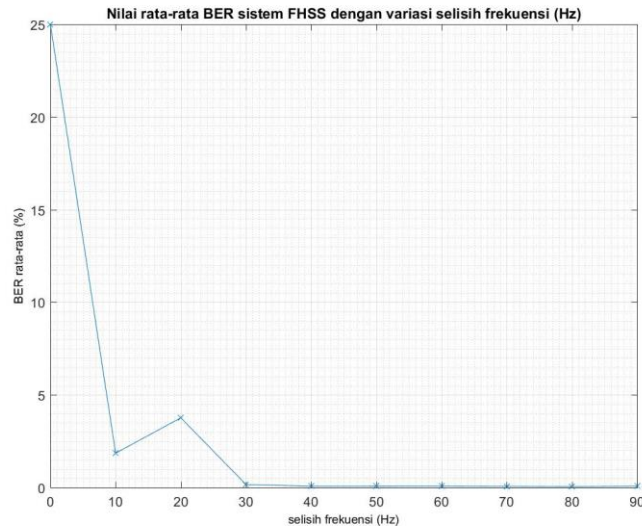
No	Frekuensi spreading (Hz)	Jumlah channel	BER (%)
1	50	1	24.910
2	50, 75	2	0.086
3	50, 75, 100	3	0.062
4	50, 75, 100, 125	4	0.064
5	50, 75, 100, 125, 150	5	0.032
6	50, 75, 100, 125, 150, 175	6	0.046
7	50, 75, 100, 125, 150, 175, 200	7	0.030
8	50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225	8	0.016
9	50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250	9	0.022
10	50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275	10	0.012



Gambar 8. Data BER Program Karakterisasi FHSS dengan variasi jumlah *channel*

Tabel 4. Data BER Program Karakterisasi FHSS dengan variasi selisih antara *channel* data dengan *channel* interferensi

No	Frekuensi spreading (Hz)	Selisih channel		BER (%)
		(Hz)	(Bitrate)	
1	20 dan 20	0	0	24.996
2	20 dan 30	10	1	1.852
3	20 dan 40	20	2	3.762
4	20 dan 50	30	3	0.162
5	20 dan 60	40	4	0.072
6	20 dan 70	50	5	0.074
7	20 dan 80	60	6	0.078
8	20 dan 90	70	7	0.066
9	20 dan 100	80	8	0.050



Gambar 9. Data BER Program Karakterisasi FHSS dengan variasi selisih antara *channel* data dengan *channel* interferensi

Hasil dari *running* program diatas terlihat bahwa pada sistem FHSS banyaknya *channel* tidak terlalu mempengaruhi kemampuan sistem FHSS untuk menghindari interferensi dengan sistem dan *channel* yang sama. Dengan catatan: jumlah *channel* yang digunakan harus lebih dari satu. Jumlah *channel* hanya berpengaruh ketika terdapat banyak sinyal interferensi. Misalnya jika terdapat 3 sinyal dengan sistem FHSS maka untuk lebih memvariasikan nilai frekuensi *hopping* jumlah *channel* yang digunakan harus lebih dari atau sama dengan 3.

Dari hasil dari *running* program juga terlihat bahwa pada sistem FHSS untuk meningkatkan kemampuan sistem ini maka: nilai selisih antara frekuensi *hopping* data dengan frekuensi *hopping* interferensi harus lebih besar dari 3 kali dari nilai *bitrate* ($|h_i - h'_i| > 3f_d$). Terlihat pada grafik, nilai BER mulai stabil ketika selisih antara frekuensi *hopping* data dengan frekuensi *hopping* interferensi diatas 3 kali nilai *bitrate*.

Berdasarkan penurunan fungsi matematis yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa syarat agar sistem FHSS lebih optimal untuk menghindari interferensi yaitu jika:

$$|h_i - h'_i| > 3f_d$$

Dan syarat tersebut telah sesuai dengan data yang telah diperoleh diatas.

KESIMPULAN

Program untuk mensimulasikan pemrosesan sinyal pada sistem DSSS dan FHSS telah berhasil dibuat menggunakan *software* MATLAB, dimana hasil dari *running* program sesuai dengan model matematis dari kedua sistem tersebut. Maka program dapat dikatakan telah sesuai dengan langkah-langkah pemrosesan sinyal pada sistem DSSS dan FHSS. Dan data yang diperoleh dari program yang dibuat dapat dikatakan valid.

Variabel yang mempengaruhi kemampuan sistem DSSS untuk menghindari interferensi dengan sistem dan *channel* yang sama, yaitu nilai frekuensi *spreading* ($f_s > f_d$). Sedangkan untuk sistem FHSS yaitu nilai selisih antara frekuensi *hopping* data dengan frekuensi *hopping* interferensi ($|h_i - h'_i| > 3f_d$).

REFERENSI

- [1] D. Torrieri, Principles of Spread-Spectrum Communication Systems, Maryland: Springer International Publishing Switzerland, 2015.

- [2] J. Meel, "Spread Spectrum: applications," De Nayer Instituut, Hogeschool Voor Wetenschap & Kunst, Rotselaar, 1999.
- [3] K. Wesolowski, Introduction To Digital Communication Systems, John Wiley & Sons Ltd, 2009.
- [4] M. Ednch dan R. Schmalenberger, "Combined DSSS/FHSS approach to interference rejection and navigation support in UAV communications and control," *IEEE Seventh International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications*, pp. 687-691, 2002.
- [5] I. V. Bolo, T. P. Espera, R. V. Marquez, C. D. Ambatali dan N. I. Bernardo, "Performance Evaluation of Spread Spectrum-based Multiple Access Combined with 5G Filter-based Multi-carrier Waveforms," *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2017.
- [6] I. J. Cox, J. Kilian, F. T. Leighton dan T. Shamoon, "Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1673-1687, 1997.
- [7] I. J. Cox, J. Kilian, T. Leighton dan T. Shamoon, "Secure spread spectrum watermarking for images, audio and video," *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, pp. 243-246, 1996.
- [8] Y. Xiang, I. Natgunanathan, D. Peng, G. Hua dan B. Liu, "Spread Spectrum Audio Watermarking Using Multiple Orthogonal PN Sequences and Variable Embedding Strengths and Polarities," *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, vol. 26, no. 3, pp. 529-539, 2018.
- [9] A. Singh, B. Kumar, M. Dave dan . Mohan, "Robust and Imperceptible Spread-Spectrum Watermarking for Telemedicine Applications," *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences*, vol. 85, no. 2, pp. 295-301, 2015.
- [10] F. Pareschi, R. Rovatti dan G. Setti, "EMI Reduction via Spread Spectrum in DC/DC Converters: State of the Art, Optimization, and TradeoffsEMI Reduction via Spread Spectrum in DC/DC Converters: State of the Art, Optimization, and Tradeoffs," *IEEE Access*, vol. 3, pp. 2857-2874, 2015.
- [11] H.-P. Park, M. Kim dan J.-H. Jung, "Spread Spectrum Technique to Reduce EMI Emission for an LLC Resonant Converter Using a Hybrid Modulation Method," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 33, no. 5, pp. 3717-3721, 2018.
- [12] H. Alsuraistry, J. Cheng, J. Lin, Y. Kuo, J. Tsai dan T. Huang, "A 6-GHz spread spectrum clock generation with EMI reduction of 30.2 dB for SATA-III applications," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 59, no. 3, pp. 622-624, 2017.
- [13] L. Nurmalia dan M. Pinem, "Analisis Perbandingan Teknologi Spread Spectrum FHSS dan DSSS pada Sistem CDMA," *SINGUDA ENSIKOM*, vol. 4, no. 1, pp. 30-35, 2013.
- [14] T. Tsui dan T. Clarkson, "Spread-Spectrum Communication Techniques," *Electronics & Communication Engineering Journal*, pp. 3-12, 1994.