

STUDI EKSPERIMEN UNJUK-KERJA MODULASI DBPSK PADA PLATFORM SOFTWARE-DEFINED RADIO (SDR)

^{1,2}Eko Marpanaji, ²Bambang Riyanto T., ²Armein ZR. Langi, ²Adit Kurniawan

¹Jurusan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta
Karangmalang, Yogyakarta, 55281. Telp. (0274) 586168.

²Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Tel. (022)-425-4034

Contact Person:

¹eko@uny.ac.id, ²briyanto@lisk.ee.itb.ac.id, ²langi@dsp.itb.ac.id, adit@ltrgm.ee.itb.ac.id

ABSTRACT

This paper addresses Differential Binary Phase Shift Keying (DBPSK) modulation implemented on SDR platform for the development of digital data communications based on SDR. DBPSK modulation performance perceived at Packet Error Rate (PER) is evaluated in terms of E_b/N_0 or S/N ratio, carrier frequency, bit rate, gain, roll-off factor of root Nyquist filter or root raised cosine filter, and of size of payload from delivered data. Based on this results, the smallest PER could be obtained by setting E_b/N_0 value which is greater than 13 dB, carrier frequency of at least 0,3 MHz, optimum bit rate of 256 kbps, optimum range payload size of 2000 up to 4000 bytes, and roll-off factor of Nyquist or root-raised cosine filter of $0.1 < \alpha < 0.9$.

INTISARI

Makalah ini membahas pengujian unjuk-kerja modulasi *Differential Binary Phase Shift Keying* (DBPSK) yang diimplementasikan pada platform *Software-Defined Radio* (SDR) dalam rangka pengembangan sistem komunikasi digital berbasis SDR. Unjuk-kerja modulasi DBPSK diamati dalam bentuk *Packet Error Rate* (PER) dengan berbagai variasi nilai perbandingan E_b/N_0 atau S/N, frekuensi pembawa, *bit rate*, gain, *roll-off factor* pada filter *root Nyquist* atau filter *root raised cosine*, dan ukuran *payload* data yang dikirimkan. Berdasarkan hasil penelitian ini, nilai PER terendah dapat diperoleh dengan mengatur nilai E_b/N_0 lebih besar dari 13 dB, frekuensi pembawa minimal 0,3 MHz, *bit rate* optimum 256 kbps, ukuran *payload* optimum berkisar 2000 sampai dengan 4000 bytes, dan nilai *roll-off factor* pada filter Nyquist atau filter *root-raised cosine* adalah $0.1 < \alpha < 0.9$.

PENDAHULUAN

Software-Defined Radio (SDR) merupakan teknologi komunikasi berbasis nirkabel yang fungsinya ditentukan oleh perangkat-lunak. SDR mulai diperkenalkan pertama kali istilah tersebut pada tahun 1991 oleh Joseph Mitola (**Reed, 2002**). SDR memiliki sifat fleksibel dan dapat dikonfigurasi ulang sehingga perubahan standar dapat dilakukan pada perangkat-lunak tanpa harus mengganti perangkat-kerasnya.

Teknologi SDR sangat dinantikan kehadirannya untuk pengembangan sistem telekomunikasi dimasa datang yang tetap mengutamakan komunikasi nirkabel, termasuk untuk pengembangan telepon selular dan bergerak generasi ke 3 (3G), *Next Generation Networks* (NGN), dan *Rural-Next Generation Networks* (R-NGN). Meskipun sudah banyak peneliti tentang SDR, sampai saat ini sistem komunikasi berbasis SDR

belum ditemukan dipasaran karena masih dalam tahap penelitian dan pengembangan untuk memperoleh platform yang kompak dan memiliki sifat-sifat yang diharapkan.

Makalah ini menjelaskan implementasi skema modulasi *Differential Binary Phase Shift Keying* (DBPSK) sebagai hasil pengembangan skema modulasi *Binary Shift Keying* (BPSK) untuk komunikasi data digital dengan menggunakan platform SDR. Pengujian unjuk-kerja dari skema modulasi DBPSK ini juga merupakan bagian dari riset dalam membangun sebuah platform SDR yang dapat dikonfigurasi ulang termasuk dalam menjawab pertanyaan penelitian "Bagaimana merancang platform SDR dengan menggunakan komponen komoditas."

Chen (2007) telah melakukan penelitian tentang unjuk-kerja turunan skema modulasi *Phase Shift Keying* (PSK) yang lain, yaitu skema modulasi *Quadrature Phase Shift Keying* (QPSK) untuk mengirimkan data video digital. Seluruh algoritma dimodelkan dan disimulasikan dalam program Matlab, dan sebagai tindak lanjut penelitiannya adalah mengintegrasikan model tersebut ke dalam platform SDR yang menggunakan *Universal Software Radio Peripheral* (USRP) dari GNU Radio (Chen, 2007). Dengan demikian, penelitian tentang skema modulasi DQPSK pada platform SDR menggunakan USRP GNU Radio masih diperlukan. Selain itu, masih terbuka peluang terhadap penelitian implementasi turunan skema modulasi PSK yang lain pada platform SDR termasuk skema modulasi BPSK atau DBPSK seperti yang akan dilakukan dalam penelitian ini.

Dalam penelitian ini, tim peneliti mengamati unjuk-kerja skema modulasi DBPSK yang diimplementasikan pada platform SDR dengan menggunakan USRP dari GNU Radio. Skema modulasi DBPSK dipilih dalam penelitian ini mengingat skema modulasi BPSK dan

DBPSK yang merupakan turunan skema modulasi *Phase Shift Keying* (PSK) sangat banyak digunakan dalam sistem komunikasi nirkabel seperti WiFi, WiMax, dan modem kabel.

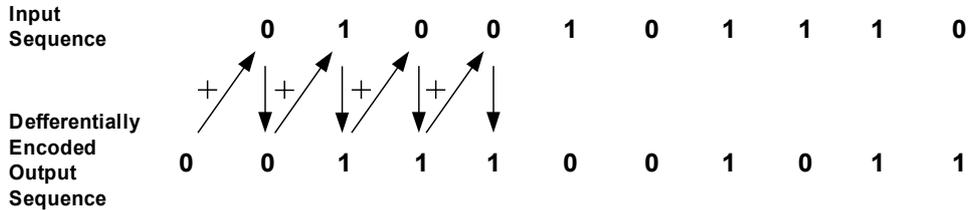
Skema modulasi DBPSK adalah pengembangan skema modulasi BPSK dengan menambahkan proses *differential encoding* sebelum proses modulasi dilakukan. Dengan adanya proses *differential* berarti informasi selalu dibawa pada kondisi yang tidak absolut sebagai hasil transisi antara dua state sebelumnya. Keuntungan yang bisa diperoleh dengan menggunakan *differential encoding* adalah bebas terhadap ketidakpastian fase jika konstelasi fase berubah akibat gangguan-gangguan yang terjadi pada saluran komunikasi saat sinyal hasil modulasi melewatinya. Skema modulasi BPSK yang menerapkan *differential encoding* biasanya disebut dengan DBPSK.

Persamaan *differential encoder* untuk menghasilkan sebuah simbol adalah:

$$s_k = s_{k-1} \oplus b_k \quad (1)$$

dimana s_k adalah simbol yang dihasilkan saat itu, s_{k-1} adalah simbol yang dihasilkan sebelumnya, dan b_k adalah input bit saat itu. Tanda \oplus menunjukkan operasi modulo-2. Dengan demikian, keadaan s_k hanya berubah (dari biner '0' ke biner '1' atau dari biner '1' ke biner '0') jika b_k adalah biner '1'. Sebaliknya, jika b_k bernilai biner '0' maka s_k tidak berubah dan menggambarkan tidak ada perubahan simbol. Contoh *differential encoding* ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini.

ENCODING



Gambar-1. Differential Encoding

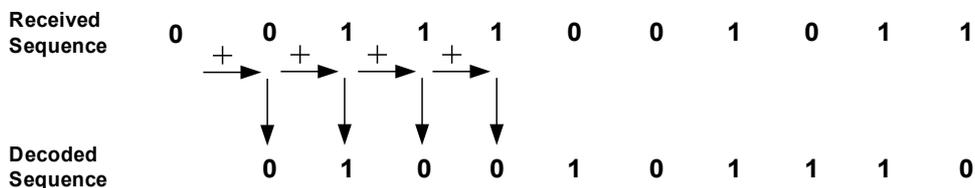
Untuk *differential decoder* proses yang terjadi adalah kebalikan dari *differential encoding* dengan menggunakan persamaan:

$$b'_k = s_k \oplus s_{k-1} \quad (2)$$

Persamaan tersebut tetap menggunakan operasi penjumlahan, karena pengurangan biner prinsipnya sama

dengan operasi penjumlahan biner. Oleh karena itu, $b'_k = 1$ jika s_k dan s_{k-1} berbeda atau berubah, dan $b'_k = 0$ jika tidak ada perubahan. Contoh pengkodean kembali dari *differential encoding* atau sering disebut dengan *differential decoding* ditunjukkan pada Gambar 2.

DECODING

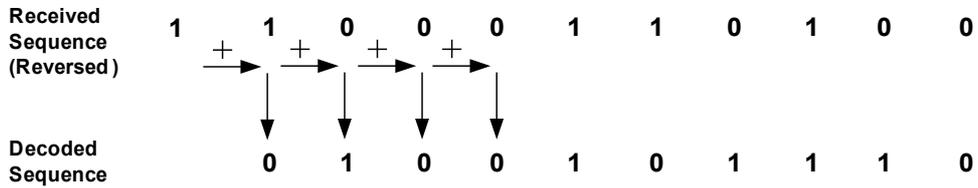


Gambar 2. Differential Decoding

Suatu hal yang sangat penting dan merupakan keuntungan dari *differential encoding* adalah pada saat s_k dan s_{k-1} kedua-duanya dibalik informasinya, informasi b'_k masih akan tetap dapat ditemukan dengan benar pada nilai

keluaran b'_k seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Inilah kelebihan *differential encoding* yang sangat bermanfaat untuk modulasi fase termasuk BPSK dan QPSK karena kebingungan fase 180° dapat diatasi.

DECODING

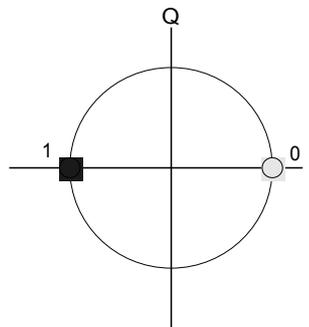


Gambar 3. Deretan simbol hasil *encoding* dari Gambar 1 yang terbalik tetap akan menghasilkan deretan bit yang sesuai dengan input sebelumnya

Format skema modulasi DBPSK menggunakan diagram konstelasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 berikut ini. Dengan menggunakan *differential encoding*, perubahan prosisi untuk kondisi setiap fase harus terjadi dari satu konstelasi ke konstelasi lainnya atau setiap simbol DBPSK akan menempati salah satu dari dua titik dalam diagram konstelasi tersebut. Hal ini akan menjamin bahwa selalu ada perubahan fase untuk setiap simbolnya sehingga akan mempermudah dalam menyediakan pewaktuan *clock* saat proses

demodulasi. Skema modulasi DBPSK akan mengkodekan data dalam bentuk besarnya nilai dan arah pergeseran fase, bukan posisi absolut dalam diagram konstelasi.

Skema modulasi DBPSK menggunakan filter *root Nyquist* atau filter *root raised cosine* sebagai filter pembentuk pulsa atau *pulse-shaping filter*. Filter ini digunakan untuk menurunkan sejumlah sinyal-sinyal palsu atau untuk mengendalikan bentuk sinyal data digital.



Gambar 4. Diagram konstelasi DBPSK

$$g(t) = \frac{1}{\pi t} \frac{1}{1 - \left(\frac{4\alpha t}{T_b}\right)^2} \sin\left\{2\pi(1-\alpha)\frac{1}{T_b}\right\} + \frac{1}{\pi} \frac{4\alpha/T_b}{1 - \left(\frac{4\alpha t}{T_b}\right)^2} \cos\left\{2\pi(1+\alpha)\frac{1}{T_b}\right\} \quad (3)$$

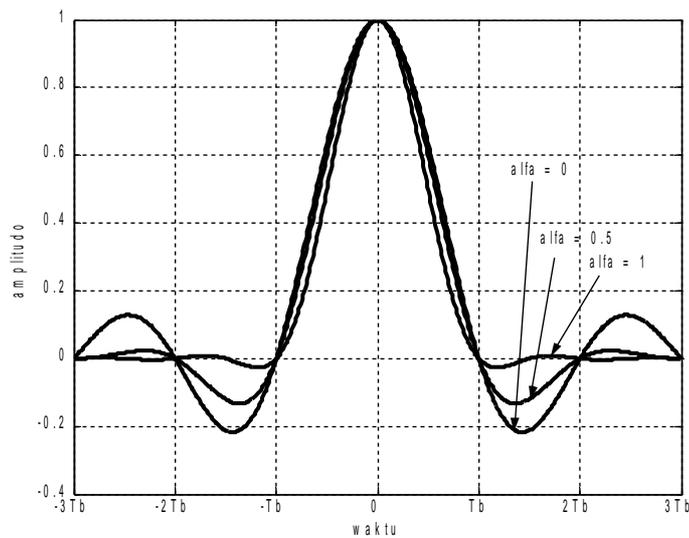
Impulse respons dari filter *root Nyquist* ditentukan oleh persamaan 3 (Harada, 2002), dengan α adalah *roll-off factor*

filter *root raised cosine*. Parameter ini akan mengendalikan bentuk dan

bandwidth sinyal yang masuk pada filter tersebut.

Gambar 5 menunjukkan *impulse response* sebuah filter Nyquist dengan beberapa nilai alfa tertentu. Salah satu sifat filter Nyquist adalah bahwa kita akan selalu memperoleh respons 0 pada

nT_b (n adalah integer: 1, 2, 3, ...) dalam domain waktu. Oleh karena itu, pada saat kita memasang titik sinkronisasi pada nT_b , maka setiap simbol pada titik tersebut tidak akan terpengaruh oleh simbol lainnya.



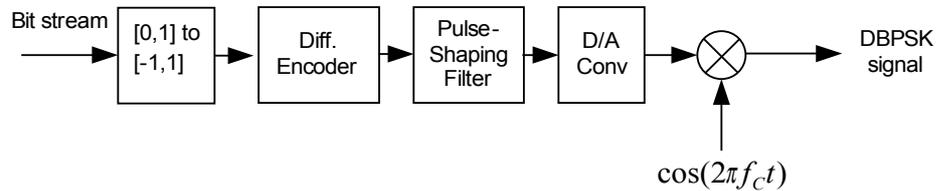
Gambar 5. *Impulse response* sebuah filter Nyquist dengan beberapa nilai *roll-off factors* tertentu.

Keuntungan dari skema modulasi DBPSK antara lain:

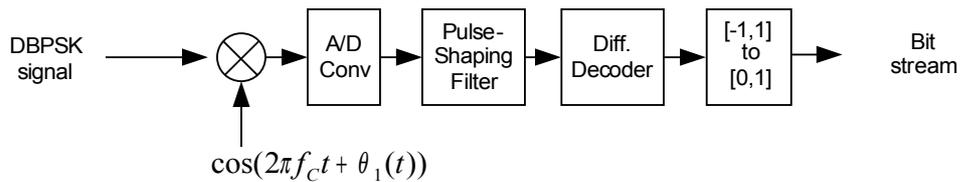
- Perjalanan sinyal tidak akan melewati titik awal, sehingga perancangan sistem pemancar menjadi lebih sederhana.
- Dengan menggunakan proses filter *root raised cosine*, maka efisiensi spektralnya menjadi lebih baik dibanding dengan *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK).

Gambar 6 menunjukkan prinsip dari *modulator* DBPSK. Proses yang terjadi pada modulator adalah dimulai dengan

mengubah aliran bit dengan level 0 dan 1 menjadi aliran bit bipolar dengan level -1 dan 1. Selanjutnya, aliran bit bipolar ini kemudian diproses oleh bagian *Differential Encoder* untuk menghasilkan simbol yang menyatakan perubahan transisi dalam aliran bit tersebut. Proses selanjutnya adalah memasukkan sinyal hasil *differential encoder* ke dalam filter Nyquist filter yang dinyatakan sebagai *Pulse-Shaping Filter*. Terakhir, keluaran dari filter Nyquist yang berupa sinyal digital diubah menjadi sinyal analog dengan menggunakan *D/A converter* dan kemudian dimodulasikan dengan sinyal pembawa untuk menghasilkan sinyal DBPSK.



Gambar 6. DBPSK Modulator



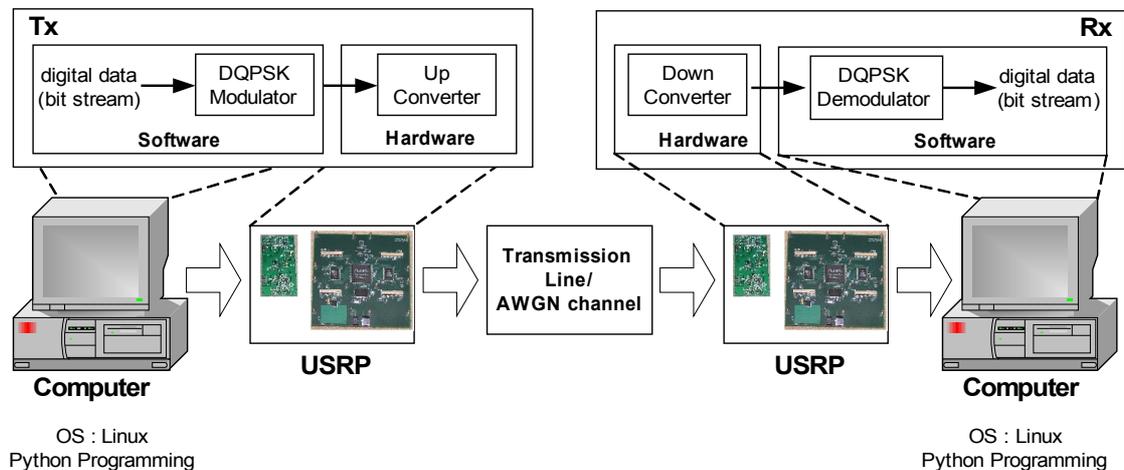
Gambar 7. DBPSK Demodulator

Pada sisi penerima terdapat *demodulator* DBPSK, proses yang terjadi adalah kebalikan dari proses *modulator*. Gambar 7 menunjukkan diagram blok *demodulator* DBPSK.

Berdasarkan gambar tersebut di atas, mula-mula *demodulator* DBPSK akan menghilangkan sinyal pembawa dan mengubah sinyal analog DBPSK menjadi sinyal digital dengan menggunakan rangkaian *A/D converter*. Sinyal digital yang dihasilkan kemudian dimasukkan ke dalam rangkaian *pulse-shaping filter*, dan dengan menggunakan rangkaian *differential decoder* transisi aliran bit informasi yang dikirim oleh *modulator* akan diperoleh kembali pada *demodulator*. Transisi aliran bit informasi yang dihasilkan masih merupakan aliran bit bipolar dengan level -1 and +1, sehingga harus diubah kembali menjadi aliran bit informasi dengan level 0 dan 1 seperti aliran bit informasi asli yang masuk pada *modulator* DBPSK. Dengan demikian deretan bit informasi yang

dikirimkan oleh *modulator* akan dapat ditemukan kembali pada output *demodulator* DBPSK.

Konfigurasi sistem yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 8 berikut ini. *Platform* SDR dalam penelitian ini menggunakan periferan USRP GNU Radio yang berfungsi sebagai *up/down converter* sebagai ujung depannya dan sebuah komputer pribadi (PC) sebagai prosesornya. Konfigurasi sistem SDR dengan menggunakan PC sebagai prosesor sering disebut dengan *Software Radio* atau disingkat menjadi SWR. Dengan konfigurasi tersebut, maka *modulator* dan *demodulator* DBPSK dapat diimplementasikan dalam bentuk perangkat-lunak yang dijalankan di dalam PC, sedangkan *A/D converter* dan *D/A converter* merupakan perangkat-keras yang diletakkan pada USRP. USRP dan PC dihubungkan dengan menggunakan port USB versi 2.0.



Gambar 8. Konfigurasi sistem platform SDR

Spesifikasi *mainboard* USRP yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: (a) Port USB 2.0 untuk hubungan ke komputer; (b) ADC 12-bit dengan kecepatan *sampling* 64 MSPS sehingga dengan prinsip *aliasing* dapat melaksanakan proses digitasi dengan jangkauan frekuensi *aliasing* -32 MHz sampai 32 MHz; (c) DAC 14-bit dengan frekuensi *clock* sebesar 128 MSPS sehingga memiliki frekuensi Nyquist sebesar 64 MHz; dan (d) sinyal analog dengan batas 10 mwatt. Sedangkan dengan menggunakan *daughterboard*

Basic Tx dan *Basic Rx* tidak ada proses *up/down converter* dan frekuensi *transmitter* dibatasi maksimum 50 MHz

Spesifikasi komputer PC yang digunakan dalam penelitian ini diringkas dalam Tabel 1 berikut ini. Komputer yang digunakan harus memiliki port USB versi 2.0 untuk mendukung hubungan dengan board USRP. Bahasa pemrograman menggunakan Phyton dan beberapa blok fungsi ditulis menggunakan bahasa pemrograman C++.

Tabel 1. Spesifikasi komputer yang digunakan dalam penelitian

No	Komponen	Komputer I	Komputer II
1.	Processor	AMD Athlon XP1800+, 1.53 GHz, fsb 533 MHz	Intel Pentium 4, 2.93 Ghz, fsb 533 MHz
2.	RAM	DDR 333 MHz, 256 Mbyte	DDR 400 MHz, 2 x 256 MByte
3.	Sistem Operasi	Linux Fedora Core-4, 2.6.11-1.i369	Linux Fedora Core-4, 2.6.11-1.i369

Unjuk-kerja sistem dapat diukur dengan menggunakan salah satu parameter yang sering digunakan dalam QoS, yaitu:

$BER < 10^{-3}$, PLR or $PER < 10^{-2}$, *spread delay* < 100 ms, and $Gos > 95\%$ (Mitola, 2000).

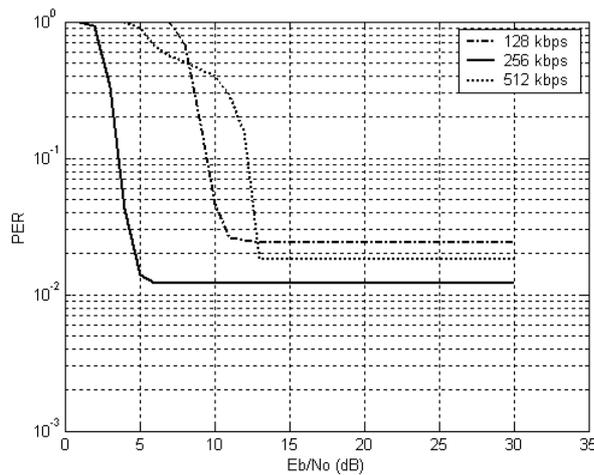
Dalam penelitian ini, unjuk-kerja skema modulasi DBPSK diamati dalam bentuk *Packet Error Rate* (PER) karena data

ditransmisikan dalam bentuk paket. Lebih jauh lagi, transmisi data dalam bentuk paket akan memberikan kemudahan dalam integrasi perangkat-lunak SDR dengan protokol komunikasi TCP/IP untuk pengembangan selanjutnya.

PEMBAHASAN

Modulator dan *demodulator* DBPSK seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya diimplementasikan dalam platform SDR yang menggunakan PC sebagai prosesor dan USRP sebagai ujung depannya. Fungsi USRP sebagai ujung depan adalah melakukan proses digitasi sinyal analog atau sebaliknya menggunakan ADC dan DAC serta proses pemilihan saluran. Proses pengolahan sinyal digital dilakukan oleh PC dengan menggunakan port USB sebagai saluran penghubung antara PC dengan USRP. Sistem operasi yang digunakan adalah Linux Fedora Core 6 dengan bahasa pemrograman Python dan C++. Sebagian perangkat-lunak yang digunakan mengacu pada *open source* GNU Radio.

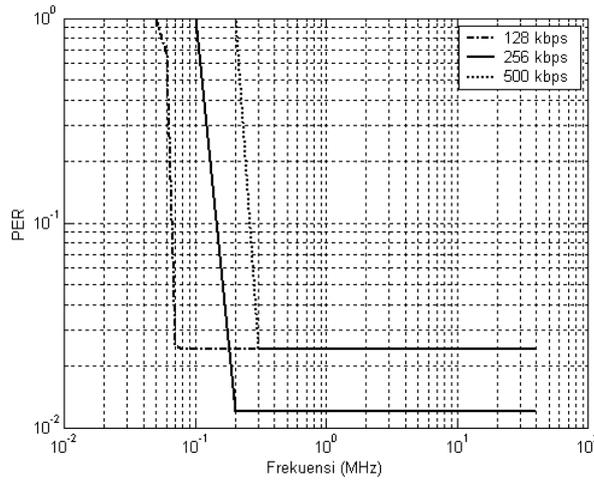
Penelitian ini akan mengamati unjuk-kerja sistem komunikasi digital berbasis SDR dengan menggunakan USRP dengan mengimplementasikan skema modulasi DBPSK untuk proses modulasinya. Saluran transmisi menggunakan kabel koaksial RG58 untuk menghubungkan sistem pemancar dan penerima mengingat *daughterboard Basic Tx* memiliki daya yang sangat kecil sehingga belum mampu mengemudikan sistem antena. Unjuk-kerja sistem SDR diamati dalam bentuk nilai PER yang dihasilkan dengan beberapa variasi nilai E_b/N_0 , bit rate, frekuensi pembawa (*carrier*), *roll-off factor*, *gain*, dan juga ukuran *payload*. Hasil-hasil pengamatan ditunjukkan dalam beberapa grafik berikut ini.



Gambar 9. Pengaruh nilai E_b/N_0 terhadap nilai PER

Gambar 9 menunjukkan grafik antara variasi nilai E_b/N_0 terhadap nilai PER yang dihasilkan masing-masing untuk *bit rate* 128 kbps, 256 kbps, dan 512 kbps. Berdasarkan grafik tersebut dapat dinyatakan bahwa semakin besar nilai E_b/N_0 maka akan semakin rendah nilai PER yang dihasilkan. Nilai PER akan tetap rendah pada saat nilai E_b/N_0 lebih

tinggi dari 5 dB untuk *bit rate* 256 kbps, dan nilai E_b/N_0 lebih besar dari 11 dB untuk *bit rate* 128 kbps, dan nilai E_b/N_0 lebih besar dari 13 dB untuk *bit rate* 512 kbps. Secara umum, nilai PER terendah dapat diperoleh dengan mengatur nilai E_b/N_0 lebih besar dari 13 dB pada skema modulasi DBPSK.

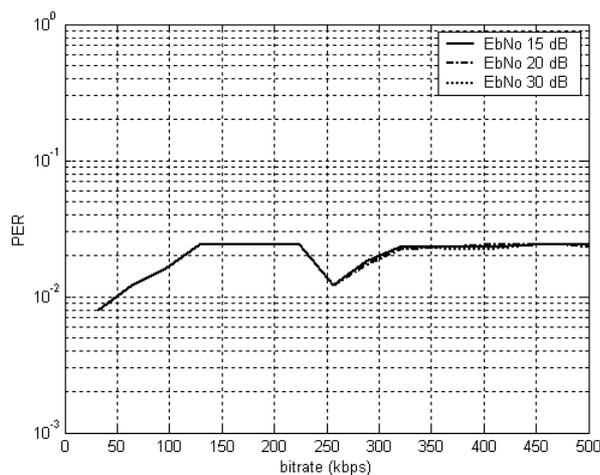


Gambar 10. Pengaruh besarnya frekuensi pembawa terhadap nilai PER

Variasi frekuensi pembawa modulasi DBPSK juga mempengaruhi nilai PER yang dihasilkan seperti ditunjukkan dengan grafik-grafik pada Gambar 10. Grafik tersebut diperoleh dengan mengatur nilai *bit rate* 128 kbps, 256 kbps, dan 500 kbps. Dalam eksperimen ini, frekuensi pembawa yang digunakan dibatasi maksimum 44 MHz, dan frekuensi di atasnya tidak dapat ditangani oleh USRP yang menggunakan *daughterboard Basic Tx* dan *Basic Rx*. Berdasarkan grafik tersebut, nilai PER terendah diperoleh pada saat frekuensi pembawa $f_c > 0.07$ MHz untuk bit rate

128 kbps, $f_c > 0.1$ MHz untuk bit rate 256 kbps, dan $f_c > 0.2$ MHz untuk 500 kbps. Dengan kata lain nilai frekuensi minimum untuk mengirimkan data dengan *bit rate* 256 kbps adalah 0.1 MHz.

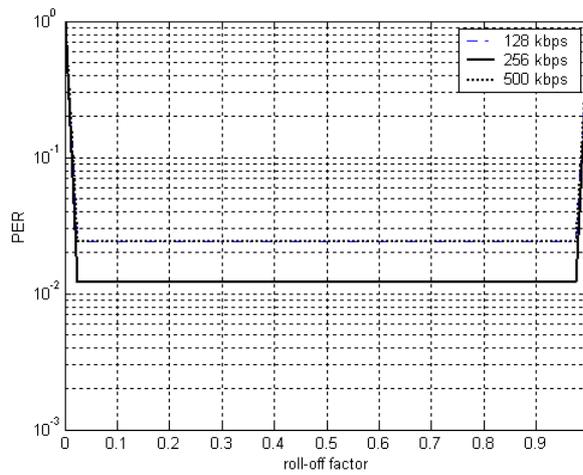
Gambar 11 menunjukkan grafik hubungan antara variasi nilai *bit rate* terhadap nilai PER. Berdasarkan grafik tersebut, maka nilai optimum *bit rate* dari skema modulasi DBPSK yang diimplementasikan pada *platform* SDR adalah 256 kbps.



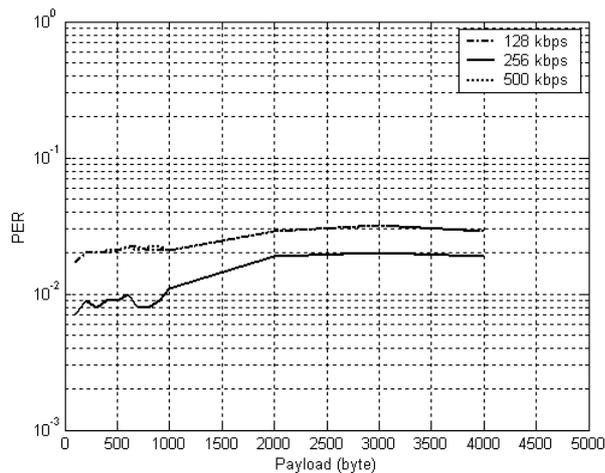
Gambar 11. Pengaruh bit rate terhadap nilai PER

Gambar 12 menunjukkan grafik hubungan antara variasi nilai *roll-off factor* filter Nyquist terhadap nilai PER yang dihasilkan. Berdasarkan grafik tersebut, secara umum dapat dikatakan bahwa nilai PER terendah dapat diperoleh pada nilai batas alfa tertentu. Nilai *roll-off factor* optimum untuk mendapatkan nilai PER terendah adalah

$0.1 < \alpha < 0.9$. Nilai *roll-off factor* filter Nyquist adalah $0 \leq \alpha \leq 1$, dimana nilai *roll-off factor* sama dengan 1 menunjukkan *roll-off full-cosine* yang sangat berguna dalam pewaktuan ekstraksi sinyal dalam proses sinkronisasi. Semakin besar nilai *roll-off factor* maka akan semakin rendah pengaruhnya dari ISI.



Gambar 12. Pengaruh nilai *roll-off factor* terhadap nilai PER



Gambar 13. Pengaruh ukuran *payload* terhadap nilai PER

Gambar 13 menunjukkan grafik hubungan antara variasi ukuran *payload*

terhadap nilai PER yang dihasilkan. Grafik tersebut menunjukkan bahwa

semakin besar ukuran data yang dikirimkan akan menghasilkan nilai PER yang semakin tinggi, meskipun secara umum masih menghasilkan nilai PER yang cukup rendah. Ukuran data maksimum dari sistem adalah 4092 bytes, sehingga ukuran *optimum payload* adalah 4092 bytes.

Mengacu pada beberapa grafik-grafik hasil penelitian di atas tentang variasi nilai *Eb/No*, frekuensi *carrier*, *bit rate*, *roll-off factor*, dan ukuran *payload* akan menghasilkan nilai PER yang cukup rendah yaitu mendekati 10^{-2} . Jika dibandingkan dengan kriteria pengukuran unjuk-kerja dari parameter QoS yang menyatakan bahwa nilai PER $< 10^{-2}$ memang belum dapat dipenuhi. Dengan demikian, skema modulasi DBPSK yang diimplementasikan dalam *platform SDR* yang menggunakan USRP dan PC masih perlu disempurnakan sehingga menghasilkan unjuk-kerja yang jauh lebih baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran unjuk-kerja serta pembahasan implementasi skema modulasi DBPSK pada *platform SDR* dalam penelitian ini, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

Secara umum implementasi skema modulasi DBPSK pada *platform SDR* memiliki unjuk-kerja yang cukup baik dilihat dari nilai PER yang mendekati 10^{-2} . Nilai PER terendah dapat dicapai dengan mengatur nilai *Eb/No* > 13 dB, *bit rate* optimum 256 kbps, frekuensi *carrier* lebih besar dari 0,3 MHz, nilai *roll-off factor* (α) adalah $0.1 < \alpha < 0.9$, dan ukuran optimum *payload* adalah 4092 bytes.

Tindak lanjut dari penelitian ini adalah memperbaiki unjuk-kerja implementasi skema modulasi DBPSK pada *platform SDR*, serta integrasi sistem SDR dengan protokol TCP/IP untuk membangun sebuah aplikasi komunikasi data digital berbasis SDR pada jaringan TCP/IP.

DAFTAR PUSTAKA

Chen, Z., 2007, "Performance analysis of channel estimation and adaptive equalization in slow fading channel," [Online], Available at http://www.wu.ece.ufl.edu/projects/channelEstimation/full_files.zip.

Harada, H., Prasad, R., 2002, Simulation and Software Radio for Mobile Communications. Boston, Artech House, pp. 75-76.

Mitola III, J., 2000, Software Radio Architecture. Object-Oriented Approaches to Wireless Systems Engineering. Canada, John Eiley & Sons, Inc, pp. 165-166.

Reed, J. H., 2002, Software Radio: A Modern Approach to Radio Engineering. New Jersey, Prentice Hall.

BIODATA PENULIS

EKO MARPANAJI lahir di Bantul pada tanggal 8 Juni 1967, dan sekarang bertempat tinggal di Polaman RT 17, Argorejo, Sedayu, Bantul, Yogyakarta. Saat ini bekerja sebagai staf pengajar di Jurusan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Yogyakarta, Karangmalang, 55281, Yogyakarta, dengan bidang keahlian Komunikasi Data. Lulus sarjana pendidikan teknik elektronika pada tahun 1990, dan lulus program magister teknik elektro option teknik sistem komputer ITB pada tahun 1999. Mulai tahun 2004 menempuh studi lanjut S3 di Sekolah Teknik Elektro dan Informatika (STEI) Institut Teknologi Bandung, dengan topik penelitian *Software-Defined Radio* (SDR). Email: eko@uny.ac.id, HP: 08164264136.

Jurnal Technoscintia, ISTA Yogyakarta, Vol. No.1, Agustus 2008. pp 14-22
ISSN: 1979-8415