

PENGUKURAN UNJUK KERJA MODULASI GMSK PADA PLATFORM SOFTWARE-DEFINED RADIO (SDR)

¹Eko Marpanaji, ²Bambang Riyanto, ²Armein Z.R. Langi, ²Adit Kurniawan

¹Pendidikan Teknik Elektronika, FT, UNY, Karangmalang Yogyakarta

eko@uny.ac.id, ekoaji332@students.itb.ac.id

²Teknik Elektro, STEI, ITB, Jl. Ganesha 10 Bandung

briyanto@liskk.ee.itb.ac.id, langi@lss.ee.itb.ac.id, adit@ltrgm.ee.itb.ac.id

Abstrak

Tulisan ini memaparkan hasil penelitian tentang pengujian unjuk kerja modulasi GMSK yang diimplementasikan pada sebuah platform Software-Defined Radio (SDR) atau Software Radio (SWR). Modulasi GMSK sangat populer dan digunakan sebagai standar modulasi telepon seluler GSM saat ini. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar pengembangan sistem komunikasi digital nirkabel berbasis SDR yang sangat diperlukan dalam pengembangan Next Generation Networks (NGN) dimasa yang akan datang. Unjuk kerja modulasi GMSK diukur berdasarkan nilai Packet Error Rate (PER) yang dihasilkan dari berbagai variasi nilai Eb/No, bit rate, frekuensi modulasi, ukuran data yang dikirimkan, dan penguatan secara software. Berdasarkan hasil pengujian, nilai PER dari arsitektur SDR yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan unjuk kerja yang baik (nilai PER sangat kecil) pada saat nilai Eb/No adalah 20 dB; nilai bit rate optimum 256 kbps; nilai BT ≥ 0.25 ; ukuran data optimum 4092 byte; gain (software) yang optimum adalah 100.

Kata kunci: gaussian minimum shift keying, packet error rate, software-defined radio, usrp.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi di masa datang tetap mengutamakan komunikasi berbasis nirkabel karena memiliki beberapa keuntungan terutama terhadap kebutuhan mobilitas pengguna. Sejalan dengan perkembangan tersebut, perubahan standar komunikasi begitu cepat dan isu kompatibilitas antar standar menjadi masalah yang serius bagi *provider*, karena sebagian besar teknologi komunikasi yang dikembangkan diimplementasikan dalam bentuk perangkat keras[1](Shah, 2002). Perubahan standar komunikasi selalu mendorong investasi perangkat keras yang baru dan akan mengakibatkan mahalnya biaya langganan. Piranti komunikasi yang diperlukan bagi pengguna juga cepat kedaluwarsa sehingga pengguna selalu dipaksa untuk membeli perangkat komunikasi yang baru untuk memperoleh layanan baru yang diinginkan. Kondisi tersebut menyebabkan masyarakat tingkat ekonomi menengah kebawah tidak mampu menikmati layanan yang diberikan.

Software-Defined Radio (SDR) merupakan teknologi komunikasi berbasis nirkabel yang fungsinya ditentukan oleh perangkat lunak. 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 seluler dan bergerak generasi ke 3 (3G), *Next Generation Networks* (NGN), dan *Rural-Next Generation Networks* (R-NGN).

Malm (2005) dan Valentin (2006) mengembangkan lapisan data link layer untuk tesbed software radio menggunakan USRP GNU Radio dengan menguji *latency* dari RTT (round trip time) untuk pengiriman paket [2][3]. Dalam penelitiannya, Malm dan Valentin juga menggunakan modulasi GMSK namun tidak menguji unjuk kerja skema modulasi tersebut. Paper ini akan melaporkan hasil pengujian unjuk kerja skema modulasi GMSK yang diimplentasikan pada sebuah platform SDR dilihat dari nilai *Packet Error Rate* (PER), sehingga diharapkan dapat melengkapi hasil penelitian Malm dan Valentin tersebut.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar pengembangan dalam membangun platform software radio untuk komunikasi nirkabel selanjutnya. Laporan ini merupakan bagian dari penelitian yang sedang dilakukan dalam mengembangkan platform

SDR dengan menggunakan komponen-komponen komoditas, dan akan menjawab pertanyaan penelitian “bagaimana membangun platform SDR menggunakan komponen komoditas?”.

Sistematika makalah ini adalah: Bagian 2 membahas modulasi GMSK, Bagian 3 menjelaskan tentang arsitektur SDR beserta sifat-sifat yang dimilikinya, Bagian 4 menjelaskan konfigurasi sistem yang digunakan dalam penelitian ini, Bagian 5 membahas implementasi GMSK dan hasil pengujiannya, dan terakhir Bagian 6 adalah kesimpulan.

2. METODE PENELITIAN

Bagian ini akan menjelaskan secara singkat akan menjelaskan tentang; (1) konsep modulasi *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK); (2) arsitektur *Software-Defined Radio* (SDR); (3) simulasi pengujian BER modulasi GMSK; (4) konfigurasi sistem yang digunakan untuk pengujian modulasi GMSK menggunakan platform SDR; (5) spesifikasi komputer yang digunakan dalam penelitian, serta (6) metode pengujian unjuk kerja yang digunakan dalam penelitian ini. Konsep tentang GMSK baik untuk modulator dan demodulatornya disajikan juga sedikit persamaan matematis untuk sekedar memberikan gambaran tentang algoritmanya. Sedangkan persamaan matematis yang lebih lengkap dapat dilihat pada buku-buku referensi.

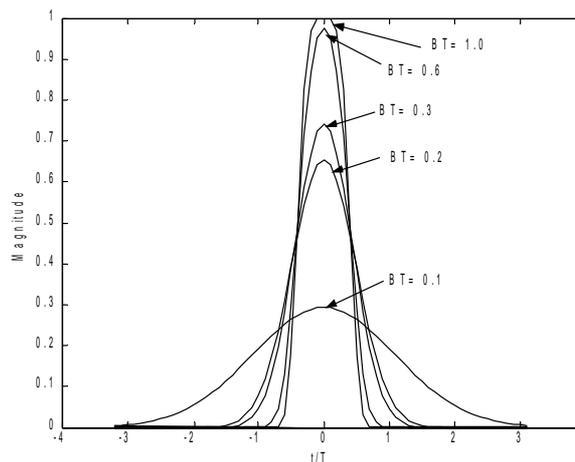
2.1 Modulasi *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK)

GMSK merupakan turunan dari MSK dimana pulsa kotak yang digunakan dalam modulasi MSK diganti dengan pulsa sinusoida dan ditambah dengan menerapkan filter Gaussian dalam pembentukan pulsanya. Respon filter Gaussian akan menghasilkan sinyal yang memiliki side lobe yang rendah dan main lobe yang lebih sempit dibanding pulsa kotak. Karena modulasi menggunakan filter Gaussian maka modulasi ini kemudian disebut dengan *Gaussian Minimum Shift Keying* (GMSK). Hubungan antara bandwidth pada awal modulasi (B) dengan perioda bit (T) merupakan bandwidth dari sistem modulasi GMSK. Pada sistem seluler GSM nilai perkalian bandwidth dengan perioda bit ini dipilih sama dengan 0.3 ($BT = 0.3$) dengan laju bit saluran sebesar 270.8 kbps.

Respon filter Gaussian ditentukan dengan persamaan[4] (Haykin, 2004):

$$g(t) = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erfc} \left(\pi \sqrt{\frac{2}{\log 2}} BT_b \left(\frac{t}{T_b} - \frac{1}{2} \right) \right) - \operatorname{erfc} \left(\pi \sqrt{\frac{2}{\log 2}} BT_b \left(\frac{t}{T_b} - \frac{1}{2} \right) \right) \right] \quad (1)$$

Gambar 1 berikut ini menunjukkan hasil simulasi respon filter Gaussian dari pers. (1) dengan variasi nilai BT.



Gambar 1. Gaussian response filter with various of BT product

2.2 Modulator GMSK

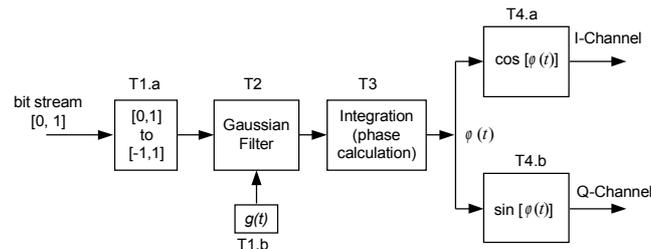
Gambar 2 menunjukkan blok diagram sebuah modulator GMSK. Proses yang terjadi pada modulator dimulai dengan mengubah bit stream $x(n)$ dengan level 0 dan satu menjadi bipolar stream bit $x'(n)$ dengan level -1 dan 1. Setelah itu, bipolar stream bit difilter dengan

filter Gaussian yang memiliki respon filter $g(t)$. Proses filter ini pada dasarnya melakukan konvolusi antara bipolar bit stream $x'(n)$ dengan $g(t)$. Hasil konvolusi kemudian diintegrasikan untuk menghitung nilai fase $\varphi(t)$. Fase ini akan menentukan sinyal I-channel dan Q-channel dengan menggunakan persamaan:

$$I = \cos(\varphi(t)) \quad (2)$$

$$Q = \sin(\varphi(t)) \quad (3)$$

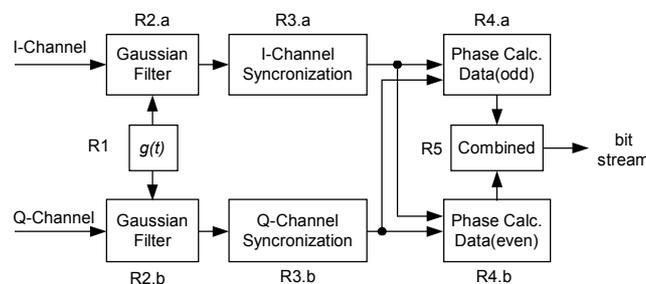
Sinyal I-channel dan Q-channel inilah yang akan ditransmisikan ke udara dan akan diproses oleh demodulator GMSK seperti yang akan dijelaskan pada bagian berikut ini.



Gambar 2. Modulator GMSK

2.3 Demodulator GMSK

Proses yang terjadi pada GMSK demodulator untuk memperoleh kembali bit stream sinyal informasi secara lengkap ditunjukkan Gambar 3. Sinyal I-channel dan Q-channel akan diproses secara terpisah dalam hal filtering dan sinkronisasinya. Proses selanjutnya adalah perhitungan fase untuk deretan data yang memiliki indeks bilangan ganjil dan genap secara terpisah dari sinyal I-channel dan Q-channel hasil sinkronisasi untuk mendeteksi deretan bit dengan level 0 dan 1 kembali. Akhirnya, deretan bit secara lengkap dapat diperoleh dengan menggabungkan kedua deretan bit sehingga diperoleh kembali deretan bit sinyal informasi seperti yang dikirimkan oleh GMSK modulator.

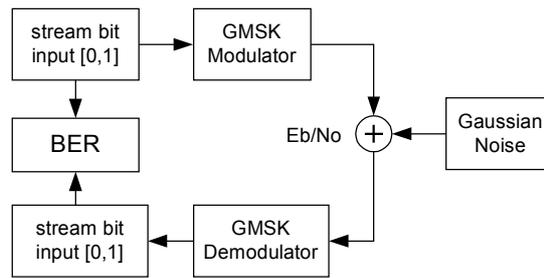


Gambar 3. Demodulator GMSK

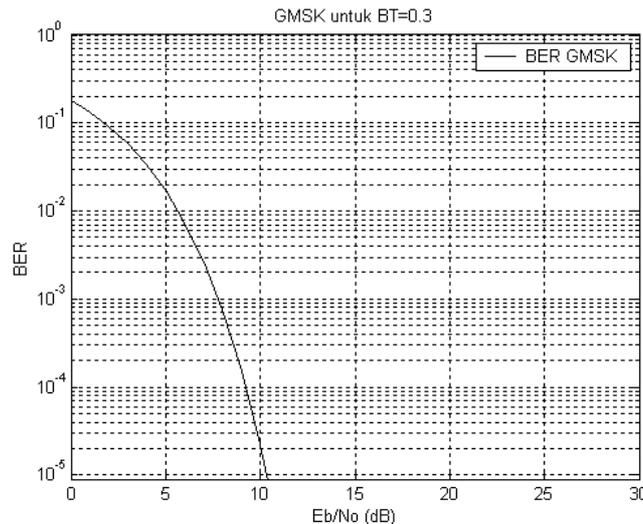
2.4 Simulasi BER

Saluran Additive White Gaussian Noise (AWGN) dapat mempengaruhi sinyal yang ditransmisikan sehingga mengakibatkan kesalahan informasi. Perbedaan pesan yang dikirim dengan pesan yang diterima pada sistem komunikasi digital biasanya dinyatakan dengan bit error rate (BER). Konfigurasi simulasi ditunjukkan pada Gambar 4. Simulasi pengaruh saluran AWGN terhadap BER untuk skema modulasi GMSK ditunjukkan pada Gambar 5. Simulasi bertujuan untuk mengamati nilai BER yang diperoleh akibat perubahan kualitas sinyal atau sering dinyatakan sebagai nilai E_b/N_0 , dimana E_b adalah energi tiap bit dan N_0 adalah daya noise yang biasanya dinyatakan dalam dB.

Gambar 5 menunjukkan simulasi nilai BER berdasarkan nilai E_b/N_0 . Berdasarkan hasil simulasi untuk beberapa nilai E_b/N_0 , maka nilai $BER \leq 10^{-3}$ apabila $E_b/N_0 \geq 5$. Dengan demikian, BER sebesar 10^{-3} dapat diperoleh jika perbandingan antara E_b terhadap N_0 lebih besar atau sama dengan 5.



Gambar 4. Konfigurasi Simulasi BER Modulasi GMSK



Gambar 5. Hasil simulasi BER terhadap variasi nilai Eb/No

2.5 Arsitektur Software-Defined Radio

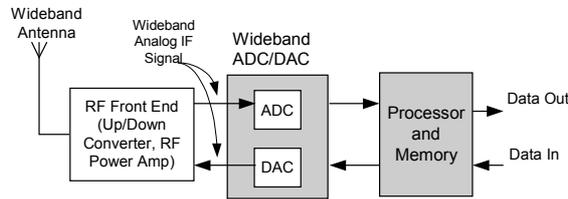
Software-Defined Radio (SDR), ada yang menyebut juga Software Radio (SWR), diperkenalkan pertama kali pada tahun 1991 oleh Joseph Mitola[5][6] (**Reed, 2002, Steinheider, 2003**). Istilah SDR ini digunakan untuk menunjuk sebuah kelas radio yang dapat dikonfigurasi ulang atau diprogram ulang[7] (**Mitola, 2000**), sehingga menghasilkan sebuah jenis perangkat komunikasi nirkabel dengan mode dan band frekuensi ditentukan oleh fungsi perangkat lunak.

Secara ideal, SDR memiliki keuntungan karena sifat fleksibilitas (*flexibility*), lengkap dan dapat dikonfigurasi ulang secara mudah (*complete and easy reconfigurability*), dapat diskala (*scalability*), dapat diprogram ulang (*reprogrammability*), serta dapat diperluas (*expandability*)[5][8](**Reed, 2002; Christensen, 2004**).

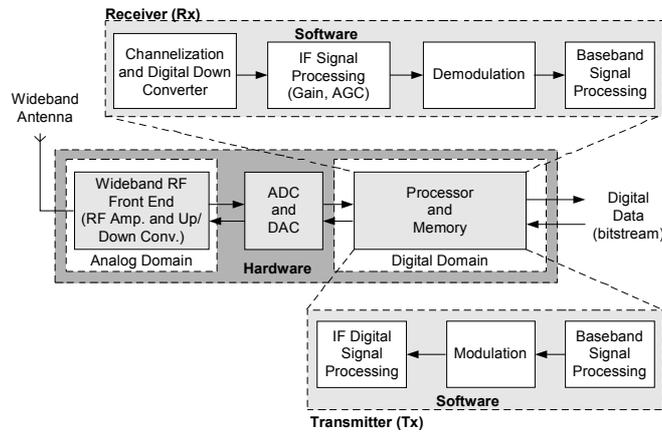
Arsitektur SDR ideal akan menempatkan ADC/DAC sedekat mungkin dengan antena untuk melakukan konversi analog ke digital atau digital ke analog, sehingga membutuhkan wideband ADC/DAC. Fungsi radio akan dilakukan oleh perangkat lunak yang dijalankan oleh prosesor, sehingga lebih fleksibel[5][7][9][10] (**Reed, 2002; Mitola, 2000; Lehr, 2002; Guttag, 2003**). Namun demikian, keterbatasan teknologi dan mahalnya wideband ADC/DAC mendorong untuk sedikit mengubah arsitektur SDR dalam menempatkan ADC/DAC sehingga menjadi realistis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

Arsitektur SDR yang lebih realistis menempatkan wideband ADC/DAC setelah Down Converter/Up Converter, sehingga konversi analog ke digital atau sebaliknya berkaitan dengan sinyal Intermediate Frequency (IF) yang lebih rendah dibanding sinyal Radio Frequency (RF). Arsitektur ini saat ini banyak dikembangkan dan dalam proses penelitian untuk implementasinya. Arsitektur SDR dilihat dari segi perangkat keras dan perangkat lunak yang diperlukan dengan mengacu pada arsitektur SDR realistis ditunjukkan pada Gambar 7. Arsitektur tersebut saat ini banyak digunakan para peneliti dalam rangka mengembangkan teknologi SDR untuk berbagai keperluan, termasuk peneliti-peneliti SDR yang tergabung dalam

kelompok GNU Radio dengan menggunakan ujung depan (front end) yang mereka sebut *Universal Software Radio Peripheral* atau USRP. Istilah *Software Radio* (SWR) digunakan sebagai alternatif istilah Software-Defined Radio yang menggunakan komputer pribadi (PC) atau General Purpose Processor (GP) sebagai prosesor.



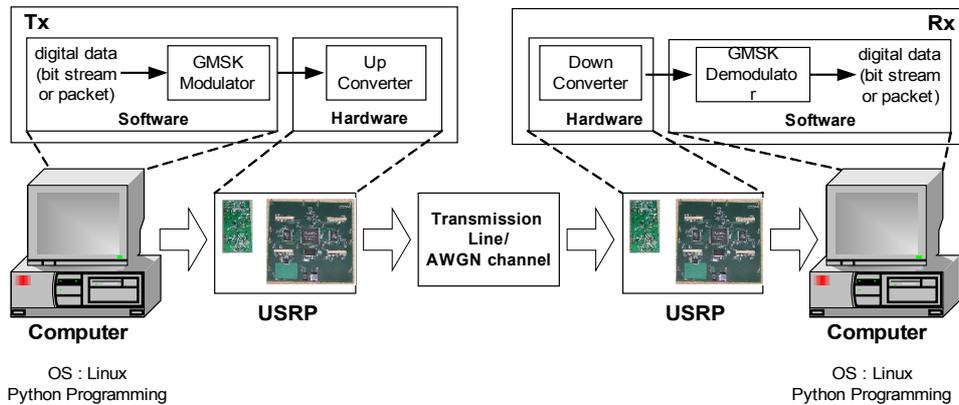
Gambar 6. Arsitektur SDR Realistis



Gambar 7. SDR Architecture for Transmitter and Receiver

2.6 Konfigurasi Sistem SDR

Penelitian ini menggunakan arsitektur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, yaitu menggunakan perangkat ujung depan yang berfungsi sebagai up/down converter dan menggunakan komputer pribadi (PC) sebagai prosesor. Konfigurasi sistem SDR yang menggunakan PC sebagai prosesor sering disebut juga dengan istilah *Software Radio* atau disingkat SWR. Konfigurasi sistem SDR yang digunakan dalam penelitian ini secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 8 berikut ini.



Gambar 8. Konfigurasi sistem pengujian skema modulasi GMSK berbasis SDR

Sistem SDR menggunakan perangkat ujung depan yang disebut dengan USRP dengan fungsi utama menghasilkan sinyal IF digital dan sebuah komputer PC sebagai pengolah sinyal

dijital tersebut. Sebagian besar perangkat lunak yang digunakan untuk menjalankan fungsi radio dikerjakan oleh komputer yaitu channel coding berupa pembentukan paket dan proses modulasi/demodulasi. USRP dan komputer dihubungkan melalui port USB 2.0. Spesifikasi USRP dan komputer yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan pada bagian berikut ini.

2.7 Universal Software Radio Peripheral (USRP)

Universal Software Radio Peripheral (USRP) merupakan sebuah perangkat ujung depan (*front end*) dalam sebuah arsitektur SDR yang sekarang banyak digunakan oleh para peneliti SDR dari kelompok GNU Radio. Ujung depan ini melakukan beberapa fungsi antara lain: (1) mengubah frekuensi sinyal RF (*Radio Frequency*) menjadi sinyal IF (*Intermediate Frequency*) atau sering disebut sebagai *down-converter* dan proses sebaliknya yang sering disebut dengan *up-converter*; (2) melakukan konversi dari sinyal IF analog menjadi sinyal IF digital menggunakan A/D converter dan proses sebaliknya menggunakan D/A converter; (3) melakukan proses digital down converter (DDC) dan desimasi untuk menurunkan laju data digital yang akan dikirimkan melalui port USB. Proses ini dilakukan dengan menggunakan sebuah chip FPGA; (4) melakukan komunikasi dengan komputer (mengirim dan menerima sinyal digital) menggunakan antarmuka port USB 2.0. USRP terdiri dari sebuah *main board* untuk menjalankan proses (2), (3), dan (4), serta beberapa *daughterboard* untuk melakukan proses (1). USRP mendukung 4 buah daughterboard yaitu dua buah daughterboard untuk pemancar (Tx) dan dua buah daughterboard untuk penerima (Rx).

Spesifikasi main board USRP yang digunakan dalam penelitian ini adalah: port USB 2.0 untuk koneksi dengan komputer, ADC 12-bit dengan kecepatan sampling 64 MSPS sehingga dengan prinsip aliasing dapat melakukan proses digitasi dengan jangkauan frekuensi aliasing -32 MHz s.d. 32 MHz, DAC 14 bit dengan frekuensi clock 128 MSPS sehingga memiliki frekuensi Nyquist sebesar 64 MHz dan sinyal analog yang dihasilkan terbatas 10 mWatt. Sedangkan untuk daughterboard yang digunakan adalah Basic Tx dan Basic Rx sehingga belum ada proses down/up converter dan frekuensi pemancar terbatas maksimum 50 MHz.

2.8 Personal Computer (PC)

Penelitian ini menggunakan dua buah komputer pribadi (PC) dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1. Spesifikasi Komputer yang digunakan dalam penelitian

| No | Komponen | Komputer 1 | Komputer 2 |
|----|------------------|---|--|
| 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. | Operating System | Linux Fedora Core-4, 2.6.11-1.i369 | Linux Fedora Core-4, 2.6.11-1.i369 |

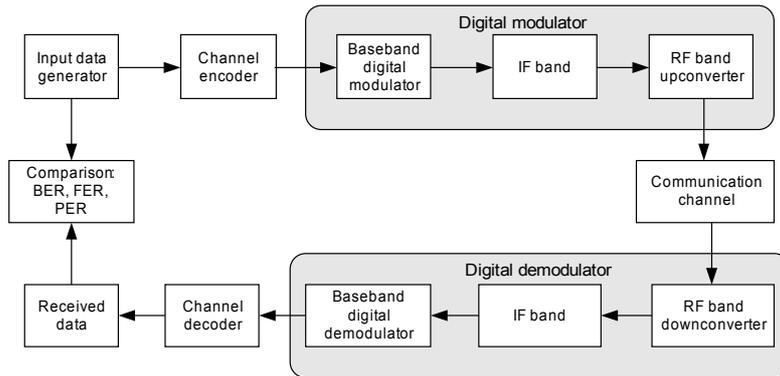
Komputer yang digunakan harus memiliki port USB versi 2.0 untuk mendukung koneksi dengan board USRP. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah Phyton dengan beberapa fungsi blok ditulis menggunakan bahasa C++.

2.9 Kriteria Pengukuran Unjuk Kerja

Kriteria pengujian arsitektur SDR dapat diukur melalui profile QoS (Quality of Service) [7][11](Mitola, 2000; Harada, 2002) :

1. Bit Error Rater (BER) cukup rendah ($10^{-6} \leq BER \leq 10^{-3}$)
2. Grade of Service (GoS) > 95%
3. Delay Spread < 100 ms
4. Packet Lost Rate (PLR) < 10^{-2}

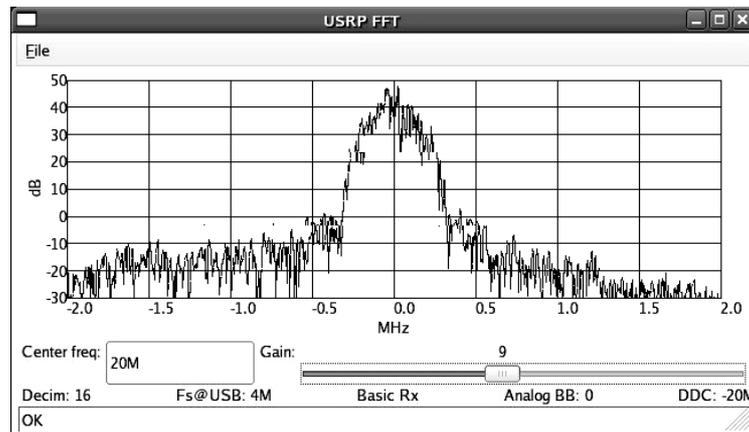
Blok diagram pengujian unjuk kerja ditunjukkan pada Gambar 9 berikut ini.



Gambar 9. Pengukuran Unjuk Kerja melalui BER, FER atau PER

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini mengamati unjuk kerja dari sistem komunikasi data digital berbasis SDR menggunakan skema modulasi GMSK. Saluran transmisi menggunakan kabel koaksial RG58 untuk menghubungkan sistem pemancar dengan sistem penerima. Hal ini dilakukan karena daya output pemancar dari daughterboard masih sangat kecil (hanya berkisar 1 mW) sehingga belum layak untuk transmisi menggunakan saluran udara.



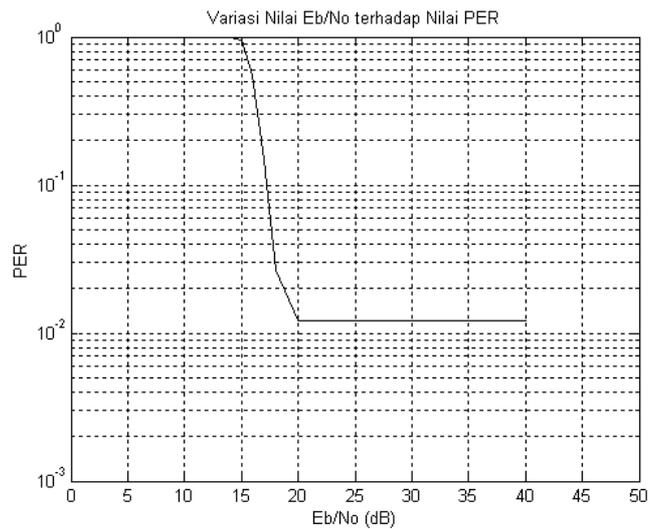
Gambar 10. Spektrum modulasi GMSK

Unjuk kerja sistem komunikasi data digital berbasis SDR menggunakan skema modulasi GMSK ini diamati dari nilai Packet Error Rate (PER) yang dihasilkan dengan melakukan variasi perubahan nilai bit rate, perbandingan E_b/N_0 , frekuensi modulasi, nilai perkalian BT respon filter Gaussian, dan besar ukuran data yang dikirimkan.

Pengujian unjuk kerja sistem SDR dengan menggunakan skema modulasi GMSK dilakukan dengan menjalankan file `benchmark_gmsk_tx.py` untuk sistem pemancar dan `benchmark_gmsk_rx.py` untuk sistem penerima. Hasil pengujian nilai PER dari berbagai variasi beberapa parameter tersebut di atas disajikan dengan grafik-grafik berikut ini.

3.1 Pengaruh Nilai E_b/N_0 terhadap nilai PER

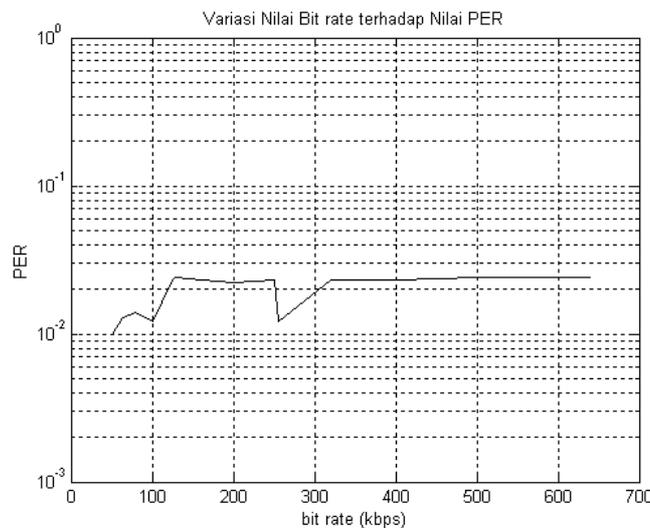
Gambar 11 menunjukkan grafik hubungan antara variasi nilai perbandingan E_b/N_0 terhadap nilai PER yang dihasilkan. Berdasarkan grafik tersebut nampak bahwa semakin besar E_b/N_0 maka semakin kecil nilai PER dan untuk $E_b/N_0 > 20$ dB nilai PER sangat kecil sekali. Dengan demikian unjuk kerja GMSK sangat baik jika nilai $E_b/N_0 > 20$ dB.



Gambar 11. Variasi nilai Eb/No terhadap nilai PER

3.2 Pengaruh Nilai Bit Rate terhadap Nilai PER

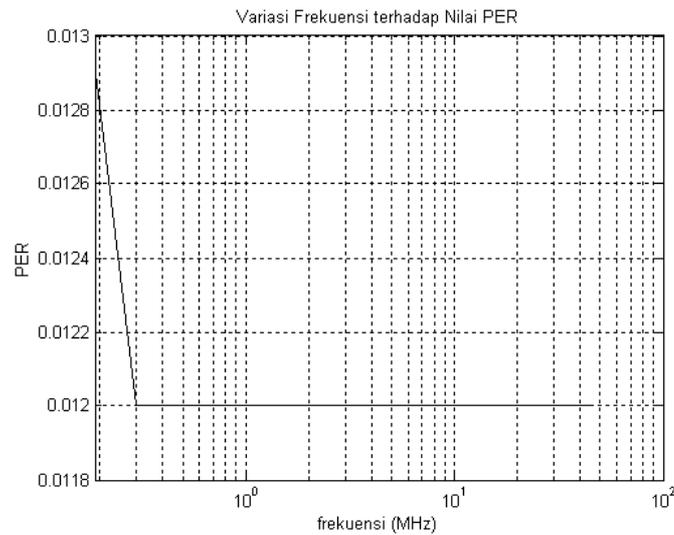
Gambar 12 menunjukkan hubungan antara variasi nilai bit rate terhadap nilai PER yang dihasilkan. Berdasarkan grafik tersebut, dapat dinyatakan bahwa semakin besar bit rate maka semakin besar pula nilai PER, saat bit rate > 128 kbps tampak nilai PER relatif konstan. Satu hal yang menarik adalah saat bit rate = 256 kbps diperoleh nilai PER yang kecil. Dengan demikian nilai optimum untuk bit rate adalah 256 kbps.



Gambar 12. Variasi nilai bit rate terhadap nilai PER

3.3 Pengaruh Nilai Frekuensi terhadap Nilai PER

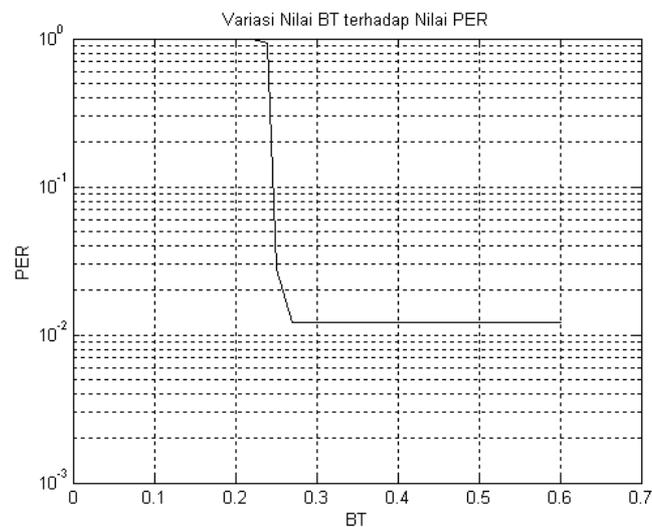
Gambar 13 merupakan grafik yang menunjukkan hubungan antara perubahan besarnya frekuensi modulasi GMSK terhadap nilai PER yang dihasilkan. Pada penelitian ini nilai frekuensi maksimum yang dicoba adalah 44 MHz, dan untuk frekuensi di atas 44 MHz tidak dapat dipenuhi oleh USRP + Basic TX yang ada. Dari grafik yang ada ternyata frekuensi tidak berpengaruh terhadap nilai PER, tetapi terdapat nilai frekuensi minimum yang diperlukan untuk membawa sinyal dengan bit rate 256 kbps, yaitu untuk bit rate 256 kbps diperlukan frekuensi carrier minimal 0.19 MHz. Hasil penelitian ini tentu akan sangat berbeda jika digunakan antenna dan medium transmisi udara (wireless). Redaman pada medium transmisi kabel koaksial sendiri akan semakin meningkat jika frekuensi diperbesar hanya pada percobaan ini range frekuensi yang digunakan masih sesuai dengan daerah kerja kabel koaksial.



Gambar 13. Variasi besarnya frekuensi modulasi GMSK terhadap nilai PER

3.4 Pengaruh Nilai BT terhadap Nilai PER

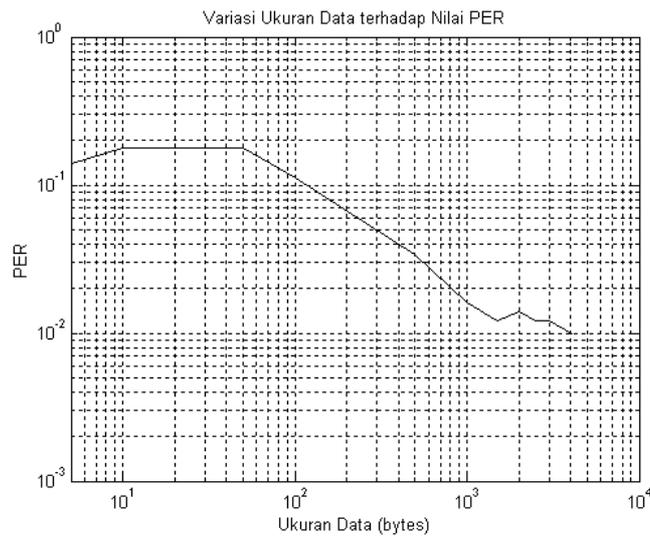
Gambar 14 menunjukkan hubungan antara variasi nilai perkalian BT pada filter Gaussian terhadap nilai PER yang dihasilkan. Berdasarkan grafik tersebut nampak bahwa semakin besar nilai BT maka semakin kecil nilai PER yang dihasilkan dan nilai PER relatif konstan saat nilai BT > 0.27. Dengan mempertimbangkan standar pada sistem komunikasi GSM maka digunakan nilai optimum BT = 0.3.



Gambar 14. Variasi nilai BT terhadap nilai PER

3.5 Pengaruh Besarnya Ukuran Data terhadap Nilai PER

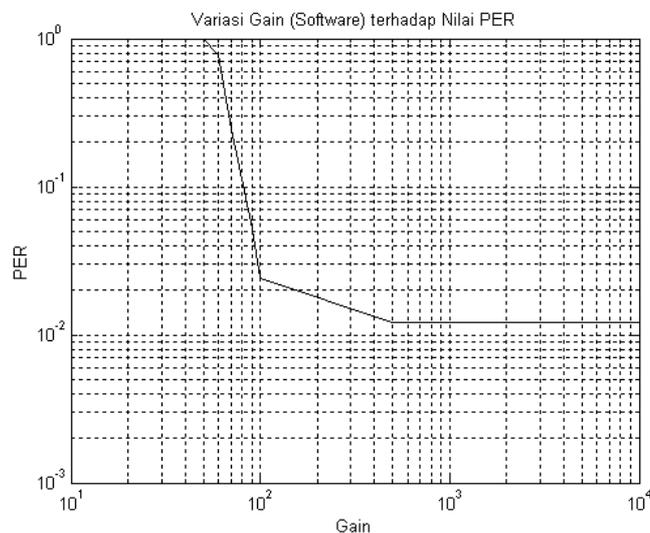
Fig. 15 menunjukkan hubungan antara besarnya ukuran data yang dikirimkan dalam tiap paket terhadap nilai PER yang dihasilkan. Berdasarkan grafik tersebut dapat dikatakan bahwa secara umum semakin besar ukuran data yang menjadi payload pada paket maka semakin kecil pula nilai PER yang diperoleh. Ukuran data 4092 bytes merupakan ukuran data maksimum yang dapat ditangani dalam sistem ini. Dengan demikian nilai optimum untuk ukuran payload adalah 4092 byte.



Gambar 15. Variasi besarnya ukuran data terhadap nilai PER

3.6 Pengaruh Nilai Gain terhadap Nilai PER

Gambar 16 menunjukkan hubungan antara variasi besarnya nilai gain psecara software terhadap nilai PER yang dihasilkan. Berdasarkan grafik tersebut nampak bahwa semakin besar gain semakin kecil pula nilai PER, nilai PER akan mencapai saturasinya saat nilai gain > 100. Dengan demikian nilai optimum gain adalah 100. Hal ini tentu akan berbeda jika digunakan antena dan medium udara dimana redaman lebih besar daripada medium kabel sehingga nilai gain yang diperlukan akan lebih besar dari 100.



Gambar 16. Variasi nilai gain (perangkat lunak) terhadap nilai PER

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dari implementasi modulasi GMSK dalam penelitian ini, beberapa kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

1. Unjuk kerja sistem SDR dengan modulasi GMSK dilihat dari nilai Packet Error Rate (PER) menunjukkan bahwa nilai PER terkecil dapat diperoleh apabila: (a) nilai E_b/N_0 simulasi adalah 20 dB; (b) nilai bit rate optimum 256 kbps; (c) nilai $BT \geq 0.25$; (d) ukuran data optimum 4092 byte; (e) gain (software) optimum adalah 100.
2. Secara teoritis nilai $BER \leq 10^{-2}$ untuk modulasi GMSK dapat diperoleh apabila kualitas sinyal yang dikirimkan memiliki nilai $E_b/N_0 \geq 5$ dB, sehingga penelitian ini perlu dilanjutkan untuk pengujian unjuk kerja dilihat dari nilai BER-nya.

3. Pengukuran unjuk kerja dalam penelitian ini menggunakan kabel koaksial untuk menghubungkan antara sistem pemancar dengan sistem penerima sehingga belum bisa mengamati unjuk kerja sistem SDR dengan modulasi GMSK menggunakan saluran udara. Hal ini dikarenakan daya output USRP dengan daughterboard Basic Tx hanya berkisar 10 mW. Dengan demikian, penelitian selanjutnya memerlukan penguat RF sehingga pengukuran nilai PER dapat diamati pada saat sistem SDR menggunakan saluran udara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Shah, A., "An Introduction to Software Radio", [Online] <http://www.vanu.com/publications/SWRprimer.pdf>, 2002.
- [2] Valentin, S., Malm, H. V., and Karl, H., "Evaluating The GNU Software Radio Platform for Wireless Testbeds", [On-line] http://typo3.cs.uni-paderborn.de/fileadmin/Informatik/AG-Karl/Pubs/TR-RI-06-273-gnuradio_testbed.pdf, February, 2006.
- [3] Malm, H. V., "Implementing Physycal and Data Link Control Layer in the GNU Radio Software-Defined Radio Platform", [On-line] http://typo3.cs.uni-paderborn.de/fileadmin/Informatik/AG-Karl/Pubs/vmalm05-sa-gsr_aloha.pdf, 2005.
- [4] Haykin, S., "Communication System," 4th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc, pp. 396-402, 2004.
- [5] Reed, J. H., "Software Radio: A Modern Approach to Radio Engineering", New Jersey, Prentice Hall, 2002.
- [6] Steinheider, J., "Software-defined Radio Comes of Age", Mobile Radio Technology, Feb 1st, [Online] http://www.vanu.com/resources/intro/software-defined_radio_comes_of_age.html, 2003.
- [7] Mitola III, J., "Software Radio Architecture. Object-Oriented Approaches to Wireless Systems Engineering", Canada: John Eiley & Sons, Inc, 2000.
- [8] Christensen, Flemming, "A scalable Software-Defined Radio Development System". [On-line] http://www.xilinx.com/publications/xcellonline/xcell_51/xc_pdf/xc_es-sundance51.pdf, 2004.
- [9] Lehr, W., "Software Radio: Implication for Wireless Services, Industry Structure, and Public Policy", [Online] http://itc.mit.edu/itel/docs/2002/Software_Radio_Lehr_Fuencis.pdf, 2002.
- [10] Guttag, J., "Software Radio for Adaptive Networking", [Online] http://web.mit.edu/deshpande_center/downloads/presos/ideastream2003_wireless.pdf, 2003.
- [11] Harada, H., Prasad, R., "Simulation and Software Radio for Mobile Communications", Boston: Artech House, 2002.

RIWAYAT PENULIS

Eko Marpanaji lahir di kota Bantul Yogyakarta pada 8 Juni 1967. Penulis menamatkan pendidikan S1 dalam bidang Pendidikan Teknik Elektronika FPTK IKIP Yogyakarta (FT UNY) pada tahun 1990, S2 Teknik Elektro ITB dalam bidang Teknik Sistem Komputer pada tahun 1999, dan saat ini sedang menempuh S3 di Teknik Elektro STEI ITB dengan topik disertasi adalah Software Radio. Saat ini bekerja sebagai staf pengajar Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika FT UNY.