

Implementasi Modulasi dan Demodulasi GMSK pada DSK TMS320C6416T

Aditya Sukmana, Suwadi, dan Titiek Suryani

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
 Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

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

Abstrak—Gaussian minimum shift keying (GMSK) adalah teknik modulasi yang mengurangi *spectrum sidelobe* pada MSK dengan cara melewati sinyal NRZ ke filter LPF Gaussian sehingga menimbulkan kelebihan dan kekurangan tertentu. Modulator dan demodulator GMSK dapat diprogram dengan menggunakan DSP processor. DSK TMS320C6416T adalah salah satu *board/hardware* untuk memproses sinyal digital yang termasuk dalam *platform* TMS320C6000. Aplikasi DSP processor ini bekerja pada frekuensi 0-96 kHz yang merupakan standar dalam sistem telekomunikasi. Tugas Akhir ini melakukan implementasi modulasi dan demodulasi GMSK secara *real* ke dalam DSP Starter Kit TMS320C6416T. Pemodelan sistemnya di-generate dengan menggunakan *software* Simulink MATLAB. Simulasi dan implementasi sistem yaitu dengan *input bernoulli binary generator, pulse generator, dan random integer*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja DSK TMS320C6416T secara *real* terhadap parameter GMSK yang diujikan seperti efisiensi *bandwidth* dan karakteristik ISI terhadap perubahan nilai *bandwidth/bit time* (BT) serta kinerja BER, terhadap variasi nilai Eb/N0 dan BT yang dilakukan dengan mengirimkan 100.000 bit yang ditampilkan pada blok *display* Simulink MATLAB dan *Visual Analyser*. Kinerja terbaik terdapat pada implementasi yang menggunakan nilai BT sama dengan 1 dan nilai Eb/N0 sama dengan 15 dan kinerja terburuk terdapat pada implementasi dengan nilai BT dan nilai Eb/N0 yang semakin menurun mendekati 0.

Kata kunci—DSK TMS320C6416T, GMSK, Modem, Simulink.

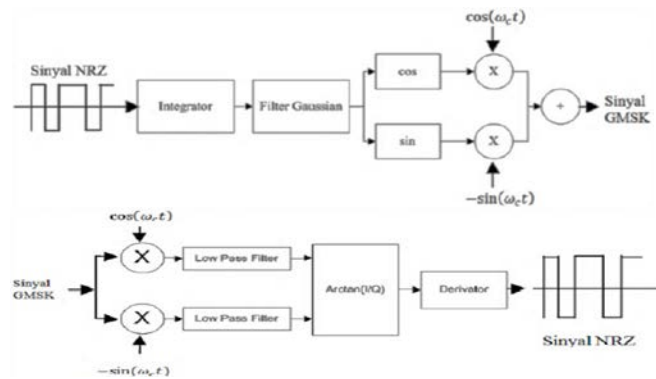
I. PENDAHULUAN

Pada Tugas Akhir ini dipelajari kelebihan dan kekurangan dari GMSK secara *real* menggunakan perangkat DSK TMS320C6416T dan Simulink MATLAB. Masalah yang akan dibahas adalah efisiensi *bandwidth* GMSK dan karakteristik ISI GMSK terhadap perubahan parameter BT serta performa BER terhadap parameter BT dan Eb/N0 pada kanal AWGN. Karena alasan tersebut tujuan dari Tugas Akhir ini adalah melakukan implementasi modulasi dan demodulasi GMSK secara *real* ke DSK TMS320C6416T. Pemodelan sistemnya di-generate dengan menggunakan *software* Simulink MATLAB melalui bantuan *software Code Composer Studio* yang merupakan *interface board* untuk DSK TMS320C6416T.

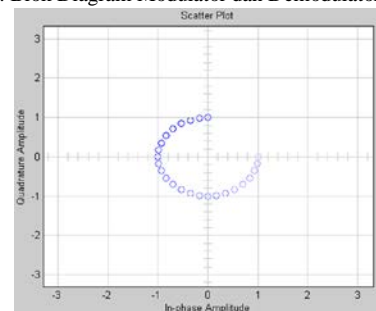
II. TEORI PENUNJANG

A. Gaussian Minimum Shift Keying

Teknik modulasi yang mengurangi *sidelobes* dari MSK. Terdapat parameter BT pada *Gaussian pulse shaping* untuk mengatur penggunaan *bandwidth* pada kanal transmisi.



Gambar 1. Blok Diagram Modulator dan Demodulator GMSK [3]



Gambar 2. Diagram Konstelasi GMSK

B. Diagram Konstelasi

Diagram konstelasi adalah sebuah diagram yang merepresentasikan pola modulasi digital pada bidang kompleks yang terdiri dari koordinat *real* dan *imaginer* yang berbeda sudut 90°. Persamaan (1)[8]

$$\text{Jumlah bit per simbol} = \log_2(M) \quad \dots(1)$$

C. Probabilitas Error Bit

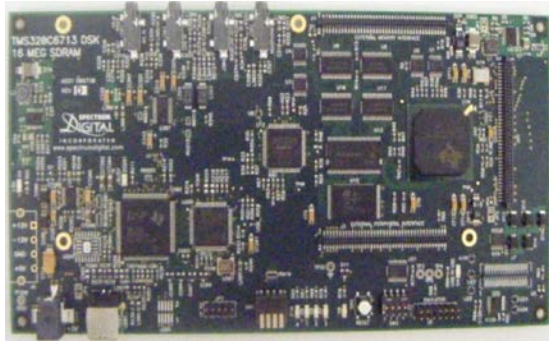
Perbandingan antara bit yang dikirim dengan bit yang rusak/tidak diterima dengan baik. persamaan (2)[7]

$$P_e = Q \sqrt{\frac{2 a E_b}{N_0}} \quad \dots (2)$$

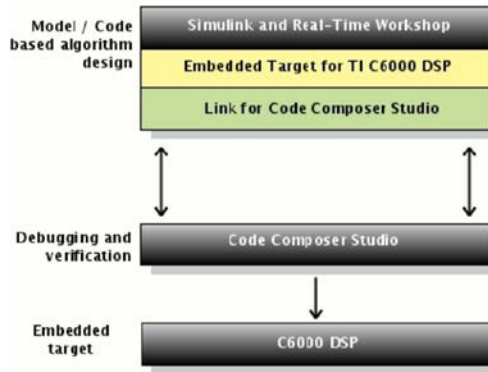
Dimana Q(x) merupakan persamaan *Q-function*, didefinisikan sebagai probabilitas *error* simbol pada *noise Gaussian* dan *a* adalah variabel konstanta (*roll of factor*) yang sama dengan nilai BT.

D. DSK TMS320C6416T

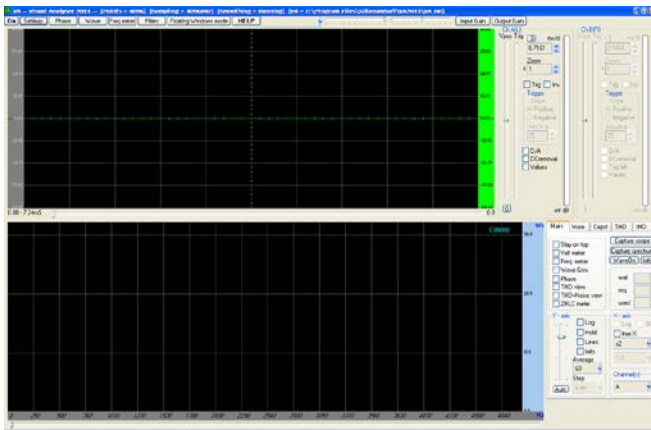
Hardware yang digunakan untuk implementasi pengolahan sinyal digital secara *real*, termasuk modulasi dan demodulasi GMSK pada Tugas Akhir ini. Secara fisik C6416 DSK bisa dilihat seperti gambar 3[6] berikut ini.



Gambar 3. DSK TMS320C6416T [6].



Gambar 4. CCS to DSP processing access [6].



Gambar 5. CCS to DSP processing access [6].

E. Code Composer Studio v3.1

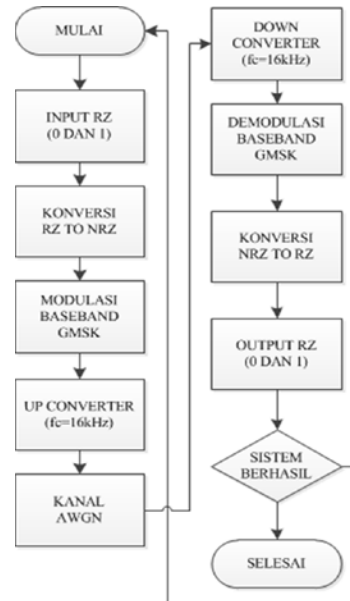
Interface board application untuk DSK TMS320C6416T. Proses akses CCS Studio pada DSK TMS320C6416T terlihat pada gambar 4[6].

F. Visual analyzer

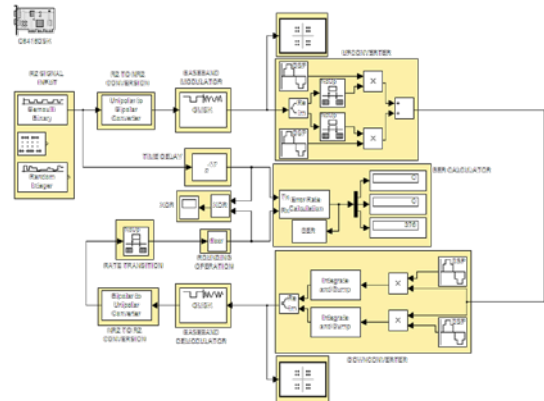
Desktop application yang digunakan untuk menampilkan signal dan spectrum display yang kompatibel untuk digunakan sebagai aplikasi signal display keluaran proses digital signal processing pada DSK TMS320C6416T. tampilan awal visual analyzer seperti pada gambar 5.

III. PERANCANGAN, SIMULASI DAN IMPLEMENTASI SISTEM

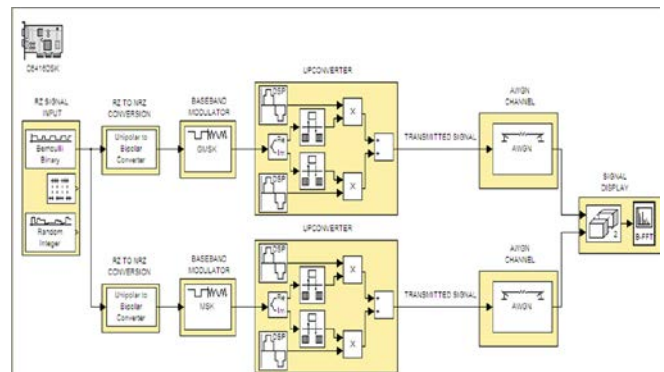
Simulasi dan implementasi sistem dibuat diagram alir yang berpedoman pada gambar 6. Diagram alir tersebut adalah dasar yang digunakan untuk membuat tugas akhir ini, yang bersumber pada dasar teori yang sudah dijelaskan sebelumnya.



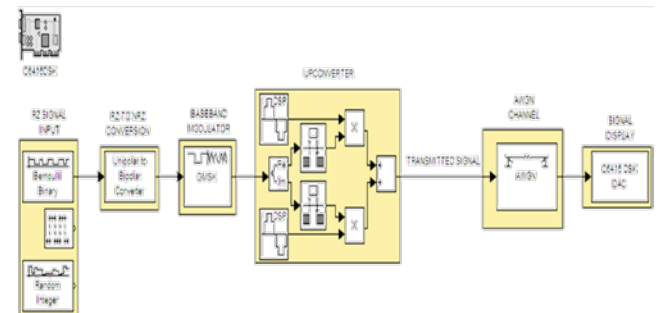
Gambar. 6. Diagram Alir Modulasi dan Demodulasi GMSK.



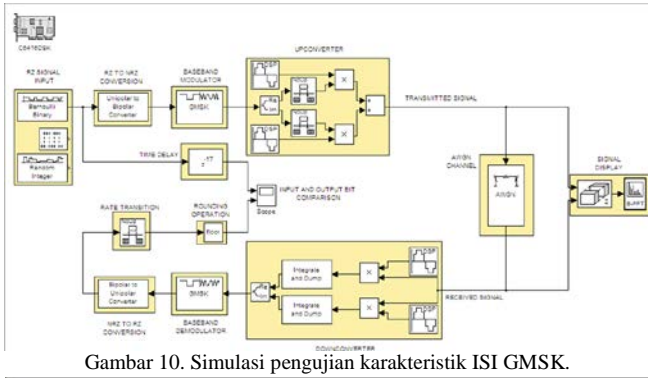
Gambar 7. Simulink sistem GMSK tanpa kanal



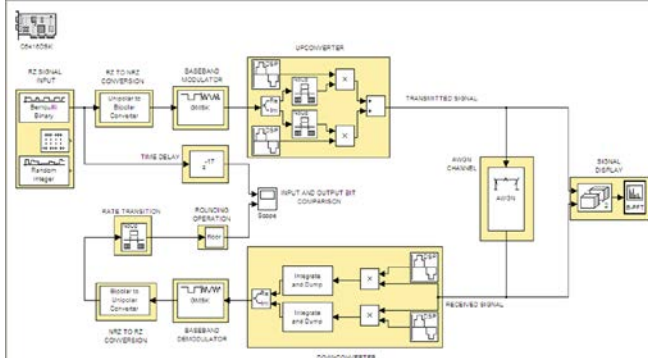
Gambar 8. Simulasi pengujian efisiensi bandwidth GMSK dan MSK.



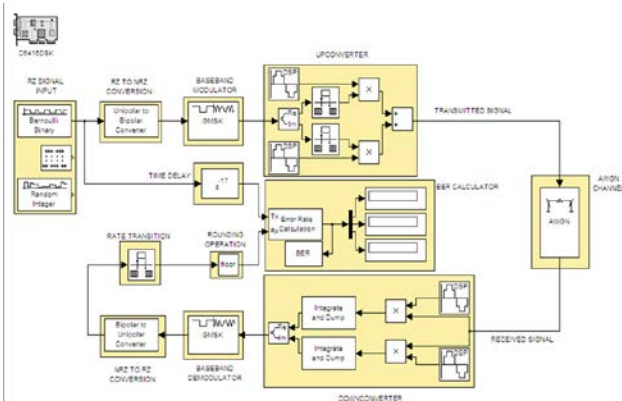
Gambar 9. Implementasi pengujian efisiensi bandwidth GMSK.



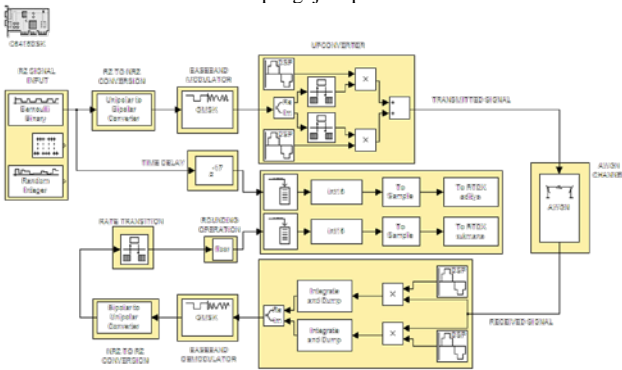
Gambar 10. Simulasi pengujian karakteristik ISI GMSK.



Gambar 11. Simulasi pengujian karakteristik ISI GMSK.



Gambar 12. Simulasi pengujian performa BER GMSK.



Gambar 13. Implementasi pengujian performa BER GMSK.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

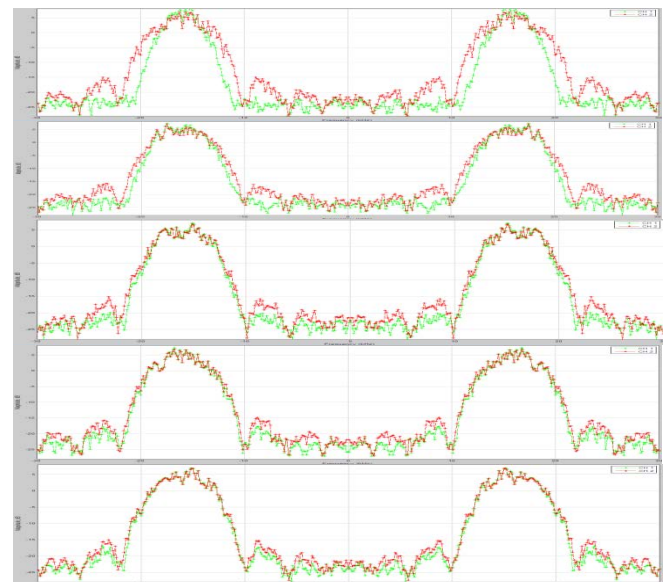
Pada simulasi dan implementasi efisiensi *bandwidth* dan karakteristik ISI digunakan *input* dari *bernoulli generator*, sedangkan untuk performa BER digunakan *input* dari *bernoulli generator*, *pulse generator* dan *random integer*. Semua pengujian menggunakan sinyal *input* 8kHz, frekuensi *carrier* 16kHz dengan basis sinyal *sinus* dan *cosinus* yang mewakili *quadrature* dan *inphase* konstelasi.

A. Pengujian dan analisa efisiensi *bandwidth* GMSK

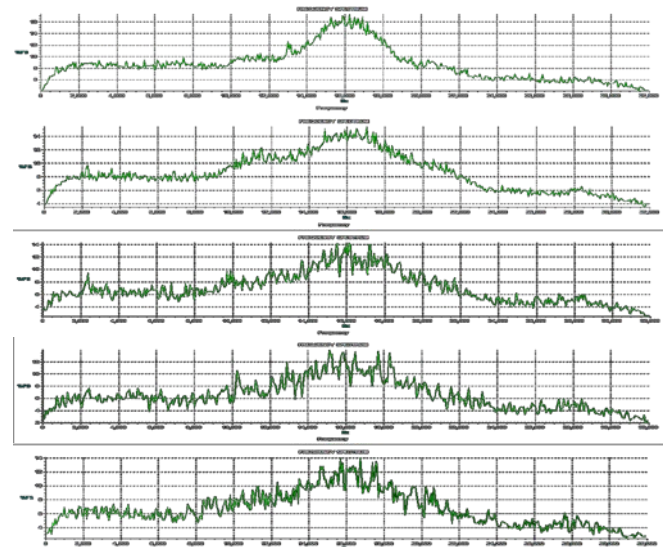
Pertama proses dimuliasi dari sinyal RZ *input bit generator* dengan frekuensi 8kHz. Kedua *bit* RZ dikonversi ke *bit* NRZ. ketiga Modulasi *baseband* GMSK tanpa frekuensi *carrier* dengan variasi nilai BT. Keempat *upconverter* dengan frekuensi *carrier* 16kHz. Kelima kanal propagasi berupa kanal AWGN dengan variasi *Eb/N0*. Keenam *downconverter*, untuk mengambil frekuensi *carrier*. Ketujuh demodulasi *baseband* GMSK dengan nilai BT sama dengan modulator. Kedelapan konversi NRZ ke RZ. Kesembilan *output* RZ yang harus sama dengan *generator bit input*.

Model simulink diatas digunakan untuk membahas 3 parameter GMSK secara simulasi dan implementasi dengan sedikit perubahan pada sisi *display*. Tiga model parameter GMSK dalam simulink seperti pada gambar 8-13.

Pengujian menggunakan blok diagram modem GMSK yang sama dibedakan menurut cara pengambilan data dari modem GMSK tersebut. Secara simulasi pengambilan data efisiensi *bandwidth* menggunakan *spectrum scope* Simulink antara modulasi MSK dan GMSK pada *transmitted signal*-nya dan menghasilkan *display* pada gambar 14.

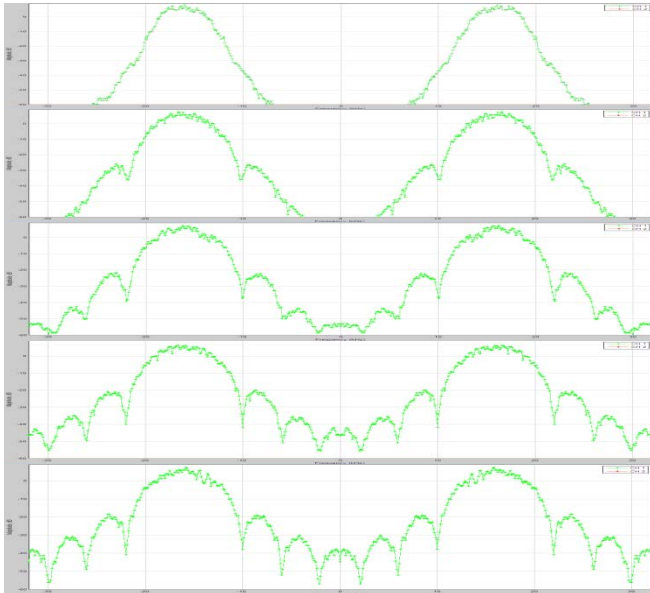


Gambar 14. Simulasi efisiensi *bandwidth* GMSK vs MSK dengan BT=0,2-0,4-0,6-0,8-1; MSK GMSK

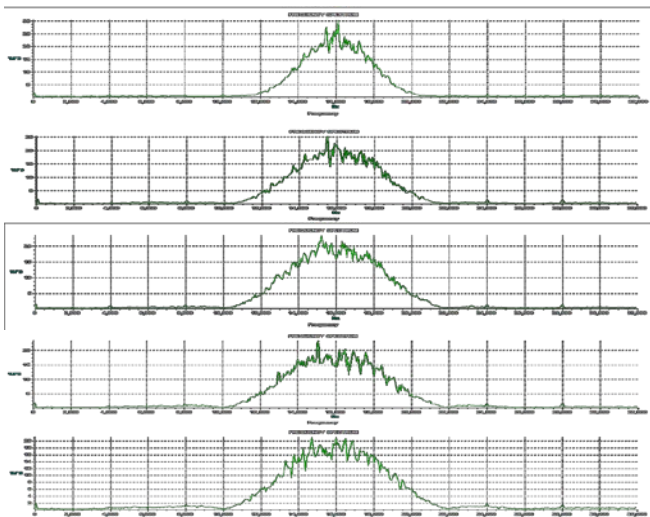


Gambar 15. Implementasi efisiensi *bandwidth* GMSK dengan BT=0,2-0,4-0,6-0,8-1

Pada implementasi, pengujian tanpa menggunakan MSK untuk melihat efisiensi *bandwidth* pada *signal display*,



Gambar 16. Simulasi karakteristik ISI GMSK dengan BT=0,2-0,4-0,6-0,8-1



Gambar 17. Implementasi karakteristik ISI GMSK dengan BT=0,2-0,4-0,6-0,8-1

menggunakan blok ADC yang terhubung ke *visual analyzer* melalui DSK TMS320C6416T yang menghasilkan output seperti gambar 14.

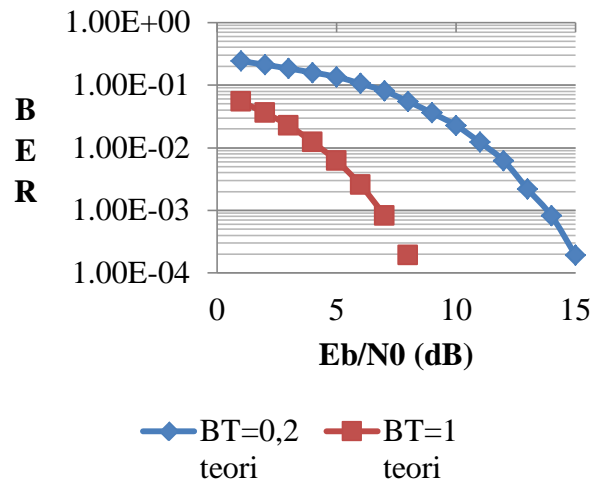
Pada simulasi dan implementasi pengujian dilakukan pada *received signal* yaitu setelah sinyal melewati kanal AWGN. Terlihat bahwa GMSK mempunyai *bandwidth* yang lebih efisien dari MSK, hal itu disebabkan karena perubahan parameter BT.

B. Pengujian dan analisa karakteristik ISI GMSK

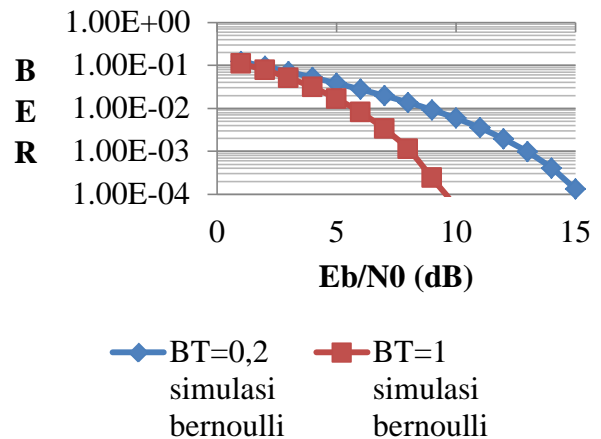
Hampir sama dengan pengujian efisiensi *bandwidth* bedanya simulasi tanpa MSK dan pengambilan data untuk *signal display* dilakukan di *transmitted* dan *received signal* yaitu sinyal sebelum dan sesudah kanal AWGN.

Pada implementasinya juga sama dengan pengujian efisiensi *bandwidth* bedanya blok ADC tidak hanya ditempatkan pada *received signal* saja tetapi pada *transmitted signal* juga. Untuk hasil pengujian secara implementasi bisa dilihat pada gambar 15.

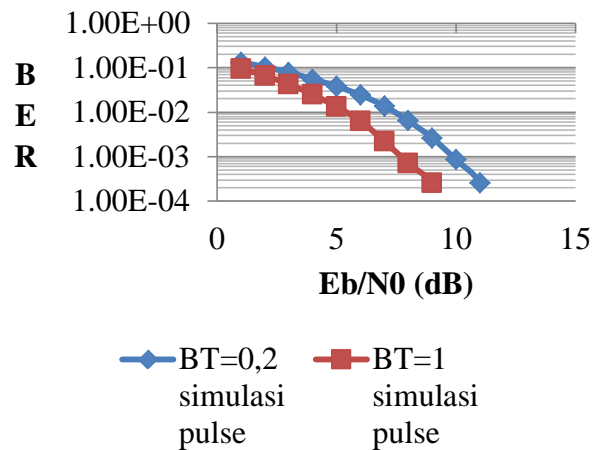
Pada kedua pengujian baik secara simulasi maupun implementasi terlihat bahwa pada variasi parameter BT yang kecil misal 0,2 akan menghasilkan spektrum frekuensi yang lebih tajam, hal ini memang lebih baik jika dilihat pada sisi efisiensi *bandwidth*-nya akan tetapi penggunaan parameter



Gambar 18. Grafik BER vs Eb/N0 vs BT GMSK secara teori



Gambar 19. Grafik BER vs Eb/N0 vs BT input bernoulli generator simulasi

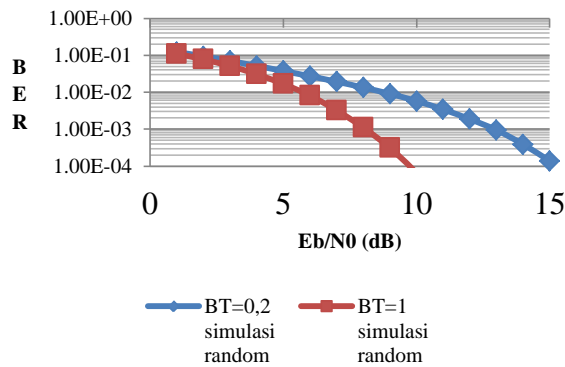


Gambar 20. Grafik BER vs Eb/N0 vs BT input pulse generator simulasi

BT yang terlalu kecil akan menghasilkan efek ISI yang akan terasa pada perolehan nilai BER yang akan diujikan nanti.

C. Pengujian dan analisa performa BER GMSK

Pada pengujian BER ini mekanismenya sedikit berbeda yaitu *output sistem* tidak lagi ditampilkan ke *signal display* baik *spektrum scope* maupun *visual analyzer*. Pada simulasi maupun implementasi menggunakan blok modulasi dan demodulasi yang sudah dijelaskan sebelumnya, data yang diproses yaitu deretan *bit RZ* keluaran *bit generator* yang dibandingkan dengan deretan *bit* hasil keluaran proses modulasi dan demodulasi. Pada simulasi kalkulator BER yang digunakan yaitu blok *error rate calculation* diiringi



Gambar 21. Grafik BER vs Eb/N0 input random integer simulasi

dengan blok *signal to workspace* agar hasil dari perhitungan perbandingan antara bit input dan output bisa ditampilkan dalam format tabel pada MATLAB. Hasil perhitungan performansi BER secara simulasi dari berbagai *input generator* yang dibandingkan dengan BER teori GMSK dapat dilihat seperti pada gambar 18,19,20 dan 21. Pengujian yang dilakukan yaitu dengan variasi parameter BT yaitu 0,2 dan 1 sedangkan untuk parameter Eb/N0 yang ada pada kanal AWGN variasi nilainya yaitu dari 1,2,3 sampai 15. Pada implementasi proses pengujian menggunakan variasi nilai parameter yang sama dengan simulasi bedanya adalah jika pada simulasi perhitungan BER dilakukan pada error rate calculation sedangkan pada implementasi menggunakan BER calculator yang dilengkapi dengan blok *buffer*, *int16*, *to sample* dan *RTDX*. Grafik hasil dari perhitungan BER secara implementasi ditampilkan pada gambar 22, 23, 24.

Pada hasil perbandingan antara pengujian performansi BER baik secara simulasi maupun implementasi terlihat jelas bahwa untuk penggunaan parameter BT yang terlalu kecil akan menaikkan nilai BER begitupun sebaliknya, sedangkan untuk penggunaan variasi parameter Eb/N0 yang semakin besar akan menurunkan nilai BER yang berarti performansi BER semakin bagus begitupun sebaliknya, maka untuk memperoleh performansi BER yang bagus harus mengkombinasikan antara nilai BT yang mendekati 1 dan nilai Eb/N0 yang semakin besar.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

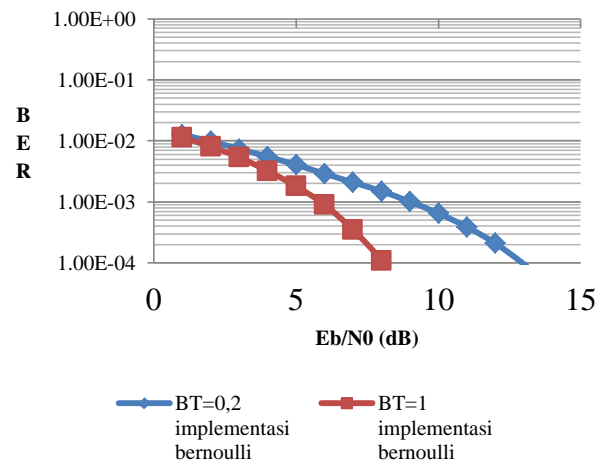
Hasil simulasi dan implementasi pengujian efisiensi *bandwidth* GMSK terhadap MSK terlihat bahwa untuk nilai $BT \leq 1$, spektrum frekuensi GMSK lebih efisien daripada MSK. Pada pengujian karakteristik ISI terlihat untuk nilai $BT \leq 1$ *sidelobe* akan semakin menghilang dan hanya terlihat *mainlobe*-nya saja hal ini akan mengakibatkan naiknya efek ISI yang berakibat pada BER sistem yang jelek. Pada pengujian BER terlihat bahwa akan semakin baik jika nilai BT sama dengan 1 dan jelek BT sama dengan 0,2. Pada pengujian BER terlihat nilai BER meningkat seiring dengan peningkatan nilai Eb/N0 dan begitupun sebaliknya..

LAMPIRAN

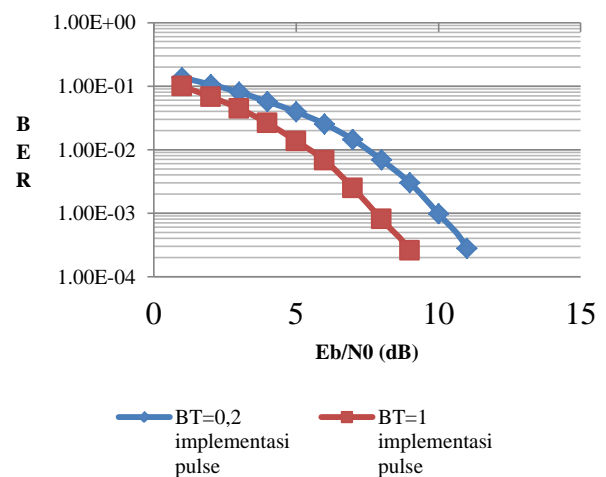
Tabel 1.

Nilai BER Teori GMSK(BT=0,2)

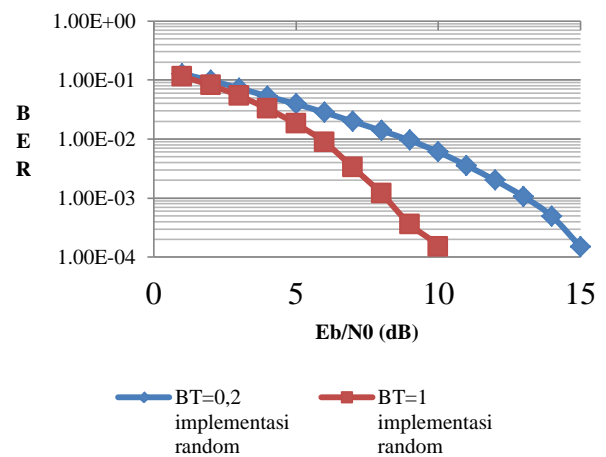
| Eb/N0 (dB) | BER Teori | Eb/N0 (dB) | BER Teori |
|------------|-----------|------------|------------|
| 1 | 0,24196 | 9 | 0,03593 |
| 2 | 0,21186 | 10 | 0,02275 |
| 3 | 0,18406 | 11 | 0,012224 |
| 4 | 0,15866 | 12 | 0,0062097 |
| 5 | 0,13567 | 13 | 0,002186 |
| 6 | 0,10565 | 14 | 0,00081635 |
| 7 | 0,080757 | 15 | 0,00019262 |
| 8 | 0,054799 | | |



Gambar 22. Grafik BER vs Eb/N0 vs BT input bernoulli generator implementasi



Gambar 23. Grafik BER vs Eb/N0 vs BT input pulse generator implementasi



Gambar 24. Grafik BER vs Eb/N0 vs BT input random integer implementasi

Tabel 2.

Nilai BER Teori GMSK(BT=1)

| Eb/N0 (dB) | BER Teori | Eb/N0 (dB) | BER Teori |
|------------|------------|------------|--------------------------|
| 1 | 0,054799 | 9 | 3,1671×10 ⁻⁵ |
| 2 | 0,03593 | 10 | 4,2935×10 ⁻⁶ |
| 3 | 0,02275 | 11 | 2,8665×10 ⁻⁷ |
| 4 | 0,012224 | 12 | 8,0224×10 ⁻⁹ |
| 5 | 0,0062097 | 13 | 1,4882×10 ⁻¹⁰ |
| 6 | 0,0025551 | 14 | 6,2378×10 ⁻¹³ |
| 7 | 0,00081635 | 15 | 9,3256×10 ⁻¹⁶ |
| 8 | 0,00019262 | | |

Tabel 3.

Nilai BER Simulasi GMSK(BT=0,2) *Input Bernoulli*

| Eb/N0 (dB) | BER Simulasi | Eb/N0 (dB) | BER Simulasi |
|------------|--------------|------------|--------------|
| 1 | 0,122644 | 9 | 0,009214 |
| 2 | 0,094368 | 10 | 0,005876 |
| 3 | 0,07083 | 11 | 0,003526 |
| 4 | 0,052306 | 12 | 0,00194 |
| 5 | 0,038282 | 13 | 0,000966 |
| 6 | 0,027568 | 14 | 0,000408 |
| 7 | 0,019716 | 15 | 0,000132 |
| 8 | 0,013702 | | |

Tabel 4.

Nilai BER Simulasi GMSK(BT=1) *Input Bernoulli*

| Eb/N0 (dB) | BER Simulasi | Eb/N0 (dB) | BER Simulasi |
|------------|--------------|------------|--------------|
| 1 | 0,110494 | 9 | 0,000238 |
| 2 | 0,077898 | 10 | 0,000044 |
| 3 | 0,051188 | 11 | 0,000002 |
| 4 | 0,031124 | 12 | |
| 5 | 0,01675 | 13 | |
| 6 | 0,008184 | 14 | |
| 7 | 0,003334 | 15 | |
| 8 | 0,001126 | | |

Tabel 5.

Nilai BER Simulasi GMSK(BT=0,2) *Input Pulse*

| Eb/N0 (dB) | BER Simulasi | Eb/N0 (dB) | BER Simulasi |
|------------|--------------|------------|--------------|
| 1 | 0,1329 | 9 | 0,00264 |
| 2 | 0,1042 | 10 | 0,00086 |
| 3 | 0,07832 | 11 | 0,00026 |
| 4 | 0,0554 | 12 | 0,00002 |
| 5 | 0,0381 | 13 | |
| 6 | 0,02444 | 14 | |
| 7 | 0,01378 | 15 | |
| 8 | 0,00644 | | |

Tabel 6.

Nilai BER Simulasi GMSK(BT=1) *Input Pulse*

| Eb/N0 (dB) | BER Simulasi | Eb/N0 (dB) | BER Simulasi |
|------------|--------------|------------|--------------|
| 1 | 0,09616 | 9 | 0,00026 |
| 2 | 0,06586 | 10 | 0,00004 |
| 3 | 0,04256 | 11 | |
| 4 | 0,02504 | 12 | |
| 5 | 0,01322 | 13 | |
| 6 | 0,00638 | 14 | |
| 7 | 0,00222 | 15 | |
| 8 | 0,00072 | | |

Tabel 7.

Nilai BER Simulasi GMSK(BT=0,2) *Input Random Integer*

| Eb/N0 (dB) | BER Simulasi | Eb/N0 (dB) | BER Simulasi |
|------------|--------------|------------|--------------|
| 1 | 0,122707 | 9 | 0,009052 |
| 2 | 0,094039 | 10 | 0,005774 |
| 3 | 0,070379 | 11 | 0,00342 |
| 4 | 0,051615 | 12 | 0,001872 |
| 5 | 0,037607 | 13 | 0,000948 |
| 6 | 0,027101 | 14 | 0,00039 |
| 7 | 0,019309 | 15 | 0,000138 |
| 8 | 0,013396 | | |

Tabel 8.

Nilai BER Simulasi GMSK(BT=1) *Input Random Integer*

| Eb/N0 (dB) | BER Simulasi | Eb/N0 (dB) | BER Simulasi |
|------------|--------------|------------|--------------|
| 1 | 0,11019 | 9 | 0,000312 |
| 2 | 0,077708 | 10 | 0,000064 |
| 3 | 0,050838 | 11 | 0,000008 |
| 4 | 0,030778 | 12 | |
| 5 | 0,01677 | 13 | |
| 6 | 0,008138 | 14 | |
| 7 | 0,003236 | 15 | |
| 8 | 0,001112 | | |

Tabel 9.

Nilai BER Implementasi GMSK(BT=0,2) *Input Bernoulli*

| Eb/N0 (dB) | BER Imp I | Eb/N0 (dB) | BER Imp I |
|------------|-----------|------------|-----------|
| 1 | 0,01261 | 9 | 0,00101 |
| 2 | 0,0098 | 10 | 0,00065 |
| 3 | 0,00738 | 11 | 0,00039 |
| 4 | 0,00551 | 12 | 0,00021 |
| 5 | 0,00406 | 13 | 0,000096 |
| 6 | 0,0029 | 14 | 0,000038 |
| 7 | 0,00209 | 15 | 0,000012 |
| 8 | 0,0015 | | |

Tabel 10.

Nilai BER Implementasi GMSK(BT=1) *Input Bernoulli*

| Eb/N0 (dB) | BER Imp I | Eb/N0 (dB) | BER Imp I |
|------------|-----------|------------|-----------|
| 1 | 0,01137 | 9 | 0,000024 |
| 2 | 0,00808 | 10 | 0,000006 |
| 3 | 0,00537 | 11 | 0,00002 |
| 4 | 0,00322 | 12 | |
| 5 | 0,00181 | 13 | |
| 6 | 0,0009 | 14 | |
| 7 | 0,00035 | 15 | |
| 8 | 0,00011 | | |

Tabel 11.

Nilai BER Implementasi GMSK(BT=0,2) *Input Pulse*

| Eb/N0 (dB) | BER Imp I | Eb/N0 (dB) | BER Imp I |
|------------|-----------|------------|-----------|
| 1 | 0,1352 | 9 | 0,003 |
| 2 | 0,106 | 10 | 0,00098 |
| 3 | 0,0799 | 11 | 0,00028 |
| 4 | 0,0568 | 12 | 0,00002 |
| 5 | 0,0394 | 13 | |
| 6 | 0,0254 | 14 | |
| 7 | 0,0144 | 15 | |
| 8 | 0,0069 | | |

Tabel 12.

Nilai BER Implementasi GMSK(BT=1) *Input Pulse*

| Eb/N0 (dB) | BER Imp II | Eb/N0 (dB) | BER Imp I |
|------------|------------|------------|-----------|
| 1 | 0,0989 | 9 | 0,00026 |
| 2 | 0,0679 | 10 | 0,00004 |
| 3 | 0,0444 | 11 | |
| 4 | 0,0261 | 12 | |
| 5 | 0,0137 | 13 | |
| 6 | 0,0068 | 14 | |
| 7 | 0,0025 | 15 | |
| 8 | 0,0008 | | |

Tabel 13.

Nilai BER Implementasi GMSK(BT=0,2) *Input Random Integer*

| Eb/N0 (dB) | BER Imp I | Eb/N0 (dB) | BER Imp I |
|------------|-----------|------------|-----------|
| 1 | 0,12695 | 9 | 0,0095 |
| 2 | 0,0975 | 10 | 0,00605 |
| 3 | 0,07255 | 11 | 0,00355 |
| 4 | 0,05295 | 12 | 0,002 |
| 5 | 0,03915 | 13 | 0,00106 |
| 6 | 0,02815 | 14 | 0,00049 |
| 7 | 0,0198 | 15 | 0,00015 |
| 8 | 0,01385 | | |

Tabel 14.

Nilai BER Implementasi GMSK(BT=1) *Input Random Integer*

| Eb/N0 (dB) | BER Imp I | Eb/N0 (dB) | BER Imp II |
|------------|-----------|------------|------------|
| 1 | 0,11415 | 9 | 0,00036 |
| 2 | 0,08145 | 10 | 0,00015 |
| 3 | 0,05395 | 11 | 0,00003 |
| 4 | 0,03255 | 12 | |
| 5 | 0,0181 | 13 | |
| 6 | 0,0089 | 14 | |
| 7 | 0,0033 | 15 | |
| 8 | 0,0012 | | |

DAFTAR PUSTAKA

- Chassaing, Rulph. "Digital Signal Processing and Applications with the TMS320C6713 and TMS320C6416 DSK". JOHN WILEY & SONS, INC. USA. Second Edition, 2008.
- Habibi, Rizal, Muhammad. "Evaluasi Kinerja Sistem Gaussian Minimum Shift Keying(GMSK) untuk Pengiriman Citra dari Satelit Nano Ke Stasiun Bumi". Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. 2012
- Hasnain, S K. Jamil, Nighat. "Implementation of DSP Real Time Concepts Using CCS 3.1, TI DSK TMS320C6713 and DSP Simulink Blocksets". Pakistan Navy Engineering College. 2007.
- Priya, Keerthana, V. (2006). Implementation of real time DSP GMSK modem on TMS320C6713 with symbol synchronization.
- _____. "Praktikum Pengolahan Sinyal Digital – DSK TMS320C6416T". Laboratorium Pengolahan Sinyal AJ-403 (S1 Lintas Jalur) FTI-ITS. Surabaya. 2013
- Sasongko, AL, Mariyanto, Sudi. "Analisis Pengaruh Penambahan Kode Penebar pada Modulasi GMSK terhadap DSCDMA dan OFDM Ditinjau dari BER Sistem". Jurnal teknologi technoscientia, 2008.
- _____. "Sistem Komunikasi Digital". Diktat kuliah ke 2&4 Sistem Komunikasi Digital. 2013
- _____. "TMS320C6416T DSK Technical Reference". SPECTRUM DIGITAL, INC. 2004.