

PENGEMBANGAN SISTEM DELTA MODULATION KE PEMODELAN SIGNAL CONVERSION DELTA-SIGMA MODULATION

Nuraeni Umar¹⁾, Airin Dewi Utami Thamrin²⁾, Sirmayanti³⁾
^{1),2),3)} Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

ABSTRACT

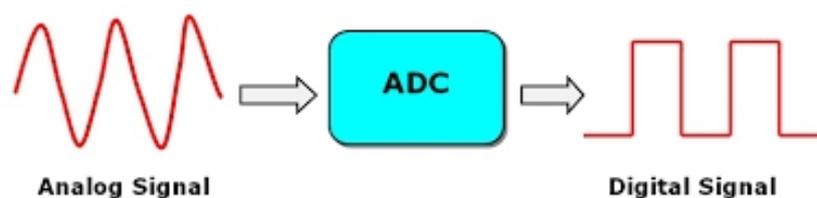
To establish the level of the digital pulse from an analog signal after conversion system, it is required a digital modulation system with fast and reliable bit rate in every bit build digital stream. Delta modulation is the commonly sufficient technique to produce a long bit stream with a relatively low bit rate. However, one of its weaknesses is that analog input signals as reference signals require a large offset frequency then obtaining small dynamic range so that the resulting noise shape has not maximal; when its sample of rate (SOR) is raised, the floor noise level cannot be controlled. This research aims to study Delta Sigma Modulation concept that has been tested to suppress the noise floor and a good form noise shape while having a stable dynamic range. This basic research will emphasize the comparison of these two forms of digital modulation and their utilization in more effective for signal conversion systems. The results show comparison of noise transfer function (NTF) mean of Delta-Sigma Modulation power spectrum decreased to 10 dB below from Delta-Modulation. Validation of simulation results through frequency spectrum comparison shows that Delta-Sigma Modulation has better noise shaping where noise floor can be easily nulled at position around the desired data channel.

Keywords: *Delta, Sigma, modulation, conversion, digital.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi komunikasi wireless dan seluler di dunia saat ini memerlukan sebuah konsep baru yang bisa didefinisikan sebagai implemensi digitalisasi sistem pengolahan sinyal yang lebih handal. Hal inilah yang mendasari konsep radio yang diimplementasikan sebagai software (*Software-Defined-Radio*, SDR) sebagai solusi yang lebih praktis, Ghannouchi (2010). Implementasi software pada sistem komunikasi seluler menjadikannya mampu menyesuaikan jenis standar dimana telepon seluler tersebut berada, Frattasi (2016). Salah satu parameter yang sangat penting dari SDR adalah sistem konverter sinyal yang handal untuk menghasilkan keseluruhan sinyal digital, karena pengolahan sinyal yang dilakukan oleh software merupakan pengolahan sinyal digital secara menyeluruh, Schreier (2005).

Dalam hal sistem konversi analog ke digital berarti sinyal informasi yang berupa sinyal analog harus dirubah menjadi sinyal digital. Sinyal digital ini berisi informasi level pulsa high ('1') dan low ('0') saja. Ilustrasi sistem konversi sinyal secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konversi sinyal analog ke digital.

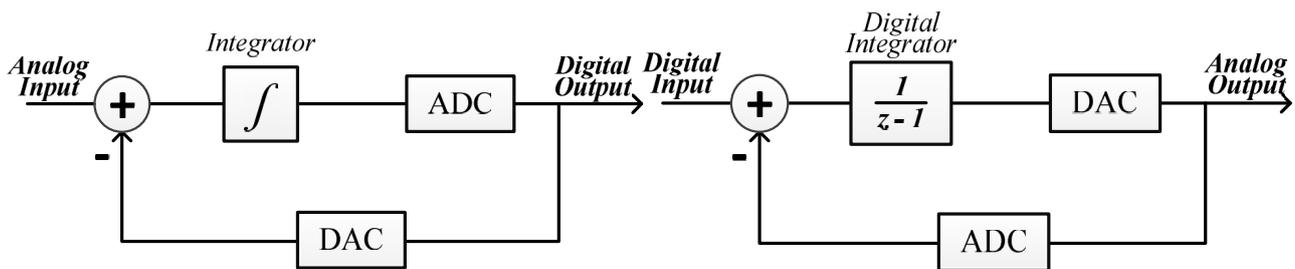
Apabila saluran transmisi sangat panjang, maka informasi sinyal level high dan low bisa diregenerasikan menjadi level-level pulsa yang tegas antara high dan low. Untuk membentuk level pulsa tersebut, maka dibutuhkan sistem modulasi digital dengan kecepatan bit yang relative cepat dan handal dalam setiap membangun bit stream digital. Sistem modulasi digital yang umum digunakan saat ini dikenal dengan *Delta Modulation* (DM) atau modulasi Delta. Secara umum, DM memiliki sistem komunikasi digital dengan kecepatan bit yang relatif rendah namun cukup memadai menghasilkan bit stream yang panjang. DM merupakan prinsip yang paling dasar dari sistem modulasi digital, yang kemudian dikembangkan lebih luas dalam bentuk *Pulse Code Modulation* (PCM) melalui proses modulasi-demodulasi lainnya, Norsworthy (1996). Salah satu kelemahan DM ialah sinyal input analog sebagai sinyal referensi dikomparasikan dengan

¹ Nuraeni Umar, Telp 085340918499, aeni12345@yahoo.com

sinyal clock melalui sebuah rangkaian komparator dengan kecepatan rate rendah (sekitar 64 Kbps) dengan frekuensi offset besar (f_o). Tiap sample dibandingkan dengan sample bit sebelumnya dan selisih kedua sample (+ atau -) dinyatakan dalam digit ('1' atau '0'). Makin besar f_o hasil decoder, makin mendekati sinyal semula juga, Jayant (1970).

Kelemahan dasar DM adalah *dynamic range*-nya yang kecil sehingga noise shape yang dihasilkan tidak maksimal. Salah satu metode untuk mengatasi hal tersebut dapat dipergunakan integrasi rangkap, Reni (2007). Konsep integrasi rangkap dapat mencapai *dynamic range* dan *signal-to-noise* hanya dalam kondisi tertentu. Ketika *sample of rate* (SOR) dinaikkan, level *noise floor* tidak dapat dikendalikan. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dikembangkan metode *Delta Sigma Modulation* (DSM) dimana keunggulannya telah teruji dapat menekan *noise floor* dan membentuk *noise shape* yang baik sekaligus memiliki *dynamic range* yang stabil ketika SOR ditingkatkan pada saat order *loopback*-nya ditingkatkan. Penelitian dasar ini akan menekankan pada perbandingan kedua bentuk modulasi digital ini dan pemanfaatannya pada sistem konversi sinyal.

Teknik DSM digunakan untuk proses *analog-to-digital conversion* (ADC) dan *digital-to-analog conversion* (DAC). Perangkat modulatnya dapat berupa area chip yang kecil dan mengkonsumsi daya input yang rendah makin sehingga memudahkannya diaplikasikan sebagai unsur komponen elektronik digital. Teknik DSM dapat membentuk noise hasil kuantisasi sehingga jauh dari signal band yang diinginkan. Secara umum, operasi modulasinya dengan cara mengurangi hasil sampling kuantisasi error dari sampling signal yang dihasilkan sebelumnya (*feedback*) dan seterusnya sampai berulang-ulang hingga error kuantisasi yang diperoleh menjadi nol. Error signal akan diperoleh setelah di link *feedback* sehingga teknik DSM dapat beroperasi pula sebagai sebuah *filter* karena memisahkan *transfer function* untuk signal dan noisenya, Schreier (2005).



Gambar 2. Delta-Sigma modulator order-1 (MOD1) sebagai ADC dan DAC.

Gambar 2 struktur *digital signal processing* (DSP) sebuah teknik konversi dengan filter (*digital integrator*) dan linear z-domainnya. DSM dapat dinormalisasikan secara linear untuk memudahkan dalam analisis matematika, dimana kuantiser dapat diasumsikan sebagai non-korelasi *white noise*, $E(z)$, dan keluarannya berupa hasil penjumlahan kuantisasi noise terbentuk dari *noise transfer function* (NTF) dengan signal input terbentuk dari *signal transfer function* (STF), Schreier (2005). *Noise shaping filter* dapat didefinisikan sesuai pada Gambar 3. Filter digital $H(z)$ diperoleh dari sebuah integrator dengan *transfer function* $\frac{1}{z-1}$ dan beroperasi sebagai *noise shaping filter* pada $E(z)$ dan juga sebagai *signal shaping filter* pada $U(z)$.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pemodelan struktur DM dan DSM dalam perbandingan *noise shaping* dan untuk menentukan pemodelan DSM dengan order tertentu dalam proses konversi sinyal yang menghasilkan bit-stream digital. Urgensi penelitian adalah untuk pengembangan sebuah sistem modulasi digital yang handal dalam transmisi digital wireless berbasis SDR. SDR memiliki keunggulan penggunaan frekuensi dari keterbatasan sumber frekuensi tinggi dalam komunikasi wireless. Penelitian ini juga sangat penting dalam pembangunan standar wireless masa depan seperti kestabilan wireless G4 dan G5. Hasil penelitian ini dapat bermanfaat dalam mengembangkan pemodelan digitalisasi konversi sinyal yang lebih optimal, terbaru dan diaplikasikan dalam sistem telekomunikasi wireless masa depan.

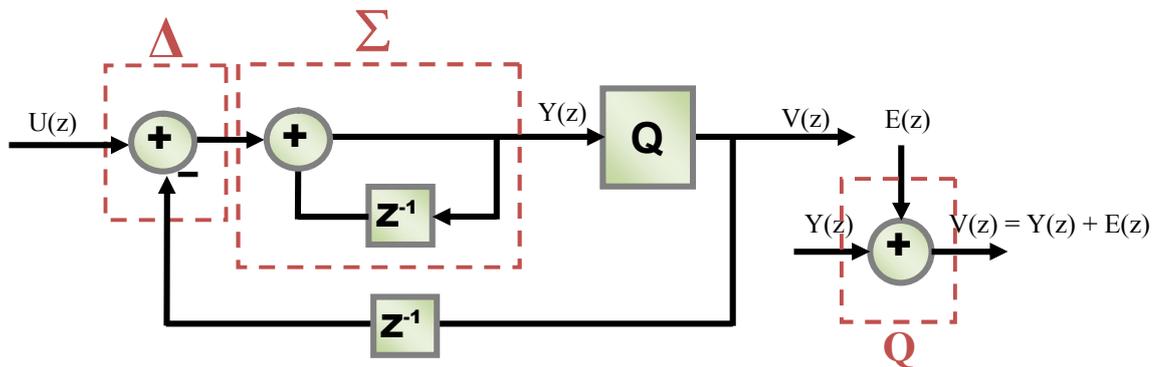
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini telah dilaksanakan di Laboratorium Siskomdat (Sistem Komunikasi dan Data) jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang. Waktu pelaksanaan telah dilakukan selama 8 bulan (April – November) tahun 2017. Langkah-langkah kerja penelitian meliputi persiapan dan pengadaan bahan & alat,

pengerjaan simulasi dan analisis data serta membuat laporan. Persiapan meliputi pengadaan bahan & alat dan pendalaman literature. Pengerjaan simulasi penulisan code pemrograman dan simulasi pemodelan. Tahap akhir meliputi evaluasi dan laporan tertulis. Laporan ini dapat tertuang dalam bentuk draft tulisan karya ilmiah dan laporan penelitian.

Penelitian ini telah dilaksanakan melalui percobaan simulasi menggunakan software Matlab. Proses pembangkitan sinyal dan modeling modulator dilakukan keseluruhannya dengan software tersebut; hal ini mengingat untuk kemudahan melakukan simulasi dengan beragam variable input dibandingkan dengan pengukuran langsung menggunakan alat yang masih memiliki keterbatasan spesifikasi. Spesifikasi input signal dan spectrum analyser yang dibutuhkan adalah mencapai pada frekuensi tinggi GHz, sementara peralatan di laboratorium yang tersedia belum memadai. Kebutuhan software yang akan digunakan harus dilengkapi dengan beberapa Tool box seperti sistem DSP dan Communication tools.

Dalam tahapan simulasi pemodelannya, metode yang digunakan menggunakan dua blok sistem, yaitu DM dan DSM. Sebagaimana yang diusulkan, metode penelitian ini berdasarkan blok dasar sistem Delta modulator dan dikembangkan menjadi skema Delta-Sigma modulator, sebagaimana terlihat pada Gambar 3.



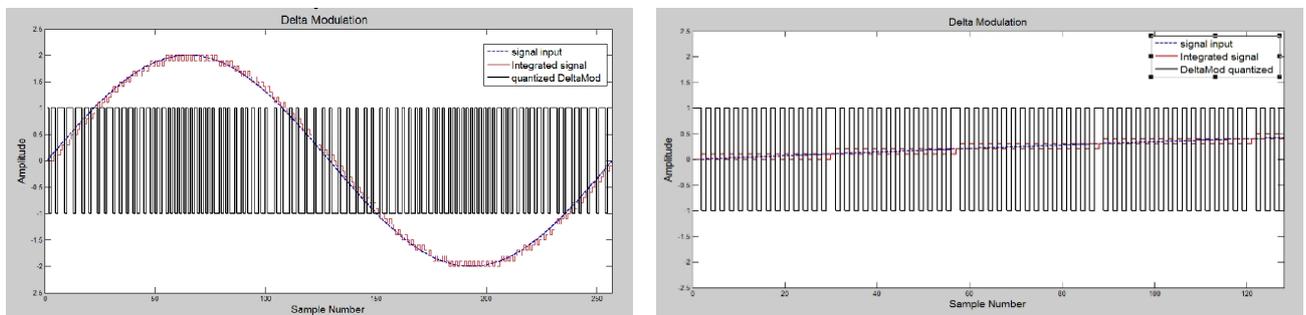
Gambar 3. Skenario skema modifikasi Delta Modulator ke Delta-Sigma Modulator dan penggunaan z-domain Delta-Sigma Modulator MOD1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan Delta Modulator order-1

Informasi input sinyal analog akan melalui mekanisme level komparator dan detektor. Setiap sinyal input ditempatkan sebagai sinyal referensi dan dikomparasikan dengan sinyal clock melalui sebuah rangkaian komparator. Dalam simulasi ini, variable yang digunakan menggunakan variasi jumlah bit sample data antara 0-1024 bit number, sedangkan amplitude sinyal divariasikan dari 0.2 hingga 5 Volt.

Gambar 4 menunjukkan hasil simulasi pola komparasi Delta Modulasi pada $Amplitude=2$, $Bit\ data = 256$ dan $step\ size = 0.2$. Nilai bit hasil kuantisasi Delta Modulasi telah direpresentasikan dalam deretan bit '1' dan bit '-1'. Perbandingan hasil pada Gambar 4 juga menunjukkan $\frac{T_{sc}}{4}$ pada $Amplitude=0.6$, $Bit\ data = 1024$ dan $step\ size = 0.1$.



Gambar 4. Pola komparasi Delta Modulasi (kiri: pada $Amplitude=2$, $Bit\ data = 256$ dan $step\ size = 0.2$ dan kanan: $T_Sample/4$ pada $Amplitude=0.6$, $Bit\ data = 1024$ dan $step\ size = 0.1$).

Delta Modulator bekerja sebagai ADC dengan resolusi internal yang rendah. Sistem kuantisasi ADC yang digunakan hanya berupa satu level integrator dan juga berfungsi sebagai satu-satunya system filter bagi kuantisasi noise yang dihasilkan. Teknik DM juga memberikan estimasi step-size (tangga dari sinyal input) sampel dimana hanya satu bit per sampel yang ditransmisikan. Bit ini dikirim dengan membandingkan nilai sampel baru dengan nilai sampel sebelumnya dan akan diperoleh hasil komparasi apakah amplitudo akan meningkat atau diturunkan saat ditransmisikan. Jika tangga langkahnya berkurang, ‘0’ ditransmisikan dan jika tangga langkahnya dinaikkan maka ‘1’ ditransmisikan.

Dengan demikian, sinyal keluaran dalam time domain $T = \frac{n_{sg}}{f_s}$ dapat dituliskan dengan persamaan:

$$v(n) = u(n) - u(n - 1) + e(n) - e(n - 1) \tag{1}$$

$v(n)$ merupakan nilai selisih delta antara input sinyal (dalam T-sample) dan prediksi T-sample dalam looping feedback (filter). Dalam beberapa percobaan, filter loop dapat berupa rangkaian orde tinggi, yang dapat menghasilkan prediksi yang lebih akurat dari sampel masukan $u(n)$ dari pada $u(n-1)$.

3.2 Modifikasi Pemodelan Delta-Modulation menuju Delta-Sigma Modulator order-1

Pengembangan DM ke DSM didasarkan karena Modulator Delta-Sigma memiliki beberapa fungsi lebih yaitu sebagai *noise shaping filter* dan *oversampling*. Sebagai *noise shaping filter*, system dapat mendistribusikan kuantisasi error atau noise pada posisi terendah dalam band signal yang diinginkan. Sedangkan sebagai *oversampling*, secara sederhana system dapat mencuplik signal inputnya sebesar dua kali sebesar bandwidthnya dan menurunkan kuantisasi noise pada band signal yang diinginkan.

Untuk orde-1, Delta Modulator hanya memiliki satu fungsi integrator (Δ) yang terhubung ke quantiser (Q) dan satu loop feedback. Sedangkan Delta-Sigma Modulator selain fungsi integrator (Δ) juga comparator (Σ). Gambar 3 menunjukkan Delta-Sigma Modulator orde 1 (DSM MOD1) dalam model z-domain.

Pemodelan DSM mengaplikasikan sebuah *loop feedback noise* sebagai konsep dari konversi *analog-to-digital*. Setiap input signal yang masuk ke modulator akan melalui fungsi delta Δ (+/-). Signal ini kemudian akan diteruskan melauai integrator sebagai fungsi sigma Σ yang berperan sebagai komparator. Komparator ini akan mengkuantisasi dan menentukan apakah input signal tersebut lebih besar atau lebih rendah terhadap nilai batas (threshold) melalui nilai hasil berupa nilai bit “1” atau “0”. Process loop feedback dipengaruhi ketika keluaran komparator juga di feedback kembali ke unit inputnya melalui fungsi delta Δ (+/-). Loop feedback ini secara kontinyu bekerja hingga menghasilkan hasil bit kuantisasi hingga sesuai persis dengan signal inputnya (noise hingga nol). Dengan mengatur clock OSR dan penggunaan orde modulasi yang lebih besar maka lebih memungkinkan menghasilkan noise terendah dari keluaran filter tersebut.

Kuantisasi noise pada dasarnya direpresentasikan sebagai bentuk *error signal*, $E(z)$, dalam fungsi kuantiser $Q(\cdot)$. Signal error ini akan bergabung kedalam integrator dan kemudian dikuantisasi dalam bentuk 1-bit. Metode ini dikenal sebagai 1-bit ADC. Oleh karena itu, dalam fungsi kuantiser $Q(\cdot)$, gambar di atas dapat dibuat analisisnya sebagai berikut:

$$V(z) = Y(z) + E(z) \tag{2}$$

Dimana $Y(z)$ merupakan output dalam tahap pertama blok struktur z-domain. Persamaan ini dapat dituliskan berupa:

$$Y(z)_{M-1} = U(z) + z^{-1}Y(z) - z^{-1}V(z) \tag{3}$$

$U(z)$ merupakan z-transform dari input signal.

Persamaan (2) di atas disubstitusi ke persamaan (1) akan menunjukkan *fungsi signal and noise transfer*. *Signal transfer function* (STF) adalah signal yang diinginkan sesuai dari input $U(z)$. (NFT) adalah berperan sebagai fungsi filter dalam menekan nilai kuantisasi noise $E(z)$. STF and NTF dari MOD1 dapat ditentukan melalui:

$$V(z)_{M-1} = U(z) + z^{-1}Y(z) - z^{-1}V(z) + E(z) = U(z) + (1 - z^{-1})E(z) \tag{4}$$

Atau dapat ditulis sebagaimana dari persamaa (1) bagi DM, maka untuk DSM:

$$v(n) = u(n) + (1 - n)e(n) \tag{5}$$

Secara umum, STF adalah bernilai 1 dan NTF bagi MOD1 adalah $(1 - z^{-1})$, sehingga persamaan di atas dapat pula dituliskan dengan:

$$V(z) = S(z) U(z) + N(z) E(z) \tag{6}$$

Ketika $z = e^{j\omega}$, kita dapat menghitung nilai daya frekuensi domain bagi NTF, yaitu

$$|N_{MOD1}(e^{j\omega})| = (1 - e^{-j\omega}) = [1 - (c_1 - js_1)] \tag{7}$$

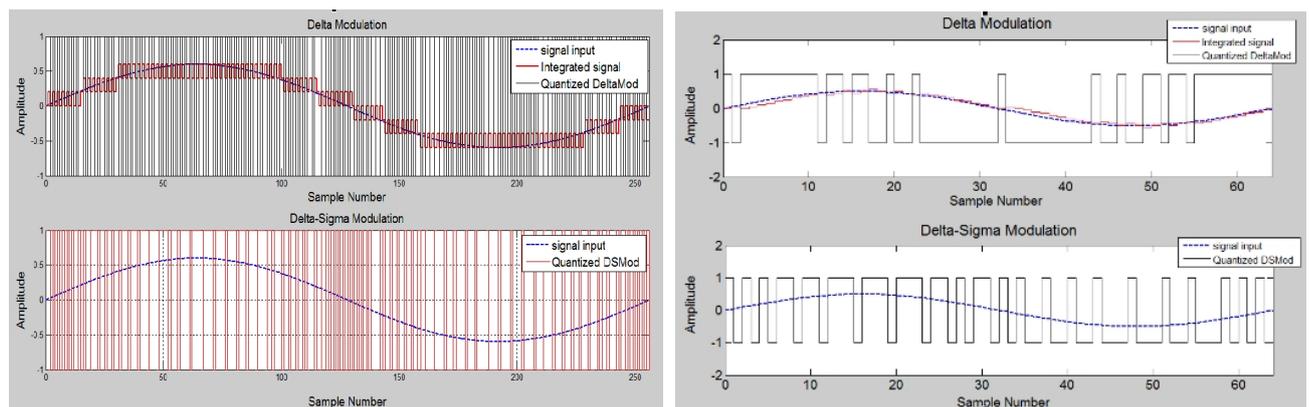
Kompleks envelope NTF dalam persamaan (5) dapat digunakan untuk menentukan magnitude NTF dan hal ini berupa *power spectral density* (PSD) pada fungsi noise shaping. Dengan demikian,

$$\begin{aligned} |N_{MOD1}(e^{j\omega})|^2 &= \left[\sqrt{R [N(e^{j\omega})]^2 + I_1 [NFT(e^{j\omega})]^2} \right] \\ &= \left[\sqrt{(1 - c_1)^2 + (s_1)^2} \right] = 2 - 2c_1 \end{aligned} \tag{8}$$

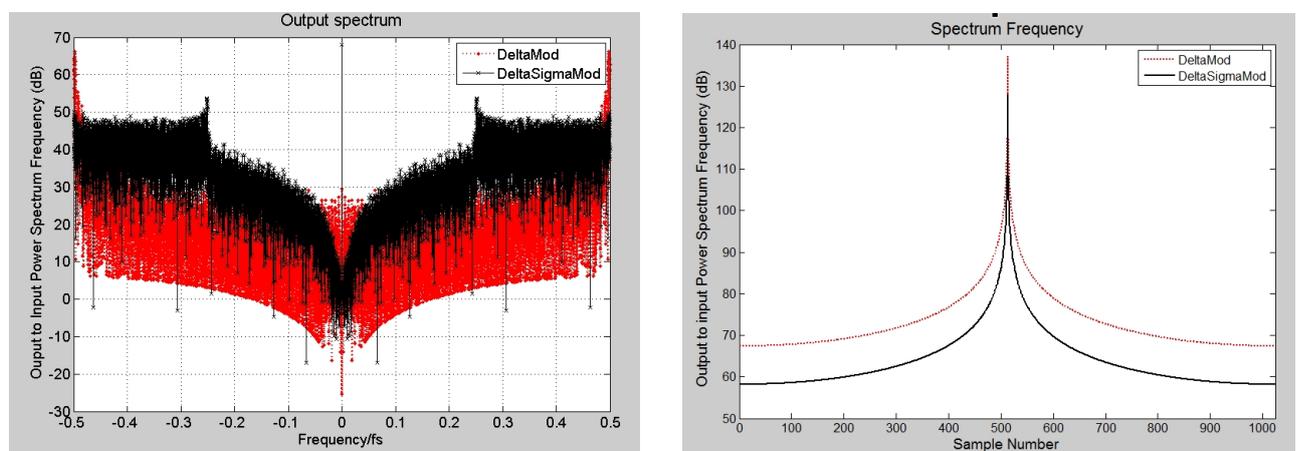
Bentuk square magnitude NTF MOD1 adalah

$$|N_{MOD1}(e^{j\omega})|^2 = 2 - 2c_1 = [2\sin(\pi f)]^2 \tag{9}$$

Gambar 5 memperlihatkan perbandingan hasil kuantisasi 1-bit pada DM dan DSM. DSM memiliki resolusi bit kuantisasi yang lebih baik karena telah melalui proses komparasi feedback sehingga probability kuantisasi error lebih berkurang. Dalam modulator Delta-Sigma, sinyal input dapat diperkirakan secara kontinu dalam ukuran step-size bit positif dan bit negatif. Modulator ini dapat melacak dengan tepat kerapatan nilai positif dan negatif dari setiap estimasi sinyal input di setiap perubahan level amplitudo. Jika input menjadi lebih positif, kerapatan nilai bit positif makin menguat atau sebaliknya, jika input menjadi lebih negative maka kerapatan nilai bit negatif meningkat.



Gambar 5. Perbandingan hasil kuantisasi 1-bit pada Delta Modulasi dan Delta-Sigma Modulasi (kiri: Amp=0.5, step size = 0.1, T_sample= 256, dan kanan: Amp=0.5, step size = 0.05, T_sample= 64).



Gambar 6. Output spectrum dan perbandingan NTF DM dan DSM.

Gambar 6 memperlihatkan validasi hasil simulasi melalui perbandingan spectrum frekuensi pada variable $T_{sample}=10000$, Amplitude=0.5, step size = 0.05. Hasil menunjukkan bahwa DSM memiliki noise

shaping yang lebih baik dimana noise floor dapat mudah di null-kan pada posisi sekitar channel data yang diinginkan. Perbandingan *noise transfer function* (NTF) DSM menurun hingga 10 dB dibawah dari DM. Plotting gambar tersebut diperoleh setelah dilakukan rata-rata power spectrum dari kedua skema modulasi menggunakan input sinyal *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM) pada *frequency carrier* $f_c=1.024$ GHz dan *active tone* sebanyak 8 bit sequences.

4. KESIMPULAN

Modulasi Delta memiliki kelemahan adanya distorsi *slope-overload* dan *noise shaping* yang tinggi. Distorsi *slope-overload* muncul karena rentang sinyal input dinamis yang besar yang menghasilkan kesalahan besar antara sinyal masukan asli dan sinyal perkiraan tangga. Bila kemiringan sinyal tinggi, ukuran langkah harus ditingkatkan untuk mengurangi distorsi overload kemiringan. *Noise shaping* yang besar muncul saat ukuran langkah terlalu besar dibandingkan dengan variasi kecil pada sinyal input.

Untuk mengatasi kesalahan kuantisasi ini disebabkan oleh distorsi *slope-overload* dan *noise shaping* yang tinggi, maka step-size dibuat sesuai dengan variasi pada sinyal masukan yaitu ukuran langkah tidak tetap dan dapat ditingkatkan atau dikurangi tergantung pada variasi sinyal input. Ukuran step-size ditentukan oleh sampel masukan sebelumnya dan sekarang. Jika input bervariasi perlahan maka ukuran stepnya akan menurun. Hal ini kemudian diterapkan pada akumulator dimana bentuk gelombang tangga dibangun di ujung pemancar dan pada penerima low pass filter mengeluarkan bentuk gelombang tangga untuk merekonstruksi sinyal asli seperti yang diterapkan pada DSM. Dengan demikian, pemanfaatan bandwidth DSM lebih baik dari pada DM.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Frattasi, S., H. Fathi, F. H., Fitzek, R., Prasad, dan Katz, M. D. 2006. Defining 4G technology from the users perspective. *IEEE Network*. Vol. 20, hal. 35-41.
- Ghannouchi, F. M. 2010. Power amplifier and transmitter architectures for software defined radio systems. *IEEE Circuits and Systems Magazine*. Vol. 10, hal. 56-63.
- Jayant, N. 1970. Adaptive Delta Modulation with a One Bit Memory. *Bell System Technical Journal*. Vol. 49(3), hal. 321-342.
- Norsworthy, S. R., Schreier, R. dan Temes, G. C. 1996. *Delta-sigma data converters: theory, design, and simulation*. Wiley-IEEE Press.
- Reni, R.R., Heroe, W., dan Iwan, I. T. 2007. Perancangan dan realisasi modulator delta menggunakan integrator rangkap. Tugas akhir: Telkom University.
- Schreier, R., Temes G. C., dan Wiley, J. 2005. *Understanding delta-sigma data converters*. IEEE press Piscataway, NJ. Vol. 74.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang khususnya pada unit Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (UPPM) yang telah memberikan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Penelitian ini dibiayai oleh DIPA PNUP sesuai dengan Surat perjanjian Pelaksanaan Penelitian Nomor Kontrak: 021/PL10.13/PL/2017 Tanggal: 12 April 2017.