

2010-26
PMB 2018

Kode>Nama Rumpun Ilmu:
453/Teknik Telekomunikasi

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI



**Perancangan Delta-Sigma Modulation
Based Digital Filter Untuk Modul Praktikum Sistem
Komunikasi Digital**

TIM PELAKSANA

Sulwan Dase, S.T., M.T / 002086502 (Ketua)
Sirmayanti, S.T., M.Eng, P.hD / 0030037902 (Anggota)

Dibiayai oleh DIPA Politeknik Negeri Ujung Pandang,
Sesuai dengan Surat perjanjian Pelaksanaan Penelitian
Nomor: 018/PL10.13/PL/2018 Tanggal: 2 April 2018

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO PROGRAM STUDI TEKNIK TELKOM
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
NOVEMBER, 2018

**HALAMAN PENGESAHAN
PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**

Judul Penelitian : **Perancangan Sigma-Delta Modulation Based Digital Filter Untuk Modul Praktikum Sistem Komunikasi Digital**

Kode>Nama Rumpun Ilmu :453 / Teknik Telekomunikasi

Ketua Peneliti:

a. Nama Lengkap : Sulwan Dase, S.T., M.T
b. NIDN : 002086502
c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
d. Program Studi : Teknik Telekomunikasi
e. Nomor HP : (+62) 821-9355-2238
f. Alamat surel (e-mail) : sulwandase@poliupg.ac.id

Anggota Peneliti (1)

a. Nama Lengkap : Sirmayanti, S.T., M.Eng., P.hD
b. NIDN : 0030037902
c. Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Ujung Pandang

Lama Penelitian : 8 bulan


Biaya Penelitian : Rp. 8.000.000,-

Makassar, 12 November 2018


Mengetahui
Ketua Jurusan Teknik Elektro,


Dr. Ir. Hafsah Nirwana, M.T.
NIP. 19640405 199003 2 002


Ketua Peneliti,


Sulwan Dase, S.T., M.T
NIP. 19650802 199003 1 003

Mengetahui,
Pembantu Direktur I PNUP


Ibrahim Abduh, S.ST., M.T
NIP. 19680514 199309 1 001

Menyetujui,
Ka. UPPM PNUP,


Ir. Suryanto, M.Sc., Ph.D
NIP. 195908261988031002

RINGKASAN

Perealisasian sistem komunikasi digital menyeluruh yang baik membutuhkan konsep konverter *analog-to-digital* (A/D) dan *digital-to-analog* (D/A) yang handal untuk menghasilkan keseluruhan sinyal digital. Untuk membentuk level stream pulsa digital, maka dibutuhkan sistem modulasi digital dengan kecepatan bit yang relative cepat dan handal dalam setiap membangun bit stream digitalnya. Sistem modulasi digital yang diperkenalkan dalam proses belajar praktikum di laboratorium Sikomdat belum mencakup keseluruhan sistem modulasi digital yang telah ada dalam kemajuan teori pengetahuan telekomunikasi saat ini. Praktikum Modulasi Delta yang sudah lama diberikan sebagai salah satu job praktikum masih dianggap sudah tidak relevan lagi. Sistem ini memiliki kelemahan adanya distorsi *slope-overload* dan *noise shaping* yang tinggi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan metode Modulasi Delta-Sigma dimana keunggulannya telah teruji dapat menekan *noise floor* dan membentuk *noise shape* yang baik sekaligus memiliki *dynamic range* yang stabil ketika sampling rate-nya ditingkatkan pada saat *order loopback*-nya ditingkatkan. Penelitian dasar ini menekankan pada pembuatan bahan ajar berupa Modul Praktikum Modulasi Delta-Sigma yang pemanfaatannya sebagai filter digital sistem konversi A/D dan D/A yang lebih efektif. Hasil penelitian ini telah menghasilkan pemodelan struktur MDS orde-1 dan orde-2. Kedua karakteristik pemodelan menunjukkan hasil yang signifikan, semakin besar OSR dan order filter maka resolusi kuantisasi semakin baik. Modul MDS yang dibuat diharapkan dapat menambah jumlah job sheet yang ada dalam kegiatan praktikum Siskomdat. Modul praktikum MDS ini memuat proses konversi sinyal ADS/DAC sebagai filter digital yang menghasilkan bit-stream digital yang lebih baik.

Kata kunci: Modulasi, Delta-Sigma, Konversi, modul, Filter

PRAKATA

Bismillahirrahmaanirrahim.

Dengan memanjatkan puji syukur atas limpahan segala rahmat kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas anugrahNya dan hidayahNya sehingga penelitian dengan judul **”Perancangan Delta-Sigma Modulation Based Digital Filter Untuk Modul Praktikum Sistem Komunikasi Digital”** dapat dikerjakan sesuai dengan waktu yang direncanakan.

Dengan selesainya penelitian ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada UPPM Politeknik Negeri Ujung Pandang atas kesempatan dan biaya yang diberikan untuk melakukan penelitian ini. Terima kasih juga untuk semua jajaran pimpinan PNUP dan rekan-rekan staf pengajar program studi Teknik Telekomunikasi PNUP serta kepada semua pihak yang telah membantu.

Penulis mengharapkan saran dan kritikan yang membangun dari berbagai pihak demi kesempurnaan hasil penelitian ini serta keberlanjutan peningkatan kualitas dan manfaatnya. Semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan pembangunan bangsa.

Makassar, November 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan yang telah diteliti	2
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Modulasi Delta	3
2.2 Modulasi Delta-Sigma	4
2.3 Studi pendahuluan yang pernah dilakukan	6
BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	7
3.1 Tujuan Penelitian	7
3.2 Manfaat Penelitian	7
BAB 4. METODE PENELITIAN	8
4.1 Lokasi dan waktu penelitian	8
4.2 Tahapan penelitian	8
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	10
5.1 Pemodelan dan Simulasi Modulasi Delta-Sigma	10
5.2 Karakteristik filter modulator $\Sigma\Delta$ order-1/MOD1 dan order-2/MOD2 dan anali sis noise shaping	12
5.3 Perbandingan kuantisasi hasil modulasi pada Delta Modulasi dan Delta-Sigma Modulasi	16
5.4 Penyusunan Modul Praktikum	17
BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN	18
6.1 Kesimpulan Hasil	18
6.2 Saran	18
DAFTAR PUSTAKA	19
LAMPIRAN-LAMPIRAN	20

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan aplikasi teknologi di bidang komunikasi digital kini menjadi pesat dalam pasar industri dan konsumen. Kebutuhan sistem telekomunikasi manusia terkini dapat terlayani dengan cepat, handal dan murah melalui aplikasi sistem digitalisasi telekomunikasi baik melalui sistem teknologi standar yang tepat dan kecepatan transmisi data yang sesuai. Hal ini kemudian sangat perlu diimbangi dengan penyediaan sumber fasilitas ilmu pengetahuan yang memadai dalam sistem pendidikan di bidang telekomunikasi. Dalam sistem pendidikan vokasi yang terselenggara di Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP) khususnya bidang pendidikan program studi Teknik Telekomunikasi, sangat dipandang perlu adanya penambahan modul praktikum tambahan sesuai dengan tuntutan teknologi standar tersebut.

Berdasarkan perkembangan kecepatan transmisi data, maka standar sistem komunikasi digital bidang wireless yang diaplikasikan kini sudah dalam beberapa generasi, yaitu 1G; seluler analog pertama untuk voice (AMPS), 2G; data sirkuit digital (GSM), 3G; data paket digital broadband (CDMA, WCDMA), 4G; data paket digital broadband untuk semua IP (Wi-Fi, WIMAX, LTE). Dalam perjalanan generasi teknologi wireless seluler di Indonesia bahwa G1 sudah ditinggalkan, G2 dan G3 masih berlaku hingga saat ini, sedangkan G4 merupakan teknologi terbaru yang baru saja dikomersialkan walaupun belum menyeluruh di wilayah Indonesia. Pada kesempatan lainnya, terdapatnya perbedaan generasi pada perkembangan teknologi seluler menuntut operator jasa harus menyiapkan penambahan infrastruktur baru sehingga setiap kali upgrading dilaksanakan, faktor biaya besar dan kemampuan integrasi perangkat sangat berpengaruh.

Dari uraian diatas, sangat diperlukan sebuah konsep baru yang bisa didefinisikan sebagai implemensi digitalisasi dalam sistem pengolahan sinyal yang lebih handal. Hal inilah yang mendasari munculnya 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 untuk menyesuaikan jenis standar dimana telepon seluler tersebut berada, Frattasi (2016). Salah

satu parameter yang sangat penting dari penerima SDR adalah sistem konverter analog ke digital (*Analog to Digital Converter*, ADC), Schreier (2005). Perealisasian sistem penerima SDR yang baik membutuhkan konverter A/D dan D/A (Analog ke Digital & Digital ke Analog, ADC/DAC) yang handal untuk menghasilkan keseluruhan sinyal digital, karena pengolahan sinyal yang dilakukan oleh software merupakan pengolahan sinyal digital secara menyeluruh.

1.2. Permasalahan yang telah diteliti

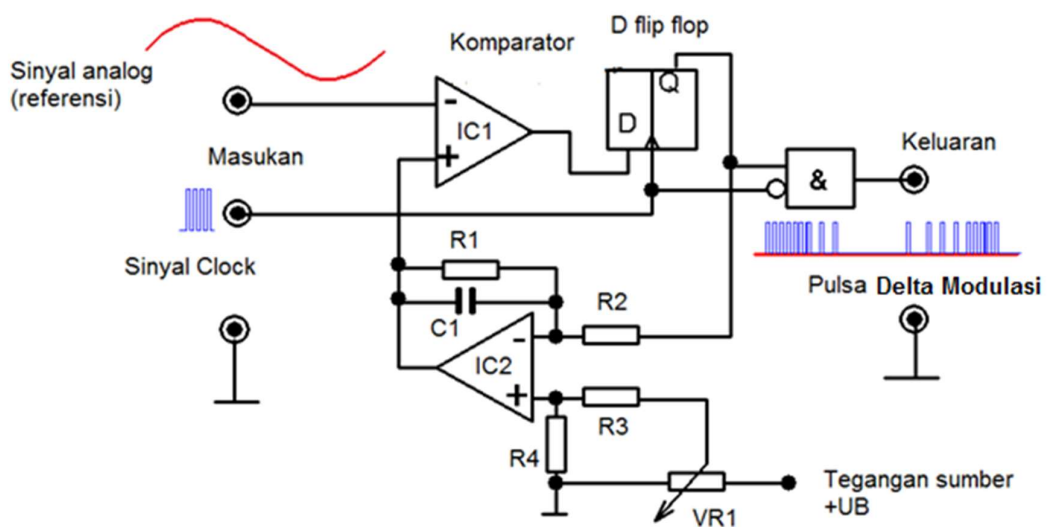
Hasil penelitian ini menekankan pada perancangan pemodelan dan analisis sistem modulasi digital dengan kecepatan bit yang relative cepat dan handal dalam setiap membangun bit stream digital menyeluruh, dan pemanfaatannya pada sistem konversi Analog ke Digital sebagai filter digital yang lebih efektif. Hasil perancangan ini adalah berupa Modul Praktikum baru dalam kegiatan pembelajaran praktikum Sistem Komunikasi Digital (Simkomdigital). Sistem modulasi digital serupa yang masih digunakan saat ini dalam praktikum Simkomdigital adalah *Modulasi Delta* (MD). Secara umum, jenis modulasi ini memiliki sistem komunikasi digital dengan kecepatan bit yang relatif rendah namun cukup memadai menghasilkan bit stream yang panjang. MD 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 yang lebih rumit, Norsworthy (1996). Kelemahan dasar MD adalah *dynamic range*-nya yang kecil sehingga *noise shape* yang dihasilkan tidak maksimal dimana ketika *sample of rate* (SOR) dinaikkan maka level *floor noise* tidak dapat dikendalikan, **Sirmayanti (2017)**. Oleh karena itu, dalam penelitian ini metode sistem Modulasi Delta-Sigma (MDS) telah dimanfaatkan 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. Target hasil penelitian dasar ini adalah bahan ajar Modul Praktikum Modulasi Delta-Sigma berbasis software Matlab.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Modulasi Delta

Pada sistem modulasi Delta, informasi berupa sinyal input analog akan diolah menjadi pulsa-pulsa digital, bukan melalui rangkaian analog-to-digital-converter (ADC), melainkan melalui sebuah rangkaian komparator detektor level, Schreier (2005).

Sinyal input analog sebagai sinyal referensi dikomparasikan dengan sinyal clock melalui sebuah rangkaian komparator.

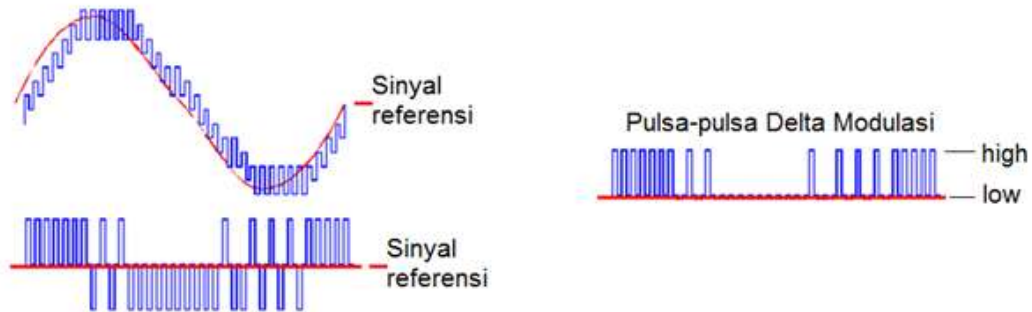


Gambar 1.1. Delta modulator.

Seperti terlihat pada Gambar 1.1, sinyal clock akan mengikuti pola sinyal analog sebagai referensi dengan cara selalu mengikuti gerakan sinyal analog. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam proses ini adalah:

- Pada saat sinyal analog memiliki amplitudo yang meningkat naik, maka sinyal clock akan mengikutinya. Pada kondisi ini keluaran dari komparator adalah pulsa-pulsa clock memiliki level positif.
- Pada saat kondisi sinyal analog tidak ada perubahan level sinyal yang cukup besar, maka sinyal clock akan berada secara kontinyu pada level di atas dan di bawah tegangan referensi analog secara periodik, sehingga keluaran dari rangkaian komparator adalah pulsa-pulsa sinyal clock dengan polaritas positif dan negatif bergantian secara periodik.

- Pada saat sinyal referensi analog menurun level tegangannya, maka akan diikuti oleh gerakan sinyal clock. Pada kondisi ini, keluaran dari komparator adalah pulsa-pulsa dari sinyal clock yang memiliki level negatif.



Gambar 1.2. Pola komparasi antara sinyal analog (referensi) dan sinyal clock.

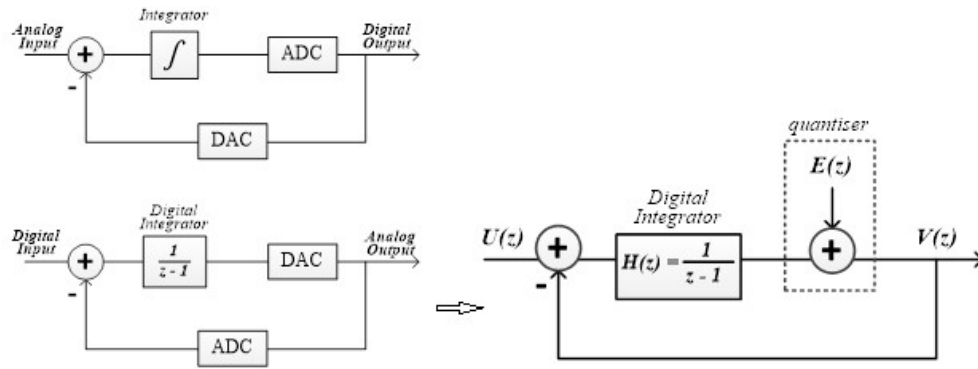
Dengan demikian, keluaran pulsa-pulsa dari komparator adalah sederetan pulsa yang mengandung informasi level tegangan, seperti terlihat pada Gambar 1.2. Pulsa-pulsa tersebut siap dikirim ke penerima melalui medium dengan kualitas reproduksi yang lebih bagus, karena pada prinsipnya pulsa-pulsa digital hanya mengenal logik high dan low. Sehingga pada penerima, sejelek apapun kualitas sinyal digital yang diterima, akan diperbaiki melalui sebuah rangkaian regenerator dengan menguatkan pulsa-pulsa digital tersebut. Dengan demikian akan didapatkan informasi yang jelas tentang kedudukan pulsa (high maupun low), untuk dikembalikan (demodulasi) ke dalam bentuk informasi awal (sinyal referensi).

Modulator ini terdiri dari quantizer yang mengubah perbedaan antara sinyal input dan rata-rata dari langkah-langkah sebelumnya. Dalam bentuk yang paling sederhana, quantizer dapat diwujudkan dengan pembanding direferensikan ke '0' (dua tingkat quantizer), yaitu output '1' jika sinyal input positif atau '0' negatif.

2.2 Modulasi Delta-Sigma

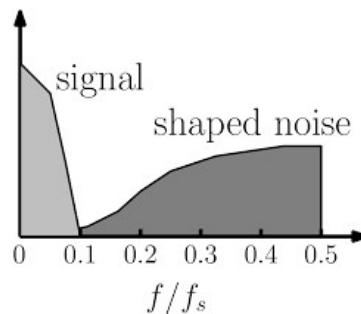
Teknik modulasi Delta-Sigma (MDS) digunakan untuk konversi analog A/D dan D/A. Teknik A/D dan D/A juga dikenal dengan ADC dan DAC. Modulator Delta-Sigma yang memiliki dynamic range yang besar, area chip yang kecil dan mengkonsumsi daya input yang rendah makin sehingga memudahkannya diaplikasikan sebagai unsur komponen elektronik. Teknik Delta-Sigma 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 Delta-Sigma dapat beroperasi pula sebagai sebuah *filter* karena memisahkan *transfer function* untuk signal dan noisenya, Schreier (2005).



Gambar 1.3. Delta-Sigma modulator sebagai A/D converter (atas) and D/A converter (bawah) beserta linear z-domain pada $\Sigma\Delta$ modulator order-1 (MOD1).

Gambar 1.3 (atas) memperlihatkan struktur analog dasar sebuah A/D dengan filter (*integrator*), sedangkan Gambar 1.3 (bawah) memperlihatkan struktur DSP sebuah D/A dengan filter (*digital integrator*) dan linear z-domainnya. Modulator Delta-Sigma 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 1.4. 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 $U(z)$.



Gambar 1.4. Signal dan noise shape menggunakan filter digital.

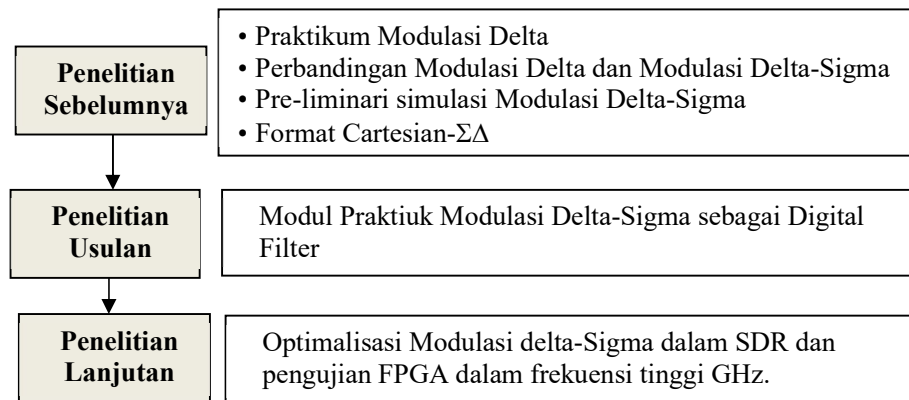
2.3 Studi pendahuluan yang pernah dilakukan

Studi dasar teknik modulasi Delta telah dilaksanakan dalam beberapa kegiatan praktikum di Laboratorium Komunikasi Digital jurusan Teknik Elektro PNUP. Terdapat satu job-sheet yang tersedia mengenai Modulasi Delta. Sejauh ini, studi pendahuluan yang dilaksanakan masih seputar proses modulasi dasarnya, dimulai dari pembentukan sinyal input, proses modulasi dan output yang dihasilkan.

Studi dasar perbandingan teknik filter Modulasi Delta dan Modulasi Delta-Sigma telah dilaksanakan oleh **Sirmayanti (2017)** dan beberapa preliminary simulasi modulator $\Sigma\Delta$ dalam kegiatan Penelitian Fundamental oleh **Sirmayanti (2016)**. Perbandingan struktur $\Sigma\Delta$ MOD1 dan MOD2 dapat memperlihatkan fenomena *noise shaping*. Semakin tinggi SOR dan level ordernya, *noise shaping* akan semakin kecil. Sebuah pemodelan baru polar $\Sigma\Delta$ menuju struktur Cartesian $\Sigma\Delta$ dilaksanakan oleh **Sirmayanti (2014)**. Format Cartesian- $\Sigma\Delta$ diajukan untuk mengatasi masalah pelebaran lebar pita (*switching bandwidth*) dan fleksibilitas perangkat transmisi untuk mengeliminasi beberapa komponen analog.

Hasil pengembangan sistem modulasi digital ini telah diaplikasikan dalam beberapa sistem transmisi digital wireless full *digital signal processing* (DSP) berbasis *software defined-radio* (SDR). SDR dapat menjawab penggunaan frekuensi dari keterbatasan sumber frekuensi tinggi dalam komunikasi wireless. **Sulwan (2017)** telah melaksanakan studi analisis menggunakan antenna *long term evolution* (LTE) melalui perancangan antenna LTE microstrip slot bagi band frekuensi tinggi pada kisaran 800 MHz dan 900 MHz.

Gambar 1.5 menunjukkan *road map* tentang topik penelitian yang telah dilaksanakan.



Gambar 1.5. Road map penelitian..

BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk:

- a. Mempelajari pemodelan struktur Modulasi Delta-Sigma (MDS) dalam perbandingan order.
- b. Membuat modul praktikum MDS proses konversi sinyal ADS/DAC sebagai filter digital yang menghasilkan bit-stream digital.

3.2 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini 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 G4 dan G5.

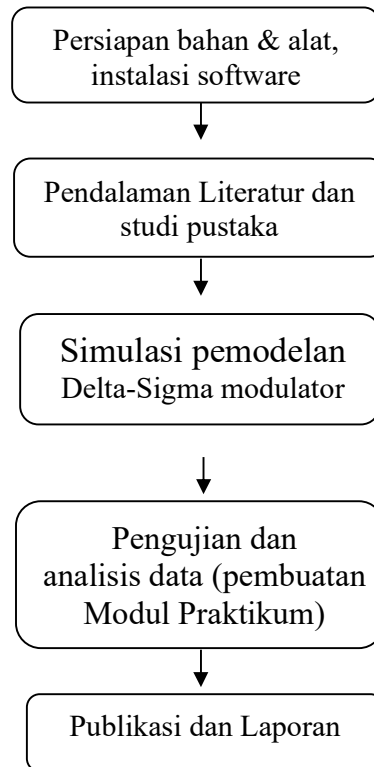
Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan pemodelan digitalisasi konversi sinyal yang lebih optimal, terbaru dan diaplikasikan dalam sistem telekomunikasi wireless masa depan. Hasil penelitian ini telah memberikan sumbangan kontribusi ilmu pengetahuan berupa bahan ajar teknik modulasi digital yang dapat diimplementasikan untuk menunjang mata kuliah Praktikum Sistem Komunikasi Digital (sub bab baru) dan Praktikum Komunikasi Digital di program studi Teknik Telekomunikasi jurusan Teknik elektro PNUP.

BAB 4. METODE PENELITIAN

4.1 Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian telah dilaksanakan di Laboratorium Sistem Komunikasi (Sistem Komunikasi Analog dan Digital) jurusan Teknik Elektro PNUP. Waktu pelaksanaan dilakukan selama 8 bulan (April – November) tahun 2018.

4.2 Tahapan penelitian



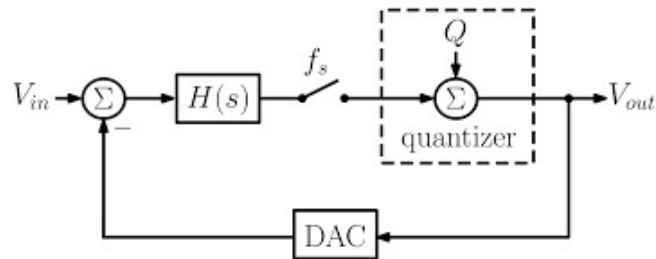
Gambar 4.1. Urutan pekerjaan pada usulan penelitian.

Penelitian ini dilaksanakan melalui percobaan simulasi menggunakan software Matlab. Proses pembangkitan sinyal dan modeling modulator dilakukan keseluruhannya dengan software, 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 lab yang tersedia belum memadai. Kebutuhan software yang digunakan harus dilengkapi dengan beberapa Tool box seperti sistem DSP dan Communication tools.

Urutan pengerjaan melalui Matlan akan dikerjakan melalui penulisan coding (Matlab Code).

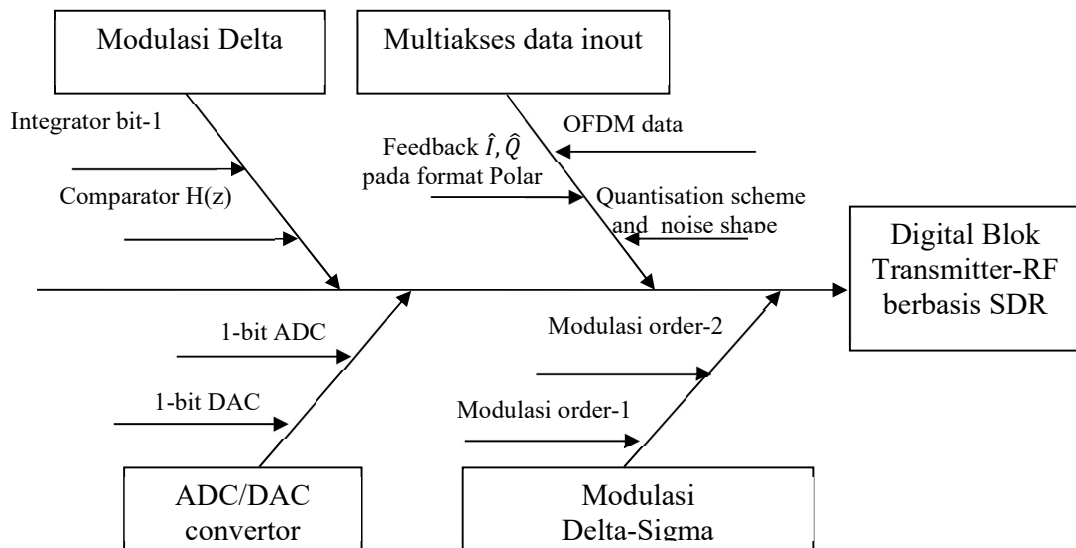
Langkah-langkah kerja penelitian meliputi persiapan dan pengadaan bahan & alat, pengerjaan simulasi dan analisis data serta membuat laporan. Persiapan meliputi pengadaan bahan & alat dan pendalaman literature. Pengerjaan simulasi penulisan code pemograman dan simulasi pemodelan. Tahap akhir meliputi evaluasi dan laporan tertulis. Laporan ini dapat tertuang dlam bentuk draft tulisan karya ilmiah dan laporan penelitian. Adapun urutan pekerjaan dapat dilihat pada bagan Gambar 4.1.

Dalam tahapan simulasi pemodelannya, metode yang digunakan menggunakan blok sistem MDS. Sebagaimana yang diusulkan, metode penelitian ini berdasarkan blok dasar sistem Delta modulator dan dikembangkan menjadi skema Delta-Sigma modulator, sebagaimana terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Skenario skema modifikasi Delta Modulator ke Delta-Sigma Modulator.

Skenario skema modifikasi Delta Modulator ke Delta-Sigma Modulator dikerjakan sesuai dengan Fish Bone pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3. Fishbone alur penelitian.

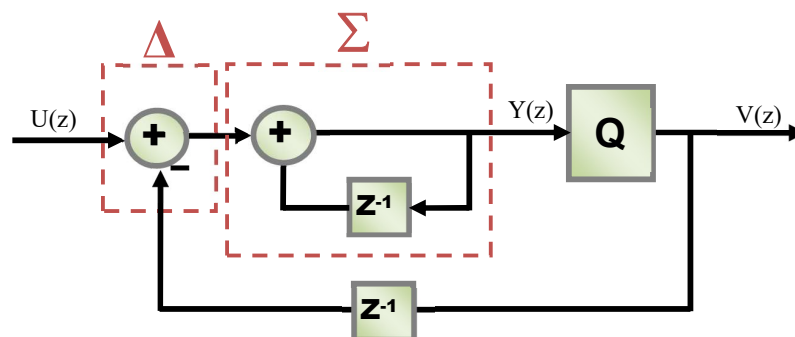
BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1 Pemodelan dan Simulasi Modulasi Delta-Sigma

Prinsip dasar Modulator Delta-Sigma akan mengelolah informasi input sinyal analog melalui mekanisme komparator detektor level. Setiap sinyal input ditempatkan sebagai sinyal referensi dan dikomparasikan dengan sinyal clock melalui sebuah rangkaian komparator. Pemodelan Modulator Delta-Sigma juga mengaplikasikan sebuah loop feedback noise sebagai konsep dari konversi analog-to-digital. Prinsip inilah yang menjadikan Modulator Delta-Sigma sebagai fungsi filter dalam mengolah sinyal digital murni yang telah terkonversi.

Modulator Delta-Sigma memiliki fungsi sebagai *noise shaping filter* dan *oversampling*. Sebagai *noise shaping filter*, Modulator Delta-Sigma dapat mendistribusikan hasil kuantisasi error dan menggiringnya berupa noise floor posisi terendah dalam band signal yang diinginkan. Sebagai *oversampling*, Modulator Delta-Sigma secara sederhana dapat mencuplik signal inputnya sebesar dua kali sebesar bandwidthnya dan menurunkan kuantisasi noise pada band signal yang diinginkan.

Cara kerja Modulator Delta-Sigma dapat dilihat pada Gambar 5.1. Setiap input signal akan melalui fungsi modulator dan kemudian diteruskan ke unit integrator yang berperan sebagai komparator. Fungsi modulator dinamakan dengan fungsi delta Δ (+/-) karena akan menggabungkan sinyal input dengan hasil sinyal feedback selama proses berlangsung. Sedangkan fungsi komparator akan dinamakan fungsi sigma Σ karena akan menyempurnakan pengerjaan proses feedback dan loopback setiap unit digital processingnya. Loop feedback ini secara kontinu bekerja hingga menghasilkan hasil bit kuantisasi hingga sesuai persis dengan signal inputnya (noise nol).



Gambar 5.1. Modulator Delta-Sigma orde-1 dalam z-domain.

Pemodelan Delta Modulator order-1

Dengan mengatur clock rate dari oversampling (OSR) dan penggunaan order modulasi yang lebih besar maka lebih memungkinkan menghasilkan noise terrendah dari keluaran filter tersebut.

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 5.2.

```
T_sample = 1024; %N_sample
Amp = 0.6;
un=Amp*sin(2*pi*1/T_sample*[0:(T_sample)]); %input signal
en=0;
en_delay=0;
Delta_step = 0.1;
```

Gambar 5.2. Contoh listing input variable Delta Sigma Modulasi dalam simulasi MATLAB

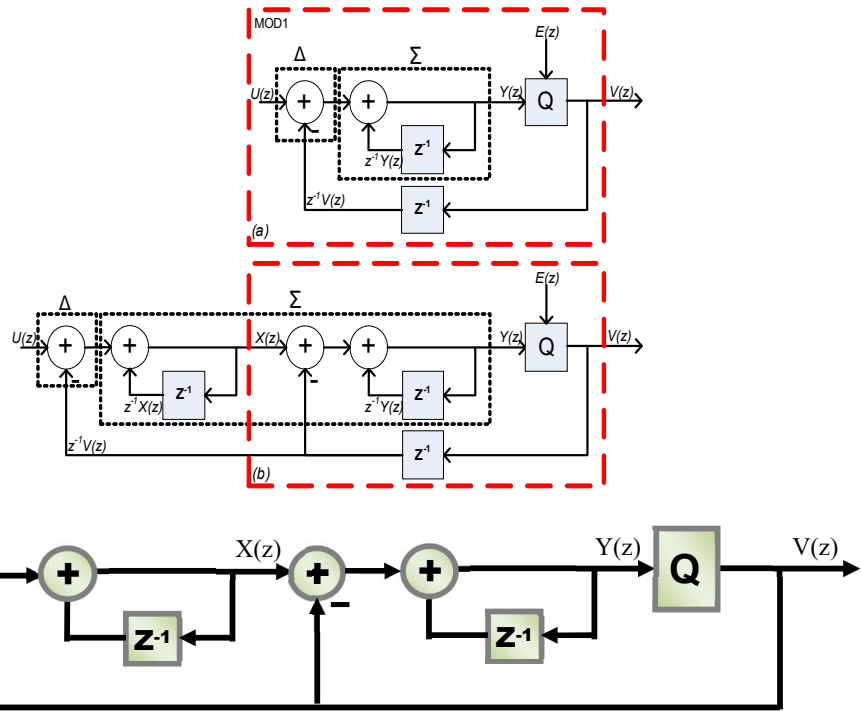
Sinyal keluaran dalam time domain $T = \frac{n_sample}{f_s}$ dapat dituliskan dengan persamaan:

$$v(n) = u(n) - u(n - 1) + e(n) - e(n - 1) \quad (1)$$

$v(n)$ merupakan nilai selisih delta antara input sinyal (dalam T-sample) dan prediski 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 $u(n-1)$.

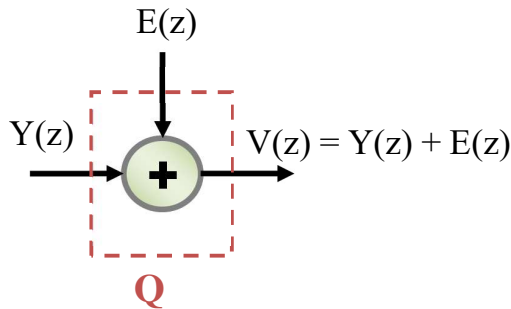
Pemodelan Delta Modulator order-2

Modulator $\Delta\Sigma$ orde kedua (MOD2) sebagaimana pada Gambar 5.3 merupakan kontruksi pengembangan melalui dua buah intergator pada setiap fungsi loop Σ . Pemodelan ini diharapkan memiliki bentuk noise terrendah dengan bertambahnya orde level modulasinya.



Gambar 5.3 Modulator Delta-Sigma orde-2 dalam z-domain.

5.2 Karakteristik filter modulator $\Sigma\Delta$ order-1/MOD1 dan order-2/MOD2 dan analisis noise shaping



Gambar 5.4 Quantisasi noise pada Modulator Delta-Sigma

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 5.4 dapat dibuat analisisnya sebagai berikut:

$$V(z) = Y(z) + E(z) \quad (2)$$

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

$$Y(z)_{MOD1} = U(z) + z^{-1}Y(z) - z^{-1}V(z) \quad (3)$$

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

Persamaan (3) di atas disubstitusi ke persamaan (2) akan menunjukkan fungsi signal and noise transfer. *Signal transfer function* (STF) adalah signal yang diinginkan sesuai dari input $U(z)$. *Noise transfer function* (NTF) adalah berperan sebagai fungsi filter dalam menekan nilai kuantisasi noise $E(z)$. STF and NTF dari MOD1 dapat ditentukan melalui:

$$\begin{aligned} V(z)_{MOD1} &= U(z) + z^{-1}Y(z) - z^{-1}V(z) + E(z) \\ &= U(z) + (1 - z^{-1})E(z) \end{aligned} \quad (4)$$

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

$$V(z) = STF(z) U(z) + NTF(z) E(z) \quad (5).$$

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

$$\begin{aligned} NTF_{MOD1}(e^{j\omega}) &= (1 - e^{-j\omega}) \\ &= [1 - (\cos\omega - j\sin\omega)] \end{aligned} \quad (6)$$

Kompleks envelope NTF dalam persamaan (6) dapat digunakan untuk menentukan magnitude NTF dan hal ini berupa *power spectral density*(PSD) pada fungsi noise shaping. Dengan demikian,

$$\begin{aligned} |NTF_{MOD1}(e^{j\omega})| &= \left[\sqrt{\text{Re}[NTF(e^{j\omega})]^2 + \text{Im}[NTF(e^{j\omega})]^2} \right] \\ &= \left[\sqrt{(1 - \cos\omega)^2 + (\sin\omega)^2} \right] \\ &= 2 - 2\cos\omega \end{aligned} \quad (7)$$

Bentuk square magnitude NTF MOD1 adalah

$$\begin{aligned} |NTF_{MOD1}(e^{j\omega})|^2 &= 2 - 2\cos\omega \\ &= [2\sin(\pi f)]^2 \end{aligned} \quad (8)$$

Berikutnya bagi struktur MOD2 bahwa terdapat dua tahapan loop dalam modulatornya dengan menambahkan unit delay berupa $X(z)$, sehingga

$$X(z) = U(z) + z^{-1}X(z) - z^{-1}V(z) \quad (9)$$

Seperti halnya pada MOD1, struktur MOD2 dapat diformulasikan untuk menghasilkan output kuantiser, $V(z)$, melalui persamaan (3) and (4) yakni

$$Y(z)_{MOD2} = X(z) + z^{-1}Y(z) - z^{-1}V(z) \quad (10)$$

$$V(z)_{MOD2} = U(z) + (1 - z^{-1})^2 E(z) \quad (11)$$

Dengan demikian, STF MOD2 adalah 1, dan NTF MOD2 berupa $(1 - z^{-1})^2$ dalam z -domain atau dalam persamaan pada frekuensi domainnya yakni berupa

$$NTF_{MOD2}(e^{j\omega}) = [(1 - \cos\omega) + j\sin\omega]^2$$

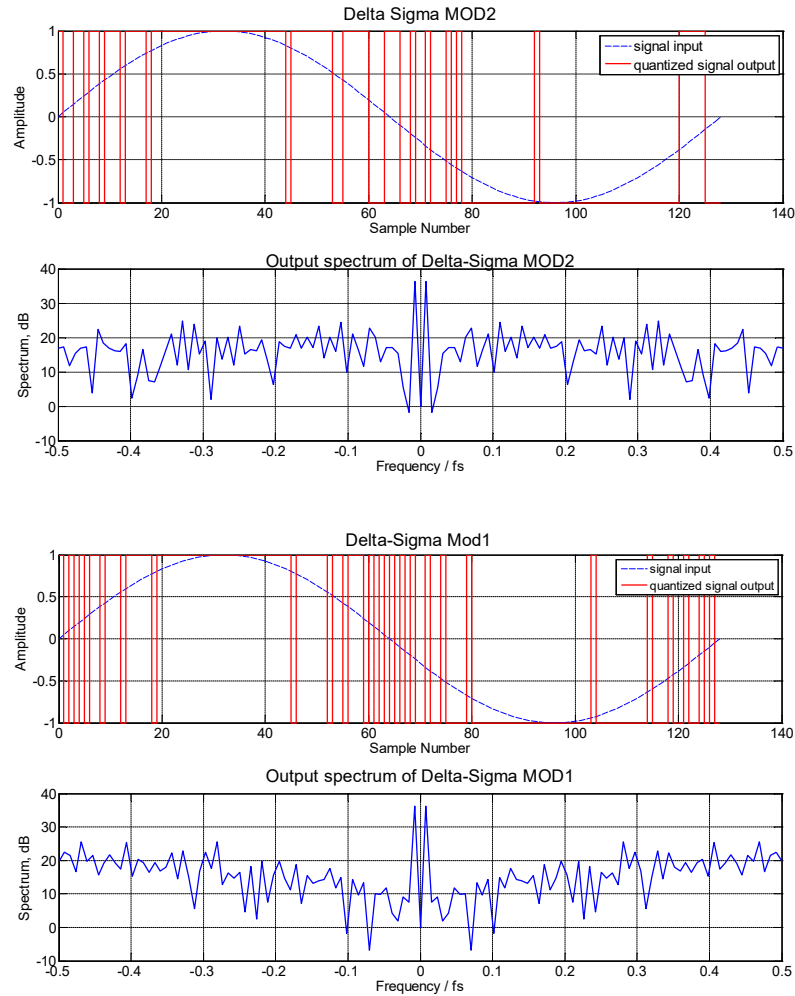
$$= [4 \sin^2(\omega/2) (-\cos \omega + j \sin \omega)] \quad (12)$$

Kemudian, square magnitude NTF MOD2 adalah

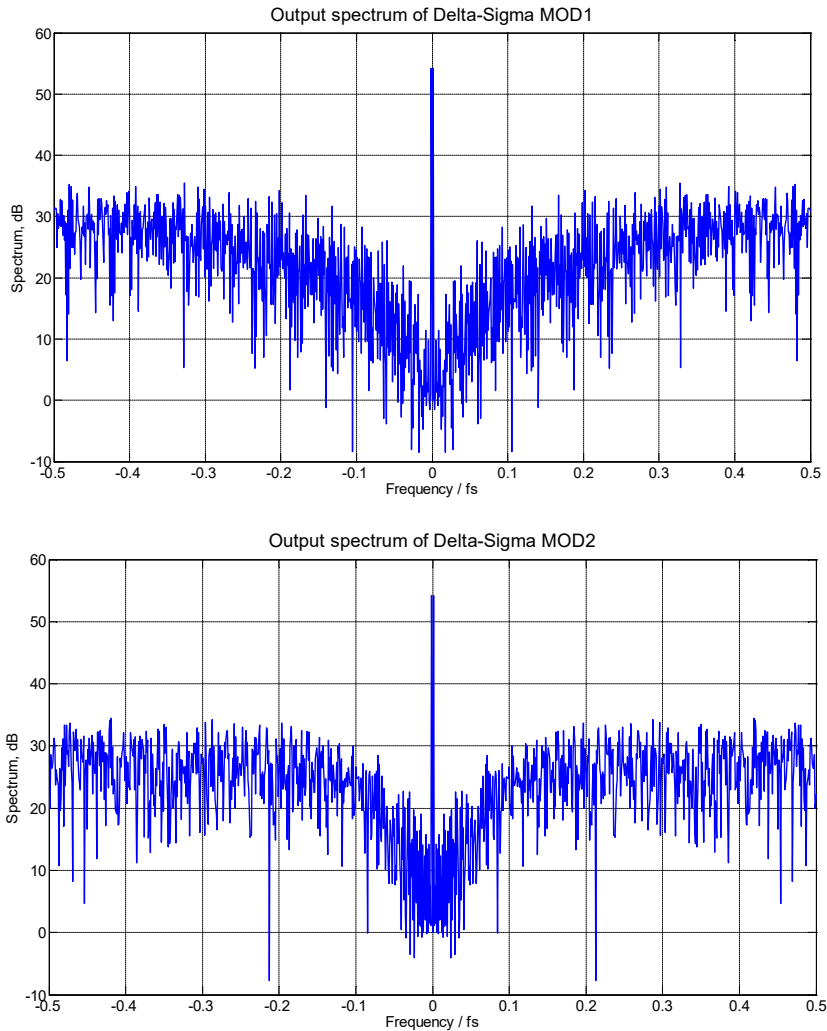
$$\begin{aligned} |NFT_{MOD2}(e^{j\omega})|^2 &= [4 \sin^2(\omega/2)]^2 \\ &= [2\sin(\pi f)]^4 \end{aligned} \quad (13)$$

Bagi frekuensi $f \ll 1$ (anggap $f=0$), maka $|NFT_{MOD1}|^2 = |NFT_{MOD2}|^2 \approx 0$. Kondisi ini menunjukkan secara jelas bahwa kuantisasi noise dapat ditekan serendah mungkin atau dijauhkan dari signal yang diinginkan dikarenakan proses *noise shaping filter* tersebut. Inilah yang menjadikan efektivitas modulasi $\Delta\Sigma$ sangat cocok digunakan bagi signal dalam frekuensi rendah.

Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 berikut menunjukkan spektrum frekuensi MOD1 dan MOD2 masing-masing melalui sampling rate perbandingan 128 dan 1024.

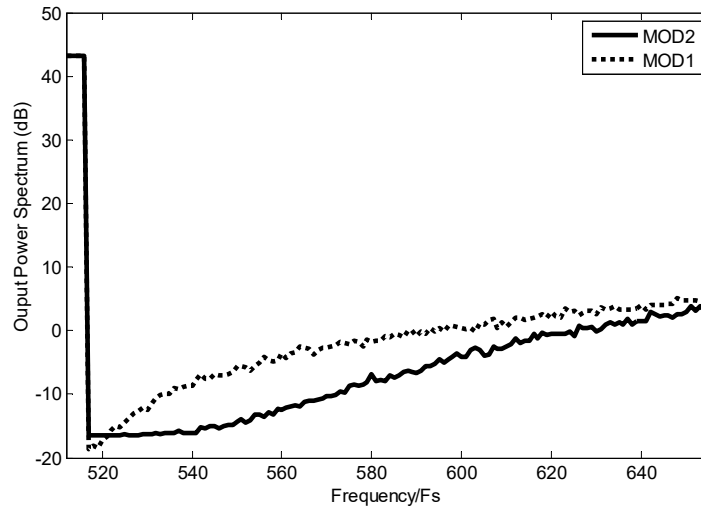


Gambar 5.5. MOD1 dan MOD2 pada sample per period = 128.



Gambar 5.6. MOD1 dan MOD2 pada sample per period =1024.

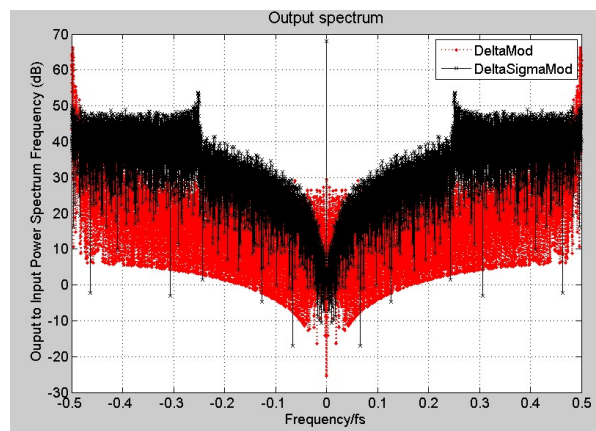
Hasil simulasi pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 diatas menunjukkan perbandingan NTF respon frekuensi antara MOD1 dan MOD2. Terlihat jelas bahwa total power bagi kuantisasi noise MOD2 lebih besar dari MOD1. Hal ini terjadi karena frekuensi gain MOD2 juga lebih besar dari MOD1. Selain itu, noise shaping MOD2 menunjukkan performansi yang lebih baik (lebih rendah) dari MOD1. Simulasi yang dihasilkan untuk Gambar 5.7 berikut berupa output power spectrum modulator $\Delta\Sigma$ terhadap frekuensi carrier dengan menggunakan signal OFDM, dimana MOD2 memiliki noise floor lebih rendah disekitar band signal dibandingkan dengan MOD1. Dengan demikian, MOD2 akan dipilih sebagai referensi bagi struktur model Cartesian $\Delta\Sigma$ upconverter yang diusulkan.



Gambar 5.7. Noise shaping pada MOD1 dan MOD2.

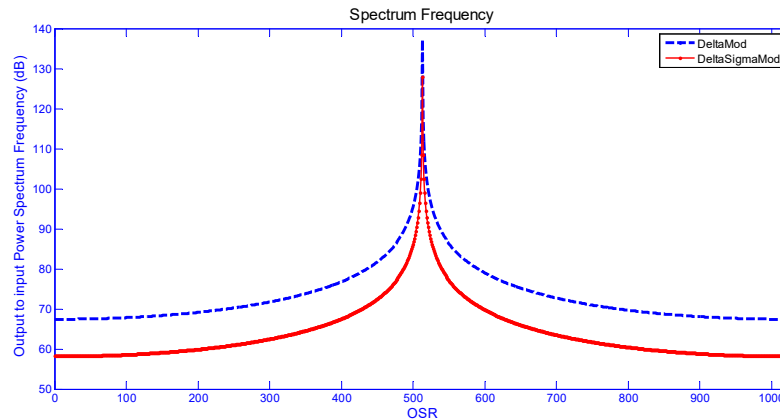
5.3 Perbandingan kuantisasi hasil modulasi pada Delta Modulasi dan Delta-Sigma Modulasi

Gambar 5.8 dan Gambar 5.9 berikut memperlihatkan perbandingan hasil kuantisasi 1-bit pada Delta Modulasi dan Delta-Sigma Modulasi. Delta-Sigma Modulasi 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 kontinyu 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 5.8. Output spectrum $T_{\text{sample}}=10000$, Amplitude=0.5, step size = 0.05

Gambar 5.8 memperlihatkan validasi hasil simulasi melalui perbandingan spectrum frekuensi. Hasil menunjukkan bahwa Delta-Sigma Modulasi memiliki noise shaping yang lebih baik dimana noise floor dapat mudah di null-kan pada posisi sekitar channel data yang diinginkan.



Gambar 5.9. Perbandingan NTF Delta-Modulasi dan Delta-Sigma Modulasi.

Gambar 5.9 memperlihatkan perbandingan *noise transfer function* (NTF) Delta-Sigma Modulasi menurun hingga 10 dB dibawah dari Delta-Modulasi. 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.

5.4 Penyusunan Modul Praktikum

Penyusunan modul praktikum berupa buku penuntun percobaan (job sheet). Garis besar isi modul ini akan menyesuaikan standar job sheet yang sudah ada terutama pada praktikum Komunikasi Digital di Liboratorium Siskomdat jurusan Teknik Elektro PNUP, yakni terdiri atas:

- Judul Percobaan
- Tujuan dan Maksud Percobaan
- Teori Dasar
- Alat dan Bahan
- Langkah Percobaan
- Data Analisis
- Kesimpulan dan Saran

Hasil tampilan modul dapat dilihat pada halaman lampiran.

BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Sistem modulasi digital yang diperkenalkan dalam proses belajar praktikum di laboratorium Sikomdat belum mencakup keseluruhan sistem modulasi digital yang telah ada dalam kemajuan teori pengetahuan telekomunikasi saat ini. Praktikum Modulasi Delta yang sudah lama diberikan sebagai salah satu job praktikum masih dianggap sudah tidak relevan lagi. Sistem ini 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. Modulasi Delta-Sigma (MDS) merupakan salah satu jawabannya. 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 MDS ini.

- a. Hasil penelitian ini telah menghasilkan pemodelan struktur MDS orde-1 dan orde-2. Kedua karakteristik pemodelan menunjukkan hasil yang signifikan, semakin besar OSR dan order filter maka resolusi kuantisasi semakin baik.
- b. Modul MDS yang dibuat diharapkan dapat menambah jumlah job sheet yang ada dalam kegiatan praktikum Siskomdat. Modul praktikum MDS ini memuat proses konversi sinyal ADS/DAC sebagai filter digital yang menghasilkan bit-stream digital yang lebih baik.

6.2 Saran

- a. Dapat dilakukan penelitian lanjutan tentang konsep tunability pada struktur MDS
- b. Pemodelan ini membutuhkan unit computer dan stabilitas RAM baik dan dilengkapi dengan build ini MATLAB software yang terupdate.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ayuni. A, Fitria A. F., **Sulwan. D.**, Rizal A. D. (2017). Rancang Bangun Antena LTE Microstrip Slot Dua Elemen Untuk Band Frekuensi 800 MHz. Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI 2017) PNUP, hal. 311-314.
2. Frattasi. S., Fathi. H., Fitzek. F. H., Prasad. R., dan Katz. M. D. (2006). *Defining 4G technology from the users perspective*. IEEE Network, vol. 20, hal. 35-41.
3. Ghannouchi, F. M. (2010). *Power amplifier and transmitter architectures for software defined radio systems*. Circuits and Systems Magazine, IEEE, vol. 10, hal. 56-63.
4. Norsworthy, S.R., Schreier, R. dan Temes, G.C. (1996). Delta-sigma data converters: theory, design, and simulation. Wiley-IEEE Press.
5. Nuraeni. U, Airin D. U. T., dan **Sirmayanti. S.** (2017). Pengembangan Sistem Delta Modulation Ke Pemodelan Signal Conversion Delta-Sigma Modulation. Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M 2017), ISSN. 978-602-60766-3-2, hal. 165-170.
6. Schreier R., Temes G. C., dan Wiley J. (2005). Understanding delta-sigma data converters. IEEE press Piscataway, NJ, vol. 74.
7. **Sirmayanti, S.**, dan Faulkner, M. (2014). $\Sigma\Delta$ Modulator for Digital Wireless Architecture: A review. Proceeding in IEEE 4th MICEEI International Conference, hal. 83-87, DOI: 10.1109/MICEEI.2014.47067316.
8. **Sirmayanti. S.**, dan Halide. L. (2016). Fenomena noise shaping dan harmonik pada Sigma Delta based RF Transmitter untuk aplikasi software radio multiband. Laporan Penelitian Hibah Bersaing DIKTI 2016 No. nomor:023/PL10.10/PL/2016. Perpustakaan PNUP.

B.100

LAPORAN KARYA ILMIAH HASIL PENELITIAN PERIODE 2015-2018

1. Studi Dan Analisis Pemodelan End-To-End SNR Pada Transmisi Relay Dual-Hop Dengan Mixed-Multipath Fading Channel (2015)
Penulis: Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D. / Lidemar Halide, S.T., M.T
2. Fenomena Noise Shaping Dan Harmonik Pada Sigma Delta Based RF Transmitter Untuk Aplikasi Software Radio Multiband (2016)
Penulis: Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D. / Lidemar Halide, S.T., M.T
3. Akurasi Simetrik Distorsi Image Dan Solusi Image Cancellation Dari Fenomena Harmonik Up-Conversion Structure (2017)
Penulis: Ir. Ichsan Mahjud, M.T / Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D.
4. Penerapan Sistem Baseband Tuning Pada Pemodelan Transmisi Radio Frequency (Rf) Berbasis Software Radio, Tahun-1 (2017)
Penulis: Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D. / Ir. Farchia Ulfiah, M.T. / Airin Dewi Utami, S.T., M.T
5. Penerapan Sistem Baseband Tuning Pada Pemodelan Transmisi Radio Frequency (Rf) Berbasis Software Radio, Tahun-2 (2018)
Penulis: Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D. / Irfan Syamsuddin, S.T., M.ComISM., Ph.D / Airin Dewi Utami, S.T., M.T./ Ir. Ichsan Mahjud, M.T
6. Perancangan Sigma-Delta Modulation Based Digital Filter Untuk Modul Praktikum Sistem Komunikasi Digital (2018)
Penulis: Sulwan Dase, S.T., M.T. / Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D.



**UPT PERPUSTAKAAN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
2018**

B.100

B.100

SIRMAYANTI, DKK

LAPORAN KARYA ILMIAH HASIL P

LAPORAN KARYA ILMIAH HASIL PENELITIAN PERIODE 2015-2018

1. Studi Dan Analisis Pemodelan End-To-End SNR Pada Transmisi Relay Dual-Hop Dengan Mixed-Multipath Fading Channel (2015)
Penulis: Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D. / Lidemar Halide, S.T., M.T
2. Fenomena Noise Shaping Dan Harmonik Pada Sigma Delta Based RF Transmitter Untuk Aplikasi Software Radio Multiband (2016)
Penulis: Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D. / Lidemar Halide, S.T., M.T
3. Akurasi Simetrik Distorsi Image Dan Solusi Image Cancellation Dari Fenomena Harmonik Up-Conversion Structure (2017)
Penulis: Ir. Ichsan Mahjud, M.T / Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D.
4. Penerapan Sistem Baseband Tuning Pada Pemodelan Transmisi Radio Frequency (Rf) Berbasis Software Radio, Tahun-1 (2017)
Penulis: Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D. / Ir. Farchia Ulfiah, M.T. / Airin Dewi Utami, S.T., M.T
5. Penerapan Sistem Baseband Tuning Pada Pemodelan Transmisi Radio Frequency (Rf) Berbasis Software Radio, Tahun-2 (2018)
Penulis: Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D. / Irfan Syamsuddin, S.T., M.ComISM., Ph.D / Airin Dewi Utami, S.T., M.T / Ir. Ichsan Mahjud, M.T
6. Perancangan Sigma-Delta Modulation Based Digital Filter Untuk Modul Praktikum Sistem Komunikasi Digital (2018)
Penulis: Sulwan Dase, S.T., M.T. / Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D.

PERPUSTAKAAN B.J. HABIBIE
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
KETT15
SR
CJ



**UPT PERPUSTAKAAN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
2018**

PERIODE 2015-2018

LEMBAR

HASIL PENILAIAN SEJAWAT SEBIDANG ATAU PEER REVIEW

KARYA ILMIAH : HASIL PENELITIAN ATAU HASIL PEMIKIRAN YANG TIDAK DIPUBLIKASIKAN (TERSIMPAN DI PERPUSTAKAAN PERGURUAN TINGGI)*

Judul Artikel : Perancangan Delta-Sigma Modulation Based Digital Filter untuk Modul Praktikum Sistem Komunikasi Digital

Jumlah Penulis : 2 (dua) orang

Status Pengusul : penulis-pertama/**Penulis kedua**/penulis-korespondensi **

Identitas Artikel :

- a. Nama Seminar :
- b. Nomor ISSN :
- c. Waktu Penyelenggaraan :
- d. Penerbit/Penyelenggara : Perpustakaan PNUP
- e. Tanggal Publikasi : Nov-18
- f. DOI artikel (jika ada) :
- g. Alamat web jurnal :
- h. Keterangan (opsional) : LAPORAN AKHIR PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI PNUP 2018

Hasil Penilaian Peer Review :

Komponen Yang Dinilai	Nilai Maksimal Artikel			Nilai Akhir Yang Diperoleh
	Internasional/Internasional bereputasi** <input type="checkbox"/>	Nasional Terakreditasi <input type="checkbox"/>	Nasional *** <input checked="" type="checkbox"/>	
a. Kelengkapan unsur isi artikel (10%)			10	10
b. Ruang lingkup dan kedalaman pembahasan (30%)			27	27
c. Kecukupan dan kemutakhiran data/informasi dan metodologi (30%)			25	25
d. Kelengkapan unsur dan kualitas terbitan/jurnal (30%)			25	25
Total = (100%)			87	87
Nilai Pengusul = $87 \times 40\% =$			87	

Catatan Reviewer :

.....
 - Penelitian terapan

 - Sesuai bidang keahlian.

Makassar, 2 Aug 2021
 Reviewer 2,

Dr. Ir. Satriani Said Akhmad, M.T.
 NIP. 19670904 199303 2 001
 Unit kerja : Jurusan Teknik Elektro PNUP

*Dinilai oleh dua Reviewer secara terpisah

**coret yang tidak perlu

***nasional/terindeks di DOAJ, CABI, Copernicus

LEMBAR
HASIL PENILAIAN SEJAWAT SEBIDANG ATAU PEER REVIEW
KARYA ILMIAH: LAPORAN PENELITIAN YANG TIDAK DIPUBLIKASIKAN*

Judul laporan : Perancangan Delta-Sigma Modulation Based Digital Filter untuk Modul Praktikum Sistem Komunikasi Digital

Penulis laporan : Sulwan Dase, Sirmayanti

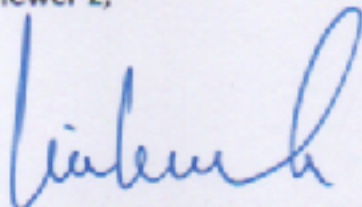
Identitas laporan : a. Tahun terbit : 2018
 b. Penyandang Dana : DIPA PNUP
 c. Jumlah halaman : 20 halaman

Hasil Penilaian Peer Review :

No.	Komponen yang dinilai	Nilai Maksimum Laporan Penelitian	Nilai yang diberikan penilai (NP)
a.	Kelengkapan unsur isi laporan (10%) (Mencakup prakata, daftar isi, bab/bagian, daftar Pustaka, lembar pengesahan, dan kelengkapan lain)	0,2	0,2
b.	Ruang lingkup dan kedalaman pembahasan (40%) (Memiliki relevansi dengan bidang keilmuan, melakukan analisis, eksplorasi, dan elaborasi terhadap masalah yang dibahas)	0,8	0,75
c.	Kecukupan dan kemuktahiran data/informasi dan metodologi (40%) (Mengungkap konsep dan mengkaji fenomena muktahir yang didukung data hasil penelitian, menggunakan kajian akademik ilmiah, bahasa yang mudah dipahami, serta didukung dengan pustaka yang relevan).	0,8	0,75
d.	Kebermanfaatan (10%) (Memberikan manfaat bagi kemajuan ilmu dan solusi bagi masalah yang dihadapi masyarakat)	0,2	0,175
Total = (100%)		2	1,875
Nilai Pengusul: 1,875			
Catatan Penilai artikel oleh Reviewer: Kelengkapan unsur isi, ruang lingkup, pembahasan, metode dan data telah cukup. Sesuai dengan bidang keilmuan pengusul. Analisis dan pembahasan cukup dalam. Terdapat pustaka rujukan yang tidak up-to-date.			

Makassar, 11 September 2021

Reviewer 2,



Iin Karmila Yusri, SST. MEng. PhD.

NIP. 19760403 200212 2 001

Unit Kerja: Jurusan Teknik Elektro PNUP