

## Analisis Fenomena Harmonik Pasca Proses PWM/PPM Pada Struktur RF-Upconverter

Sirmayanti<sup>1)</sup> dan Ichsan Mahjud<sup>2)</sup>

<sup>1),2)</sup> Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar  
[sirmayanti.sirmayanti@poliupg.ac.id](mailto:sirmayanti.sirmayanti@poliupg.ac.id)

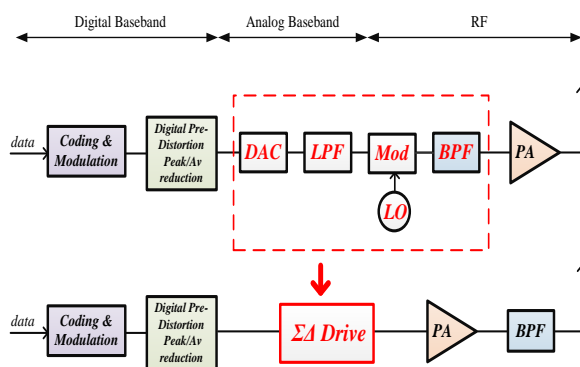
### Abstract

Sebuah konsep baru dari sistem upconverter Tx-RF telah menggunakan struktur Delta-Sigma (DS). Namun, tantangan utama dari Tx-RF upconverter DS adalah harmonisa tinggi. Harmonik adalah gangguan sinyal terbesar karena menyebabkan gangguan dan mengurangi sinyal kekuatan pada sinyal yang diinginkan. Penulisan makalah ini bertujuan untuk mengetahui dan menganalisis proses harmonisa yang muncul setelah melalui proses quantization dan pulse width/position modulation (PWM/PPM), dan merupakan bagian pengujian kinerja struktur upconverter Tx-RF. Metode penelitian dengan memanfaatkan noise shaping management berkaitan dengan fenomena distorsi tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa blok PPM bertanggung jawab atas fenomena distorsi ini dan distorsi terbesar berada pada posisi image dan harmonik urut ketiga (3rd harmonic). Kontribusi penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan pemodelan digitalisasi perangkat transmisi RF yang lebih optimal, terbaru dan diterapkan pada sistem telekomunikasi nirkabel masa depan.

**Keywords :** Harmonic, PWM, PPM, upconverter, noise-shaping

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan komunikasi nirkabel berbasis *software radio* kini sudah terbuka lebar peluangnya dalam menunjang konsistensi digitalisasi pada teknologi wireless seluler masa depan. Konsep *software radio* merupakan sistem pengolahan digitalisasi radio sinyal yang handal dan menyeluruh dalam bentuk software [1]. Dalam hal mendukung sistem pengolahan digitalisasi signal secara menyeluruh maka diperlukan komponen-komponen pada perangkat keras pengirim dan penerima (*hardware transceiver*) yang beroperasi dalam proses signal digital.



Gambar 1. Eliminasi komponen arsitektur wireless analog (atas) dengan arsitektur struktur Sigma-Delta ( $\Sigma\Delta$ ) (bawah).

Sebuah konsep baru sistem transmisi digital nirkabel *radio frequency* (RF) kini telah

diperkenalkan dengan menggunakan struktur Sigma-Delta ( $\Sigma\Delta$ ). Seperti terlihat pada Gambar 1, fungsi radio analog seperti *analog-to-digital* dan *digital-to-analog converters* (ADC dan DAC), proses modulasi dan serta proses filter (low pass filter - LPF dan band pass filter - BPF) kini sudah tergantikan dengan struktur  $\Sigma\Delta$  upconversion. Dengan beralihnya komponen-komponen tersebut ke proses *digital signal processing* (DSP) maka makin memudahkan terintegrasinya keseluruhan sistem yang dioperasikan secara software.

Struktur  $\Sigma\Delta$  upconversion ini memiliki kemampuan yang baik dan sangat linear dalam mengatasi persoalan noise shape yang merupakan masalah utama dalam proses konversi digital. Proses ADC dalam struktur modulasi  $\Sigma\Delta$  dapat menekan *noise floor* serendah mungkin. Namun demikian, struktur  $\Sigma\Delta$  upconversion masih memiliki beberapa persoalan yakni belum dapat menghilangkan distorsi signal disekitarnya. Oleh karena itu sangat diperlukan penelitian dasar dalam mengkaji penyebab terjadinya distorsi signal tersebut.

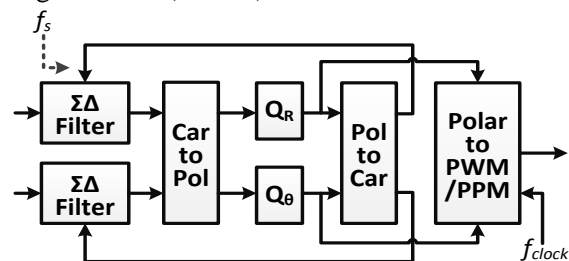
Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pemodelan struktur  $\Sigma\Delta$  upconversion melalui metode management *noise shaping* terkait fenomena dasar *image* dan harmonik pasca proses konversi PWM dan PPM. Manfaat penelitian ini adalah untuk pengembangan sebuah perangkat baru

transmisi digital nirkabel-RF GHz berbasis SDR RF-transmitter, yang berdaya sangat rendah dan dengan ukuran perangkat transmitter yang kecil sesuai pada slogan *green communcation*. Slogan *green communication* menatap sistem telekomunikasi masa depan yang berbasis ramah lingkungan yaitu perangkatnya ukuran kecil, daya input rendah, murah, effeciency besar dan berkapasitas bandwidth besar. Oleh karena itu, urgensi penelitian ini mencakup pengembangan *frequency sharing* dari ketersediaan sumber frekuensi khusus untuk wireless yang semakin terbatas sebagai akibat banyaknya alokasi frekuensi yang terbagi untuk berbagai aplikasi [2]. Urgensi penelitian lainnya adalah pembangunan arsitektur RF berstruktur  $\Sigma\Delta$  frekuensi GHz. Gagasan ini berkesesuaian standar *future wireless* (G4, G5, dan seterusnya) pada setiap inovasi industri telekomunikasi dan sebagai *future* infrasturktur teknologi telekomunikasi yang terbaru. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat mengembangkan pemodelan digitalisasi upconverter berstruktur  $\Sigma\Delta$  GHz yang lebih optimal, terbaru dan diaplikasikan dalam sistem telekomunikasi wireless masa depan. Hasil penelitian ini akan memberikan sumbangan kontribusi ilmu pengetahuan berupa teknik modulasi  $\Sigma\Delta$ , kuantisasi  $\Sigma\Delta$ , konsep SDR, dan RF design.

## II. KAJIAN LITERATURE

Studi dasar teknik filter  $\Sigma\Delta$  yakni modulator  $\Sigma\Delta$  orde-1 (MOD1) dan orde-2 (MOD2) dapat memperlihatkan fenomena *noise shaping* [3]. Semakin tinggi *over sampling ratio* (OSR) dan level ordernya, *noise shaping* akan semakin kecil. Sebuah pemodelan baru polar  $\Sigma\Delta$  menuju struktur Cartesian  $\Sigma\Delta$  telah didesign untuk mengatasi masalah pelebaran lebar pita (*switching bandwidth*) dan fleksibilitas perangkat transmisi untuk mengeliminasi beberapa komponen analog. Struktur Cartesian  $\Sigma\Delta$  ini terdiri atas tiga sub-struktur penting yaitu modulator  $\Sigma\Delta$  (Filter  $\Sigma\Delta$ ), Quantiser ( $Q_R$  dan  $Q_\theta$ ) dan Converter PWM/PPM, seperti terlihat pada Gambar 2. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa resolusi kuantisasi bisa dikembangkan bukan hanya berdasarkan clock periodnya saja

namun bisa disesuaikan level dimensi kuantisasi yang digunakan [4]. Keluaran  $\Sigma\Delta$  driver, Gambar 1, adalah berupa bit stream digital sehingga mampu beroperasi pada operasi *switch mode power amplifiers* (SMPAs). Proses konversi bit stream digital tersebut dilakukan pasca proses *pulse width modulation* (PWM) dan *pulse position modulation* (PPM). Secara teori, SMPAs memiliki kemampuan meningkatkan efisiensi dan kelinearan sistem transmisi dan juga cukup hanya membutuhkan daya power input yang sangat rendah (mWatt).



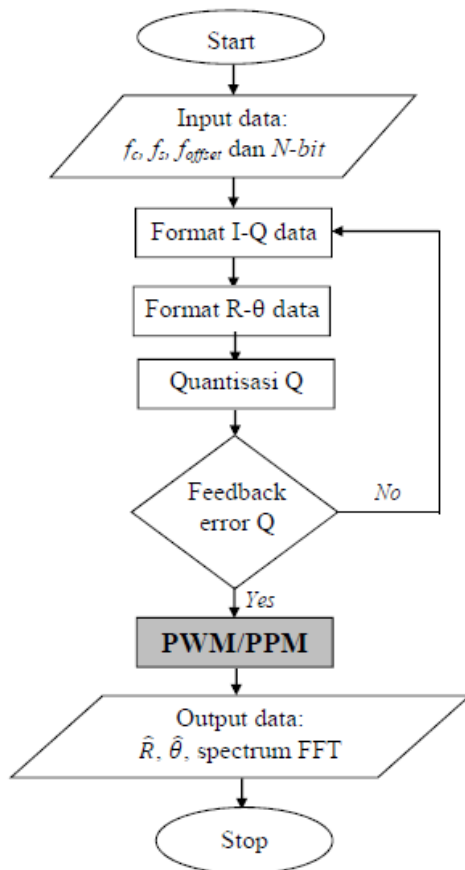
Gambar 2. Struktur Cartesian  $\Sigma\Delta$ .

## III. METODE PENELITIAN

Kegiatan simulasi telah dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Sinyal Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP). Waktu pelaksanaan kegiatan telah dilakukan selama 8 bulan (April – November) tahun 2017.

Skema blok diagram sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2. Cara kerja sistem adalah sebagai berikut:  $\Sigma\Delta$  filter berstruktur low-pass  $\Sigma\Delta$  order 2 (MOD2) berada pada awal sistem, berfungsi untuk menekan noise floor dan membentuk noise shaping. Signal baseband Cartesian  $I$ - $Q$  akan melalui  $\Sigma\Delta$  filter. Output filter selanjutnya akan dikonversi kedalam format polar menuju blok modulasi Quantiser- $Q$ , yang berupa fungsi kuantisasi sinyal polar. Metode konversi dapat dilakukan dengan persamaan umum  $R = \sqrt{I^2 + Q^2}$  dan  $\theta = \tan^{-1} \left( \frac{Q}{I} \right)$ . Proses kuantisasi akan dilakukan secara terpisah baik yaitu untuk amplitudo (blok  $Q_R$ ) dan fasa (blok  $Q_\theta$ ). Blok akhir adalah blok konversi output yang melalui proses *pulse width modulation/pulse position modulation* (PWM/PPM). Output yang akan dihasilkan adalah sinyal waveform RF ( $w_n$ ).

Pelaksanaan pembuatan simulasi pemodelan dapat dilihat pada flowchart Gambar 3. Flowchart ini membantu dalam pentahapan penulisan algoritma code MATLAB.



Gambar 3. Flowchart simulasi penelitian.

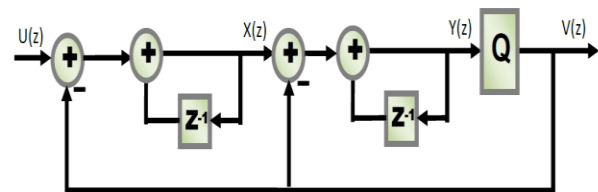
#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### a. Pemodelan struktur RF-upconverter melalui metode management noise shaping

Modulator  $\Delta\Sigma$  memiliki beberapa fungsi khusus yaitu sebagai *noise shaping filter* dan *oversampling*. Modulator  $\Delta\Sigma$  sebagai *noise shaping filter* dapat mendistribusikan kuantisasi error atau noise pada posisi terendah dalam band signal yang diinginkan. Modulator  $\Delta\Sigma$  sebagai *oversampling* secara sederhana dapat mencuplik signal inputnya sebesar dua kali sebesar bandwidthnya dan menurunkan kuantisasi noise pada band signal yang diinginkan.

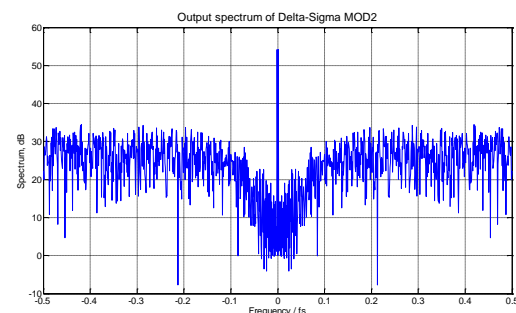
Blok system pada Gambar 2 menggunakan skema modulator  $\Delta\Sigma$  orde kedua (MOD2). Sebagaimana pada Gambar

4 terlihat konstruksi pengembangan filter melalui dua buah integrator pada setiap fungsi loop  $\Sigma$ . Pemodelan ini diharapkan memiliki bentuk noise terendah dengan bertambahnya orde level modulasinya.



Gambar 4. Struktur modulator  $\Delta\Sigma$  orde kedua dan z-domain MOD2.

Hasil simulasi pada Gambar 5 menunjukkan *noise transfer function* (NTF) respon frekuensi keluaran  $\Delta\Sigma$  MOD2.

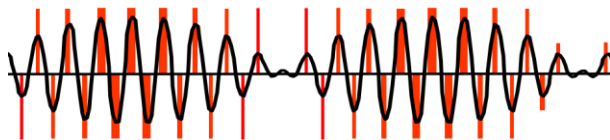


Gambar 5. Noise shaping pada filter  $\Delta\Sigma$  MOD2 (sample per period =1024).

Terlihat jelas bahwa noise shaping berhasil terbentuk pada performasi ini dan posisi *noise floor* terendahnya dapat berada tepat pada posisi channel yang diinginkan.

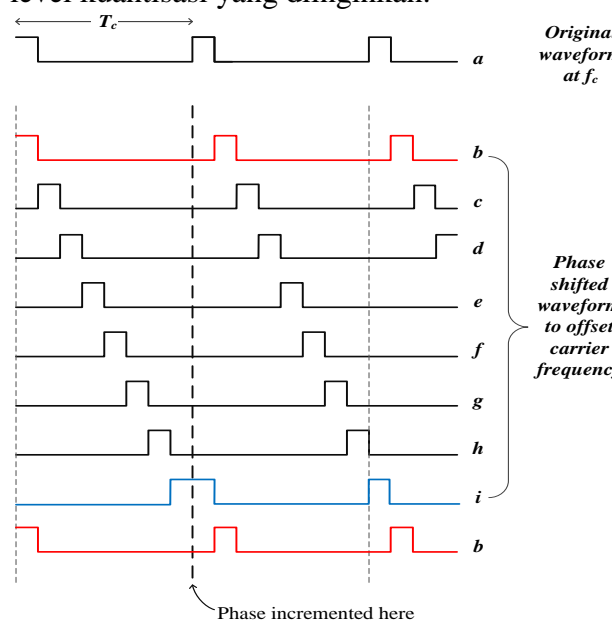
##### b. Analisis fenomena harmonik pasca proses PWM/PPM

Pembangkitan pulsa RF dengan modulasi lebar pulsa (PWM) sangat cocok digunakan pada model struktur pemancar *switched mode* [5]. Gambar 6 mengilustrasikan bagaimana menghasilkan signal biner melalui proses PWM/PPM; lebar pulsa signal mewakili nilai amplitud signal RF sedangkan posisi pulsa mewakili nilai fasa signal RF. PWM/PPM dapat beroperasi dengan sinkronisasi grid pewaktuan yang tepat dan hal ini sangat diinginkan selama proses DSP.



Gambar 6. Proses PWM/PPM menghasilkan sinyal pembawa RF carrier.

Metode kuantisasi dari *pulsewidth period* menjadi sinyal RF pasca PWM/PPM memunculkan distorsi di sekitar spectrum keluaran (walaupun *noise floor*-nya sudah yang sangat rendah dari *pulsewidth period* bernilai ganjil). Proses PPM merupakan hal yang paling krusial penyebab utama fenomena ini. Sebagaimana diketahui bahwa perubahan fasa pada signal RF diwakili melalui perubahan posisi pulsa  $w_n$ . *Digital timing* harus dipastikan selalu berada tepat pada awal pulsa persis saat posisi awal pulsa input  $w_n$  akan diproses. Perbedaan OSR yang digunakan pun mempengaruhi perubahan level kuantisasi yang diinginkan.



Gambar 7. Phase shift waveform saat pulsa mengganti posisi selama proses PWM/PPM.

Perubahan fasa bergantung kepada nilai perubahan carrier per period-nya. Setiap perubahan ini tentunya dapat mempengaruhi adanya perubahan level kuantisasi yang terjadi setiap saat. Demikian pula bahwa setiap perubahan amplitudo mempengaruhi terjadinya loss atau gain, seperti misalnya yang terjadi pada *amplitude modulation* (AM). Saat pulsa berada diposisi atas (tinggi, berlogika "1") dan ketika diposisi akhir untuk mengalami perubahan posisi logika

maka pulsa ini akan mengikuti dan menyesuaikan perubahan pelebaran karena terikuti oleh pulsa pengikut lainnya dari periode lain, sehingga total perubahan lebar pulsa akan semakin melebar. Sebagaimana terlihat pada Gambar 7, *waveform a-h* adalah perubahan pulsa yang beraturan dalam satu periode sama. Ketika pulsa waveform tersebut akan bergerer ke periode berikutnya, perubahan *waveform-h* menjadi terlihat di *waveform-i* dan mengalami pelebaran pulsa. Proses inilah kemudian memunculkan fenomena harmonik dan beberapa produk spektral liar yang tidak diinginkan disekitar band signal yang diinginkan.

## V. KESIMPULAN

Permasalahan dan tantangan pada transmitter RF skema Cartesian  $\Sigma\Delta$  upconverter adalah fenomena noise shaping dan harmonik signal yang besar. Harmonik ini muncul setelah melalui proses kuantisasi. Harmonik signal merupakan gangguan signal (distorsi) terbesar karena menyebabkan interferensi dan mengurangi *strength signal* pada band signal yang diinginkan. Diperoleh hasil bahwa dominan distorsi adalah image dan 3<sup>rd</sup> harmonic. Penerapan tunability (*baseband tuning*) untuk meningkatkan *dynamic range* pemodelan *upconverter* melalui akurasi OSR dan pemilihan  $f_{offset}$  (*frequency offset*) yang tepat dapat dilakukan untuk solusi permasalahan.

## REFERENSI

- [1] Ghannouchi, F. M. 2010. Power amplifier and transmitter architectures for software defined radio systems. *IEEE Circuits and Systems Magazine*. Vol. 10, hal. 56-63.
- [2] Santhi, K. R., Srivastava, V. K., SenthilKumaran, G., dan Butare, A. 2003. Goals of true broad band's wireless next wave (4G-5G). *IEEE Conference on Vehicular Technology (VTC)*. Vol. 4, hal. 2317-2321.
- [3] Sirmayanti, S., dan Faulkner, M. 2014. Tuning baseband on Cartesian Delta-Sigma Up-conversion. *IET e-Letters Journal*, Vol. 50(8), hal. 635-637.
- [4] Sirmayanti, S., dan Lidemar, H. 2016. Fenomena noise shaping dan harmonik pada Sigma Delta based RF Transmitter untuk

- aplikasi software radio multiband. Laporan Penelitian Hibah Bersaing DIKTI 2016 No. 023/PL10.10/PL/2016. Perpustakaan PNUP.
- [5] Bassoo, V., dan Faulkner, M. 2009. Sigma-delta digital drive signals for switchmode power amplifiers. *Electronics Letters*, vol. 44, hal. 1299-1300.