

## ATURAN PEMODELAN KOMPUTASI UNTUK ELIMINASI SIGNAL SPEKTRUM-RF YANG TIDAK DIINGINKAN

### COMPUTATIONAL MODELING RULE FOR UNWANTED SIGNAL RF-SPECTRUM ELIMINATION

Sirmayanti<sup>1</sup>, Lidemar Halide<sup>2</sup>, Dewiani<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang

<sup>3</sup>Departemen Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin

<sup>1</sup>[sirmayanti.sirmayanti@poliupg.ac.id](mailto:sirmayanti.sirmayanti@poliupg.ac.id), <sup>2</sup>[lidemarh@yahoo.com](mailto:lidemarh@yahoo.com), <sup>3</sup>[dewiani@unhas.ac.id](mailto:dewiani@unhas.ac.id)

#### Abstrak

Salah satu mekanisme menuju digitalisasi pemancar-penerima (Tx-Rx) melalui *upconverter*-RF adalah memahami aturan komputasi sebagai solusi yang tepat pada permasalahan harmonik. Penyebab terjadinya harmonik pada *spectrum*-RF di arsitektur *upconverter*-RF adalah pada proses kuantisasi. Setiap perubahan detak kuantisasi menyebabkan interferensi sehingga muncul *unwanted signal* pada sekitar signal yang ditargetkan. Sejumlah harmonisa muncul juga disebabkan oleh sifat *rectangular nature* selama proses *pulse width/position modulation* (PWM/PPM). Untuk mencapai optimalisasi eliminasi *unwanted signal* ini, diperlukan selektifitas *over sampling ratio* (OSR) yang tepat dan teknik ketepatan penggunaan *fc* terhadap *frequency clock* ( $f_{clock}$ ).  $f_{clock}$  merupakan factor penentu untuk menetapkan jumlah titik kompleksitas kuantisasi karena terkait keterwakilan level fasa dan amplitude pada signal. Oleh karena itu diperlukan aturan komputasi dalam memprediasi besarnya ukuran produk harmonik tersebut dan solusi eliminasi harmonik yang dimaksudkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distorsi harmonik hanya terjadi ketika aplikasi *offset* digunakan pada range <40 MHz agar imbas *noise floor* tidak ikut meningkat signifikan. Aturan penting dalam langkah eliminasi distorsi harmonik adalah penggunaan polar-Q yang optimal. Persyaratan berikunya berupa pemilihan *offset* dan OSR yang tepat agar terjadi pengurangan *noise floor* atau *noise shape* yang tepat. Penurunan level distorsi harmonik dapat terjadi pada penggunaan OSR yang kecil sehingga potensi solusi *unwanted signal elimination* ini pun dapat dilaksanakan.

**Kata kunci:** *spectrum-RF, upconverter-RF, harmonic, noise-cancellation, Sigma-Delta Modulation*

#### Abstract

One of the mechanisms leading to transmitter-receiver digitization (Tx-Rx) via *upconverter*-RF is to understand computational rules as the correct solution to harmonic problems. The cause of harmonics on the RF-spectrum in the *upconverter*-RF architecture is in the quantization process. Any change in the quantization rate causes interference so that an unwanted signal appears in the vicinity of the targeted signal. A number of harmonics appear also due to the rectangular nature during the pulse width/position modulation (PWM/PPM) process. To achieve the optimal elimination of this unwanted signals, having the right selectivity *over sampling ratio* (OSR) and precise techniques of using *fc* against the *frequency clock* ( $f_{clock}$ ).  $f_{clock}$  is a determining factor for determining the number of points of quantization complexity due to the representation of the phase level and amplitude of the signal. Therefore, computational rules are needed to rationalize the size of the harmonic product and the intended harmonic elimination solution. The results showed that harmonic distortion only occurred when the *offset* application was used in the <40 MHz range so that the noise floor impact did not increase significantly. An important rule in the harmonic distortion elimination step is the use of the optimal polar-Q. The next requirement is in the form of selecting the right offset and OSR in order to reduce the noise floor or noise shape. A decrease in the level of harmonic distortion can occur with the use of a small OSR so that the potential for this unwanted signal elimination solution can be implemented.

**Keywords:** *spectrum-RF, upconverter-RF, harmonic, noise-cancellation, Sigma-Delta Modulation*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi nirkabel yang diintergerasikan dari *peripheral hardware* menuju *software* adalah goal digitalisasi perangkat sistem *transceiver* telekomunikasi (Tx/Rx) saat ini. Teknologi nirkabel wireless seluler 4G kini dan 5G mendatang menawarkan data dan *streaming* video dengan kualitas yang tinggi dan daya tampung data yang lebih besar dibandingkan dengan 3G. Salah satu konsep digitalisasi *transceiver* adalah sistem pengolahan digitalisasi sinyal melalui mekanisme *Software Defined Radio* (SDR) [1-3].

Berbasis *software radio*, kini sistem komunikasi nirkabel sangat terbuka lebar peluangnya dalam menunjang konsistensi digitalisasi teknologi wireless seluler G4, G5 dan generasi-generasi berikutnya di masa depan. SDR lebih mendekati pada eliminasi fungsi radio konvensional melalui *digital signal processing* (DSP) [4] serta mudah menyesuaikan jenis standar apapun dalam implementasi instrument telepon seluler [5]. Dengan beralihnya komponen-komponen proses signal digital kemudian makin memudahkan terintegrasinya keseluruhan sistem yang dioperasikan sebagai perangkat lunak.

Konseptual arsitektur transmitter berbasis *analog-digital converter* (ADC/DAC) dalam beberapa hasil pengujian memiliki kemampuan yang baik dan sangat linear dalam mengatasi persoalan *noise shape* yang merupakan masalah utama dalam proses konversi digital [6]. Proses ADC/DAC dalam struktur RF-*upconverter* berbasis modulasi  $\Sigma\Delta$  misalnya yang dapat menekan *noise floor* serendah mungkin namun belum dapat menghilangkan distorsi signal disekitarnya (unwanted signal) [7], [8]. Kinerja lemah ini pun akan makin meningkatkan fenomena distorsinya ketika *carrier frequency* digeser menjauhi *centre-band* pusat.

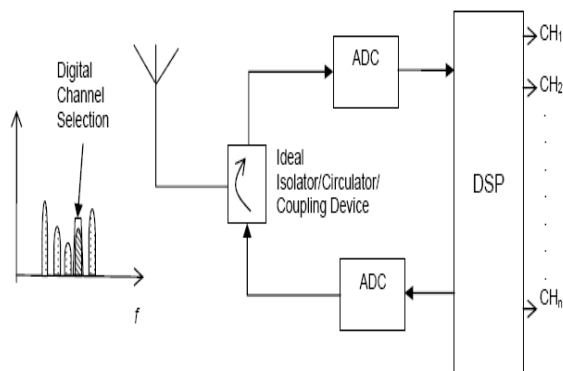
Tulisan ini adalah hasil kajian dasar dalam mempelajari fenomena distorsi tersebut. Sebuah metode terbaru *novelty* akan diuraikan melalui teknik dasar *unwanted signal elimination*. Uraian ini hanya terbatas pada pembahasan sebuah contoh dengan *offset frequency* dan OSR tertentu saja sebagai role-model komputasi berdasarkan analisis matematikanya.

## 2. DASAR TEORI DAN METODOLOGI

Dalam *software radio*, *spectrum sharing* (pemakaian bersama spektrum frekuensi) melalui *dynamic-coordination* akan digunakan. Umumnya *software radio* ialah berupa sistem komputer dan bahkan dianggap sebagai radio dalam sebuah komputer atau komputer sebagai Tx. Sistem ini menyediakan fitur teknologi komunikasi dan memudahkan pula pemantauan perhitungan kebutuhan bagi user terhadap jaringan diinginkannya. Selain itu, *white space* dapat dikreasikan lebih mungkin kedalam penggunaan spektrumnya. Kemampuan *spectrum sharing* ini dapat dibangun melalui sistem shift pada sistem komunikasi wireless dari pemancar (Tx) ke penerima (Rx) dengan jalan apapun saat *interference-power* lebih besar dari pemancaran Tx.

*Software radio* memungkinkan sebuah konsep *multi-mode/multi-band/multi-carrier* yang terdiri atas penerima dengan multi-penyambungan. Kanal yang diinginkan diseleksi dengan menggunakan sebuah filter seleksi kanal tetap (*adaptive duplexer*) pada frekuensi menengah dan lebar pita kanal yang diatur oleh parameter standar yang diberlakukan [6], [8]. Arsitektur umum *software radio* seperti terlihat pada Gambar 1. Pada konsep ini, konversi analog ke digital ditempatkan langsung pada sisi awal sistem. Setiap band yang masuk, yang memuat beberapa kanal, akan didigitalisasikan sehingga semua fungsi kerja radio yang dilaluinya akan diformasikan menggunakan program mikroprosesor DSP. Model sistem ideal penerima ini dapat pula dikonfigurasi kembali sehingga cocok pada semua band RF, modulasi ataupun format data. [1] menyatakan bahwa kapasitas dan efisiensi sistem sangat berpengaruh terhadap level sinyal dan noisanya. Dengan sistem ini, jaringan komunikasi *software radio* yang berlangsung mendapatkan

keuntungan yang sangat signifikan terutama dalam hal pengurangan ukuran, biaya dan konsumsi daya.

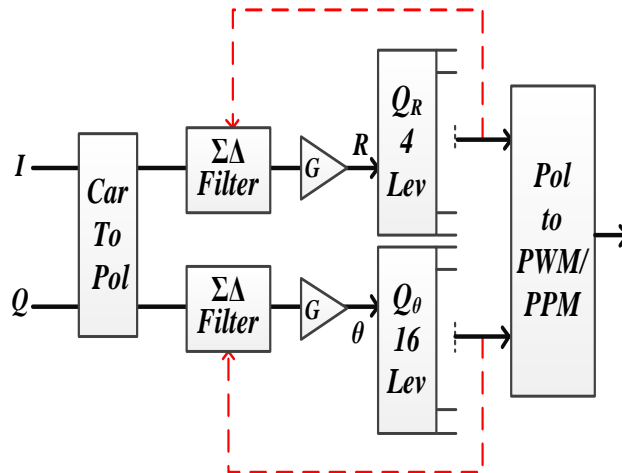


Gambar 1. Arsitektur ideal software radio [3].

Studi dasar teknik filter  $\Sigma\Delta$  yakni modulator  $\Sigma\Delta$  orde-1 (MOD1) dan orde-2 (MOD2) adalah perbandingan struktur  $\Sigma\Delta$  MOD1 dan MOD2 dengan memperlihatkan fenomena *noise shaping*. Semakin tinggi OSR dan level ordernya, *noise shaping* akan semakin kecil. Sebuah pemodelan baru polar  $\Sigma\Delta$  menuju struktur Cartesian  $\Sigma\Delta$  oleh [6], [8], [9] dengan format Cartesian- $\Sigma\Delta$  diajukan untuk mengatasi masalah pelebaran lebar pita (*switching bandwidth*) dan fleksibilitas perangkat transmisi untuk mengeliminasi beberapa komponen analog. Teknik kuantisasi pada struktur  $\Sigma\Delta$  dititikberatkan pada unit feedback filter  $\Sigma\Delta$  saja. Dengan demikian diperoleh hasil bahwa format polar akan tetap dipertahankan pada proses kuantisasi dan konversi PWM/PPM sedangkan format Cartesian akan diberlakukan pada unit *feedback* filter  $\Sigma\Delta$ . Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa resolusi kuantisasi bisa dikembangkan bukan hanya berdasarkan *clock period*-nya saja namun bisa disesuaikan level dimensi kuantisasi yang digunakan.

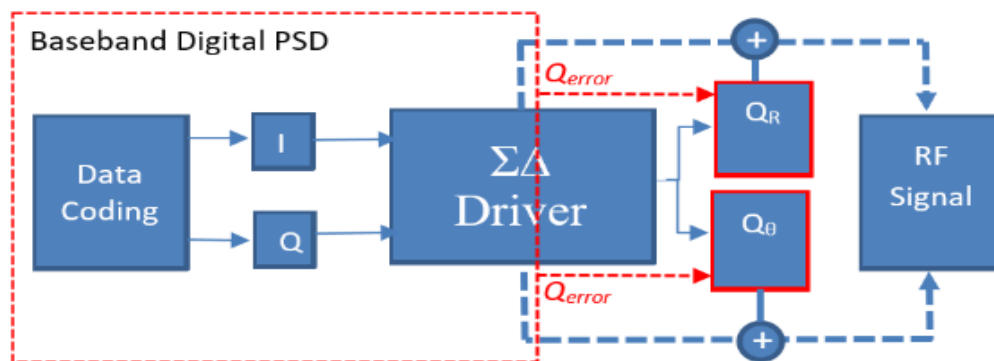
Konsep dasar arsitektur modulator  $\Sigma\Delta$  sebagai digital converter dalam hasil review studi literature menunjukkan metode arsitektur yang tepat untuk optimalisasi struktur filter  $\Sigma\Delta$  [6]. Metode penelitian dilakukan dengan cara membandingkan signal level pada *spectrum adjance control power* (ACP) antara polar dan Cartesian  $\Sigma\Delta$ s menggunakan signal OFDM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur Cartesian  $\Sigma\Delta$  (Cartesian  $\Sigma\Delta$  upconverters) memiliki keunggulan dibandingkan dengan struktur band pass  $\Sigma\Delta$  dan polar  $\Sigma\Delta$  terutama pada permasalahan *bandwidth expansion* dan penurunan *switching activity*.

Salah satu pembandingan hasil research ini telah dilaksanakan oleh [7] melalui pengembangan pada struktur polar  $\Sigma\Delta$  seperti terlihat pada Gambar 2. Input signal berupa baseband  $I$ - $Q$  dikonversi kedalam format polar menghasilkan  $R, \theta$ . Dua buah modulator low-pass  $\Sigma\Delta$  ditempatkan untuk masing-masing signal  $R$  (amplituda) dan  $\theta$  (fasa). Nilai  $R$  dikuantisasi dalam 4 level sedangkan  $\theta$  dikuantisasi dalam 16 level terdistribusi antara nilai 0 hingga  $2\pi$ . Luaran hasil kuantisasi akan dijadikan unit loop (*feedback*) kembali ke filter  $\Sigma\Delta$  dan sekaligus juga diteruskan ke blok 'Polar to PWM/PPM' untuk menghasilkan pulsa *waveform*. Hasil inilah kemudian akan menjadi input untuk SMPA. Fenomena noise dan *switching loss* umumnya beresiko terjadi setelah proses PWM [10], yang menyebabkan *bandwidth expansion* akan terjadi. Oleh karena itu, diperlukan konsep lanjutan tentang akurasi lebar dan posisi pulsa pada setiap cycle di *carrier frequency* agar setiap proses PWM yang berdampak noise dan harmonik dapat dikurangi.



Gambar 2. Polar  $\Sigma\Delta$  upconverters [7].

Struktur  $\Sigma\Delta$  dapat menghasilkan akurasi lebar dan posisi pulsa pada setiap cycle di *carrier frequency*. Dengan demikian dalam struktur  $\Sigma\Delta$  signal fasa dapat dimodifikasi untuk mengurangi pergeseran fasa. Selain itu, struktur polar  $\Sigma\Delta$  memiliki bandwidth besar dibandingkan dengan struktur *I-Q* sehingga proses ini bisa mengurangi modulasi lebar pita yang diinginkan. Walaupun demikian, struktur ini tetap unggul dalam mengurangi kecepatan cuplik. Kekurangan struktur polar  $\Sigma\Delta$  terdapat pada *quantisation noise* dan *noise floor* yang tinggi yang menyebabkan munculnya banyak komponen spectral yang tak diinginkan bahkan menjadi gangguan bagi signal utama. Kuantisasi level pada struktur-struktur diatas umumnya masih bergantung pada periode clock umum. Peningkatan kinerja dengan meneliti model kuantisasi per periode clock dengan mempertimbangkan setiap perubahan OSR diharapkan akan lebih akurat sehingga dapat sangat berpengaruh dalam membentuk lebar dan posisi bagi signal RF yang lebih efisien.



Gambar 3. Struktur Unwanted Signal Elimination.

Konseptual penelitian ini berdasarkan blok dasar sistem telekomunikasi yaitu blok input signal, blok modulasi dan blok konversi output, Gambar 3. Dengan demikian tahapan penelitian ini juga akan diuraikan tiga tahap. Variabel simulasi pada masing-masing tahap merupakan parameter-parameter yang akan disimulasikan. Ketiga tahap dapat diuraikan sebagai berikut:

- a)  $\Sigma\Delta$  (SD) Driver. Baseband *I-Q* akan melalui  $\Sigma\Delta$  filter dan output variable dalam format koordinat Cartesian.
- b) Polar-Q  $Q_R$  dan  $Q_\theta$  menghasilkan Q-feedback. Baseband harus dikonversi (blok Car-to-Pol) ke format polar dan menghasilkan Q-terkuantisasi. Metode konversi dengan persamaan umum yaitu

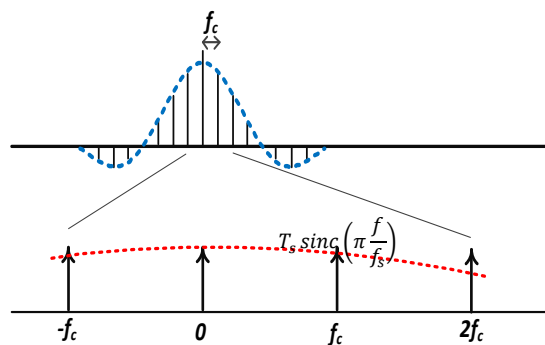
$$R = \sqrt{I^2 + Q^2} \tag{1}$$

dan

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{I}\right). \tag{2}$$

Proses kuantisasi akan dilakukan secara terpisah baik yaitu untuk amplitude (blok  $Q_R$ ) dan fasa (blok  $Q_\theta$ ) menghasilkan Q-feedback.

c) Blok RF ‘Polar to PWM/PPM’ untuk output sinyal waveform RF ( $w_n$ ).



Gambar 4. Sample signal to summation form  $\tilde{Y}(f)$ .

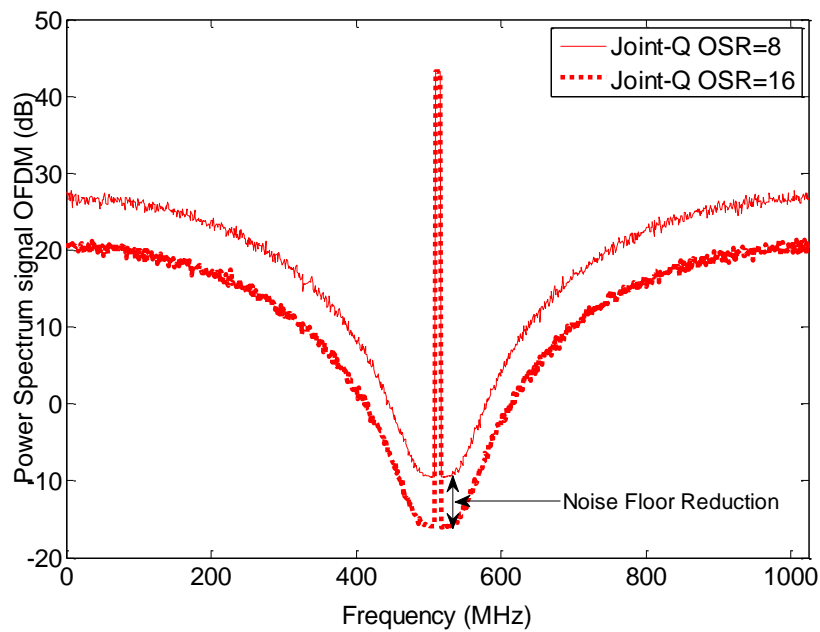
Aturan metode eliminasi dilaksanakan dalam *frequency domain* melalui penunjukan berapa banyak sinyal terletak dalam setiap sampling frekuensi  $T_s \text{sinc}\left(\pi \frac{f}{f_s}\right)$ . Gambar 4 menunjukkan sample satu satuan frekuensi dalam menentukan akurasi posisi *unwanted signal*. Total spectrum dapat ditentukan melalui persamaan berikut

$$\tilde{Y}(f) = \sum_{k=0}^{OSR_{RF}-1} \tilde{Y}_k(f) \tag{3}$$

dimana  $\tilde{Y}(f)$  adalah total spectrum dan OSR adalah over sampling ratio. Sebagaimana dalam hasil pada [8] bahwa proporsi SNR berbanding terbalik terhadap noise yang dihasilkan. OSR dapat diperoleh melalui  $OSR = \frac{f_s}{f}$ . Dalam analisis ini,  $\tilde{Y}(f) = F\{y(t)\}$  dihitung melalui *frequency domain* Fourier transform.

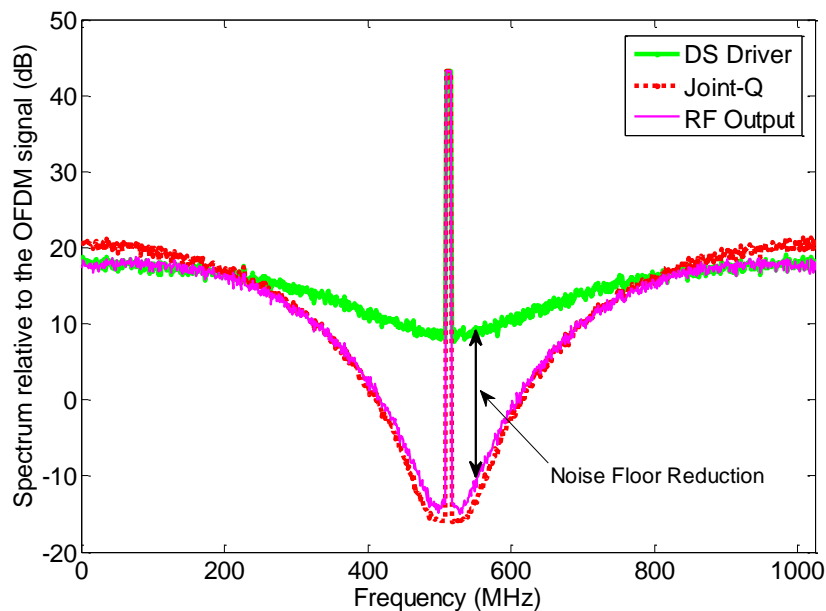
### 3. HASIL dan PEMBAHASAN

Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7, masing-masing menggunakan parameter OSR=16 dan OSR=8. Karena  $f_c = K f_s$  (lihat Persamaan (10) dalam [11]) dengan asumsi K=1 maka dapat kita perhatikan kedudukan signal band luaran dari Polar-Q dan RF output duduk di atas satu sama lain atau tepat pada posisi frekuensi target yang sama, meskipun proses melalui offset sejauh 40 dB dari *frequency carrier* ( $f_c$ ). Proses ini disebut *tuning baseband* [8], meskipun signal band telah mengalami offset namun posisi band tidak berpengaruh terhadap hasil pergeseran ini.

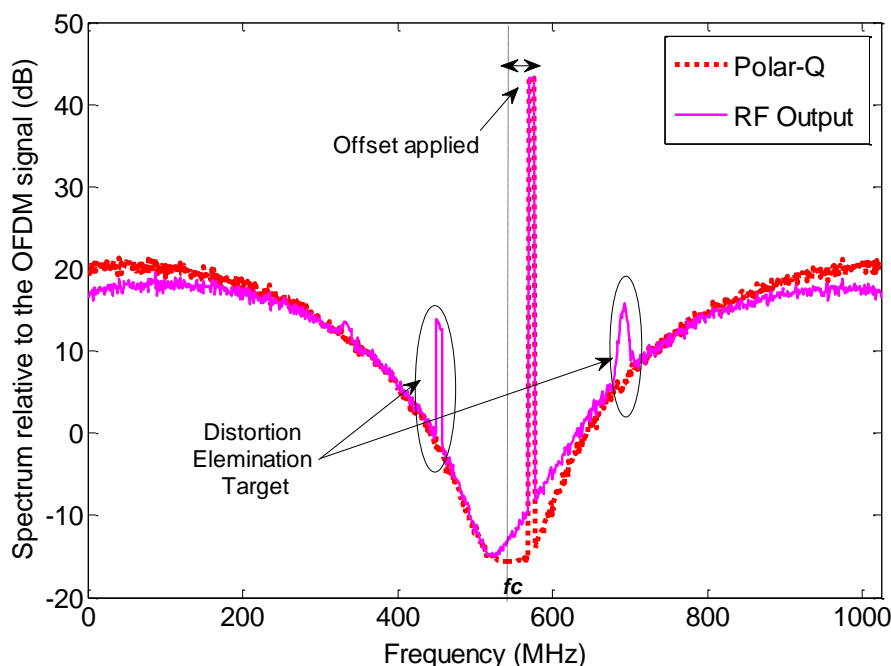


Gambar 5. Perbandingan spectrum signal optimum Joint-Q pada  $OSR=16$  dan  $OSR=8$ .

Gambar 5 memperlihatkan penurunan *noise floor* sebanyak 6,5 dB jika  $OSR$  ditingkatkan. Contoh pada gambar adalah perbandingan spectrum signal optimum Joint-Q pada  $OSR=16$  dan  $OSR=8$ . Selanjutnya pada Gambar 6 memperlihatkan dampak  $f_{offset}$  yang diaplikasikan dan memperlihatkan fenomena *harmonic distortion*.



Gambar 6. Dampak penggunaan Optimum Joint-Q sehingga *noise floor* dan *noise shaping* tertampak, contoh  $OSR=16$ .



Gambar 7. *Unwanted Signal* muncul setelah *offset* diaplikasikan, contoh pada  $OSR=16$ . Distorsi harmonik ini target untuk dilaksanakn eliminasi.

Garis hijau (Gambar 6) adalah tanda bahwa sinyal masih berada pada posisi  $f_c$ , sebagaimana proses DS-driver berupaya focus pada pengurangan *noise floor* dan *noise shape* saja (Gambar 5). Distorsi harmonik hanya terjadi ketika jika terjadi *offset* dimana channel target menjauhi  $f_c$  sejauh  $f_{offset}$ , dan dampak ini dapat dilihat pada output RF output (garis pink), Gambar 7. Distorsi harmonik ini disebut sebagai *image* dan *harmonic unwanted signal components*. Performasi hasil yang baik ditunjukkan setelah penggunaan polar-Q yang optimal. Garis merah memperlihatkan dampak noise floor yang menurun dalam spectrum tersebut. Perbandingan hasil pada Gambar 5 menunjukkan penurunan level distorsi harmonik pada saat penggunaan OSR yang kecil ( $OSR=16$  ke  $OSR=8$ ). Hal ini menunjukkan bahwa *unwanted signal elimination* berpotensi dihilangkan jika pada penggunaan OSR yang kecil, atau tidak memberlakukan offsetting (Gambar 6). Namun demikian, elimiasi pada target harmonik-harmonik ini dapat dilakukan melalui metode *tuning*, yakni menjaga nilai  $f_{offset}$  dibawah range 40 MHz untuk menjadi *noise floor* tidak mengalami kenaikan significant.

Pemodelan komputasi dalam melaksanakan eliminasi distorsi dilakukan dengan memperhatikan aturan-aturan sebagai berikut:

- ✓ Distorsi harmonik hanya terjadi ketika jika terjadi *offset* atau menggeser posisi channel target ke lokasi low noise terendah. Variabel *frequency offset*,  $f_{offset}$ , perlu ditetapkan pada harga yang sesuai yakni pada range  $<40$  MHz.  $f_{offset}$  yang besar juga mempengaruhi jauhnya channel target dari posisi minimum noise floor.
- ✓ Polar-Q dengan mengoptimalkan metode joint kuantisasi juga mempengaruhi *noise shaping* dalam spectrum RF yang dihasilkan. Aturan menggunakan seluruh kombinasi *pulse width* (genap: 0,2,4, ...) dan (ganjil: 0,1,3,...) sehingga diperoleh level kuantisasi yang paling terdekat/optimum.
- ✓ OSR yang dipersyaratkan memenuhi minimum distrosi ialah saat diperoleh  $OSR=4$  atau  $OSR=2$ .

OSR yang kecil seperti OSR=8 dapat memperlihatkan level signal pada spectrum-RF berkurang sekitar 6-10 dB dari perbandingannya dengan OSR=16. Dengan demikian jika menggunakan OSR=4 atau OSR=2 maka penurunan level signal dalam spectrum dapat dipenuhi. Namun, masih perlu diperhatikan kembali terhadap fenomena *noise floor* yang dapat meningkat dampak dari OSR yang kecil. Aturan dalam komputasi ini harus mempertimbangkan kedua hal tersebut.

#### 4. KESIMPULAN

Pembahasan tentang identifikasi fenomena distorsi harmonik Output RF dari struktur RF-upconverter telah diperlihatkan. Sejumlah harmonisa sebagai unwanted signal yang muncul disebabkan oleh sifat *rectangular nature* selama proses *pulse width/position modulation* (PWM/PPM). Distorsi ini mengurangi dynamic range dari pita operasi, oleh karena itu, selektifitas OSR yang tepat adalah salah satu faktor penentunya. Selain itu, untuk mencapai optimalisasi *unwanted signal elimination* ini, diperlukan aturan dari teknik ketepatan penggunaan  $f_c$  terhadap *frequency clock* ( $f_{clock}$ ).  $f_{clock}$  merupakan factor penentu untuk menetapkan jumlah titik kuantisasi pada proses Polar-Q karena terkait keterwakilan level fasa dan amplitude signal band.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ghannouchi, F., M. 2010. *Power amplifier and transmitter architectures for software defined radio systems*. Journal of Circuits and Systems Magazine, IEEE, vol. 10, hal. 56-63.
- [2] Frattasi, S., Fathi, H., Fitzek, F. H., Prasad, R., dan M. D. Katz. 2006. *Defining 4G technology from the users perspective*. IEEE Journal Network, vol. 20, hal. 35-41.
- [3] 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.
- [4] Vankka, J. 2005. *Digital synthesizers and transmitters for software radio*. Springer.
- [5] 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.
- [6] 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. Perpustakaan PNUP.
- [7] Bassoo, V dan Faulkner, M. 2009. *Sigma-delta digital drive signals for switchmode power amplifiers*. Electronics Letters, vol. 44, hal. 1299-1300.
- [8] Sirmayanti, S dan Faulkner, Mike. 2014. *Tuning baseband on Cartesian Delta-Sigma Up-conversion*. IET e-Letters Journal, Vol. 50, Issue:8, hal. 635-637.
- [9] Sirmayanti, S dan Litha, A. 2010. *Perancangan adaptive duplexer sistem software radio multiband untuk mengatasi kelemahan fungsi radio analog menuju sistem sirkuit integrasi*. Laporan Penelitian Hibah Bersaing DIKTI. Perpustakaan PNUP.
- [10] Huang, Y., Xu, Y., Zhang, W., dan Zou, J. 2019. *Hybrid PWM noise cancellation technique to reduce switching losses for two-segment three-phase motor*. Journal IET Power Electronics, 12(8), hal. 2128-2134.
- [11] Sirmayanti, S., Bassoo, V., King, H, dan Faulkner. M. 2012. *OFDM performance with odd-even quantisation in Cartesian  $\Delta\Sigma$  upconverters*. IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems. Gold Coast Australia, hal. 1-5.