

## PEMODELAN PHASE ROTATION & DEROTATION BAGI PENERAPAN BASEBAND IF TUNING BERBASIS SOFTWARE PADA RF-UPCONVERTER

Sirmayanti<sup>1)</sup>, Farchia Ulfiah<sup>2)</sup>, Airin Dewi Utami Thamrin<sup>3)</sup>  
<sup>1,2,3)</sup> Dosen Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

### ABSTRACT

RF-upconverter architecture can be a very important benchmark for achieving high efficiency and best linearity in driving a class switch mode amplifier (SMPA) amplifier. This scheme can generate the lowest noise (noise null) right at the carrier frequency ( $f_c$ ). This paper aims to determine the accuracy of over sampled ratio (OSR) and offset variables in the performance of the structured RF-upconverter and to study modeling through phase rotation & derotation as a baseband tuning application. The rotation process will be placed on the front side of the quantizer while the derotation process after the quantization process before loopback to the filter. With this methods, the distortion products will significantly move away from  $f_c$  position. This study has also used channel tuning through large variable offset values as the best solution. The joint quantization method has been applied to increase the quantization noise level which is proven to decrease noise floor up to 3dB. This scheme pattern is expected to deliver the desired signal to reach  $f_c$  at the lowest noise floor while its harmonic distortions will be shifted away from the desired signal.

**Keywords:** *Rotation, derotation, tuning, upconverter, software-radio*

### 1. PENDAHULUAN

*Software radio* merupakan sebuah konsep pengembangan *multi-mode/multi-band* sebagai solusi dari semakin meningkatnya ketidakcocokan standar-standar *air-interface* komunikasi radio. Sistem radio seharusnya dapat digunakan sama pada semua perangkat keras komunikasi dimanapun di seluruh dunia. Sebuah perangkat telepon (*phone*) seharusnya dapat mengakomodasi sistem *global system for mobile communications* (GSM) dan *wideband-code division multiple access* (W-CDMA) sebagai standar di Eropa, *Pacific digital cellular* (PDC) dan *personal handy phone system* (PHS) sebagai standar di Asia, dan juga pada *Interim standard 54* (IS-54), IS-95 dan CDMA2000 sebagai standar di Amerika. Demikian pula bahwa *phone* tersebut juga seharusnya dapat mengakomodasi perbedaan fungsi-fungsi sistem komunikasi seperti selular *universal mobile telecommunications systems* (UMTS), *cordless* (contoh *digital enhanced cordless telekommunications* (DECT)), satelit UMTS, area jaringan pribadi (contoh *bluetooth*) dan area jaringan lokal (contoh IEEE 802.11). Bahkan untuk beberapa fungsi terbaru dalam generasi keempat (G4) dan *future G5* dan sistem *mobile* juga akan bertambah dalam daftar tersebut. Dengan demikian *software radio* dikembangkan agar terdapat suatu standar tunggal untuk dapat menguasai semua area dan semua pelayanan, sehingga pemakai cukup menggunakan satu sistem *handset* saja namun bersifat *multi-mode/multi-band*, Arfi (2015).

*Software radio* lebih mendekatkan semua fungsi radio analog dengan *digital signal processing* (DSP), Vankka (2005). Oleh karena itu, untuk menuju digitalisasi transmisi, semua komponen analog akan dieliminasi dan digantikan dengan system DSP yang lebih fleksibel. Sebuah konsep baru sistem transmitter radio frequency (RF) kini telah diperkenalkan dengan menggunakan struktur *Sigma-Delta* ( ) yang akan menggantikan struktur analog seperti *low pass filter* (LPF), modulator dan *band pass filter* (BPF), *local oscillator* (LO).

Salah satu model transmitter-RF yang berstruktur adalah Cartesian *upconverter*, dimana struktur ini cocok diaplikasikan pada standard WLAN dan WCDMA, Bassoo (2009). Performansi arsitektur RF-upconverter ini dapat menjadi tolak ukur yang sangat penting untuk mencapai efisiensi tinggi dan linearitas terbaik dalam men-drive penguat-penguat kelas *switch mode* SMPA. Skema tersebut diatas dapat menghasilkan noise terendah (*noise null*) tepat pada frekuensi pembawa,  $f_c$  (*carrier frequency*), atau diatur pada  $\frac{1}{4}$  dari frekuensi detak,  $f_{clock}$  (*clock frequency*).

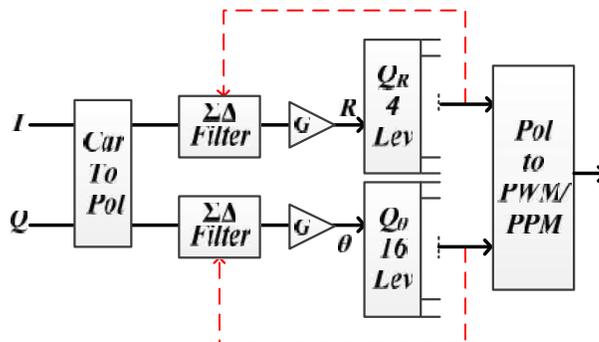
Hasil penelitian Sirmayanti (2012) bahwa jika signal transmisi yang berada tepat pada  $f_c$  maka tidak akan memperoleh distorsi sinyal. Namun demikian, sebagian besar system wireless mensyaratkan kesesuaian penyyetelan (*tunability*) pada semua frekuensi band. Terdapat dua solusi yang mungkin dapat dilakukan; pertama, mengganti  $f_{clock}$  pada sirkuit *upconverter*, namun berdampak pada kesatuan waktu (*synthesized*

<sup>1</sup> Koresponding : Sirmayanti, Telp 082291298633, sirmayanti.sirmayanti@poliupg.ac.id

clock) dan juga ketersediaan resolusi frekuensi yang tepat. Kedua, mengaplikasikan  $f_{offset}$  (frequency offset) pada sinyal input dalam posisi *noise null*. Dari kedua hal tersebut, hal yang paling mudah dilakukan adalah solusi opsi yang kedua karena  $f_{offset}$  dapat dibangkitkan pada sirkuit baseband yang sudah ada. Namun permasalahan distorsi (gangguan sinyal pengganggu yang tidak diinginkan) masih akan muncul saat  $f_{clock}$  yang *dioffset*.

Oleh karena itu, penelitian ini telah menerapkan tunability untuk meningkatkan *dynamic range* pemodelan RF-upconveter melalui metode phase rotation dan derotation. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya oleh Sirmayanti (2014), bahwa saat variable  $f_{offset}$  meningkat jika seluruh band di-shift melalui *intermediate frequency* (IF). Proses phase rotation akan ditempatkan pada sisi depan sebelum proses kuantisasi sedangkan proses phase derotation berada pada proses setelah kuantisasi atau sebelum dilakukan loopback kembali ke filter. Penelitian ini juga telah menggunakan *channel tuning* melalui variable-variabel nilai *offset* yang besar. Metode kuantisasi joint telah diterapkan untuk meningkatkan level noise kuantisasi yang terbukti dapat menurunkan *noise floor* hingga 3dB, Sirmayanti (2012). Pola skema ini diharapkan dapat mengantarkan sinyal yang diinginkan (*desired signal*) mencapai posisi  $f_c$  tepat berada pada *noise floor* terendahnya sementara distorsi harmoniknya akan tergeser menjauhi *desired signal* tersebut.

Bassoo (2009) melakukan pengembangan pada struktur polar seperti terlihat pada Gambar 1. Input signal berupa baseband *I-Q* dikonversi kedalam format polar menghasilkan  $R, \theta$ . Dua buah modulator *low-pass* 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. Luaran hasil kuantisasi akan dijadikan unit *loop* (feedback) kembali ke filter dan sekaligus juga diteruskan ke proses blok *pulse width modulation* (PWM) and *pulse position modulation* (PPM) dalam format polar (Polar to PWM/PPM) untuk menghasilkan pulsa *waveform*. Hasil inilah kemudian akan menjadi input untuk SMPA.



Gambar 1. Arsitektur polar oleh Bassoo (2009).

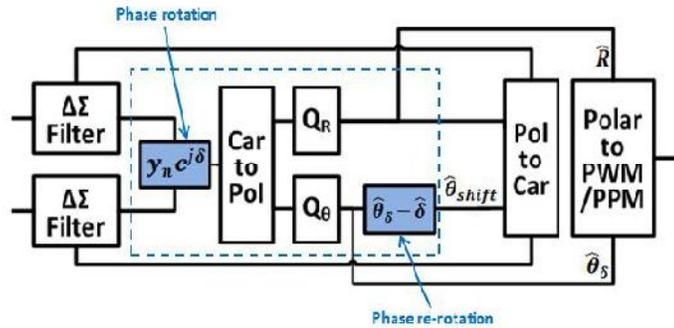
Struktur polar dapat menghasilkan akurasi lebar dan posisi pulsa pada setiap cycle di frekuensi pembawa (*carrier frequency*). Selain itu, struktur polar memiliki bandwidth besar dibandingkan dengan struktur *I-Q* sehingga proses ini bisa mengurangi modulasi lebar pita yang diinginkan. Walaupun demikian, struktur ini tetap unggul dalam mengurangi kecepatan cuplik. Kekurangan struktur polar terdapat pada *noise quantization* dan *noise floor* yang tinggi yang menyebabkan munculnya banyak komponen spectral yang tak diinginkan bahkan menjadi gangguan bagi signal utama. Kuantisasi level pada struktur-strukturnya 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.

Penelitian yang telah dilakukan ini merupakan penelitian yang berupaya untuk meningkatkan kinerja struktur transmisi digital wireless-RF dengan meningkatkan *dynamic range* melalui *baseband tuning* dan menjauhkan *harmonic distortion* dari signal yang diinginkan. Adapun tujuan penulisan ini adalah untuk menentukan akurasi variabel OSR dan  $f_{offset}$  yang tepat dalam kinerja transmitter-RF berstruktur dan untuk mengkaji pemodelan transmitter-RF melalui *phase rotation & derotation* dalam format Cartesian dan polar sebagai penerapan *baseband IF tuning*. Metode struktur Cartesian adalah termasuk yang direkomendasikan dalam desain transmisi digital RF. Hal ini semakin memungkinkan dikembangkan sebuah perangkat baru transmisi-RF berbasis *software radio* yang berdaya sangat rendah dan dengan ukuran perangkat transmitter yang kecil. Teknologi 5G pada kisaran 20 Gbps (nantinya menuju unlimited bps pada

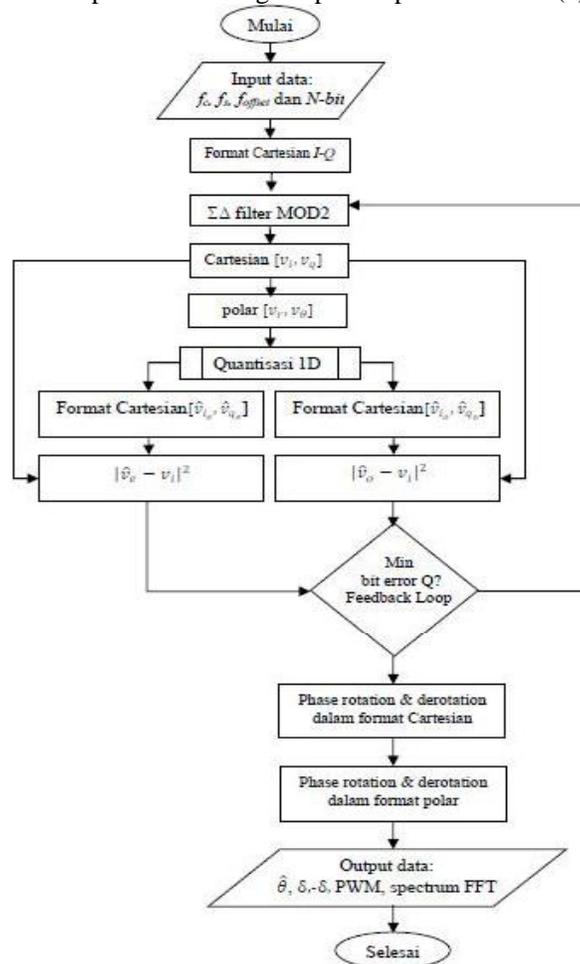
generasi 6G) dan konsep digitalisasi struktur transmitter yang terintegrasi dalam aplikasi *software defined radio* (SDR) akan dipersyaratkan pada struktur arsitektur dan infrastruktur teknologi berdimensi kecil dan hanya membutuhkan energi daya yang kecil (*mWatt transmitter*). Urgensi penelitian ini adalah untuk peningkatan kinerja transmisi-RF baik dari segi efisiensi dan kelinearannya. Hasilnya akan diterapkan pada pembangunan arsitektur RF berstruktur full digital murni untuk aplikasi sebagai sebuah *software radio*. Hasil metode ini kelak dapat dirancang oleh peneliti di bidang mikroelektronika RF-design dalam bentuk digital circuit sehingga menghasilkan sebuah chip tunggal sebagai transmitter-RF *integration circuit* (IC).

**2. METODE PENELITIAN**

Pelaksanaan simulasi telah dilakukan di Laboratorium Frekuensi Tinggi, Transmisi dan Gelombang Mikro Politeknik Negeri Ujung Pandang dengan waktu pelaksanaan selama delapan bulan di tahun 2017.



Gambar 2. Struktur RF-upconverter dengan aplikasi phase rotation ( ) dan derotation ( - ).



Gambar 3. Flowchart simulasi penelitian.

Desain Cartesian telah dikembangkan pada sisi blok Quantisernya dengan menambahkan unit *offset phase rotation* dan *derotation*, Gambar 2. Analisis akan dilaksanakan untuk mengetahui tingkat resolusi yang terbaik pada pemilihan variasi OSR dan  $f_{offset}$  yang digunakan untuk berbagai level kuantisasi yang digunakan.

Adapun langkah-langkah kerja pemodelan dalam simulasi Matlab diperlihatkan pada Gambar 3. Penentuan variable, algoritma dan code pemograman dilakukan dalam memudahkan pelabelan pada keseluruhan sistem. Dalam proses simulasi, fungsi *function* dan *looping* akan dibuat sehingga pelabelan variable yang tepat bisa memudahkan dalam pengerjaan penelitian ini. Simulasi pemodelan berupa *function* akan dibuat pada tiap blok-blok struktur  $\Sigma\Delta$ . Sistem integrasi keseluruhan blok akan dibuat dalam bentuk *main program* sebagaimana terlihat jalur prosesnya pada flowchart simulasi. Hasil simulasi dapat berupa grafik spektrum yang diplot pada output blok diagram tersebut.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kami menerapkan nilai *offset* besar pada sinyal yang ditransmisikan untuk menjaga agar semua produk distorsi pada spectrum dapat menjauh dari band kanal yang diinginkan. Selama proses *offset* berlangsung maka hal ini dapat menyebabkan peningkatan besar pada *noise floor* disekitar sinyalnya dan dengan demikian kanal yang diinginkan tidak lagi berada dalam posisi nol terendah. Keuntungan menggunakan *offset* besar adalah bahwa sinyal yang diinginkan dapat dijauhkan dari harmonic, terlebih lagi jika sudah menggunakan *filter band pass* maka posisi sinyal tersebut benar-benar akan terbebas murni dari segala distorsi. Hal ini kemudian sinyal tersebut dapat dikembalikan ke posisi nol *noise floor*. Inilah yang disebut sebagai *tuning baseband*.

Metode *phase rotation* dalam *tuning baseband* dilakukan melalui perputaran *null frequency* dengan cara mengalikannya dengan sebuah rotasi fasa ( $\delta$ ) dengan *complex envelope* keluaran dari  $\Delta\Sigma$  modulator. Dalam simulasi ini telah diasumsikan output dari  $\Delta\Sigma$  modulator adalah berupa baseband,  $y_n = y_{Iq} + j \cdot i_{uq}$ , sehingga delay  $y_n$  dapat ditentukan melalui

$$y_n(\delta) = y_n * e^{j\delta} \quad (1)$$

dimana  $\delta = \frac{\delta}{N} 2\pi$ , adalah rotasi fasa (phasa rotation),  $N$  adalah jumlah sampel dan  $n$  adalah tahap fasa. Konsep pemodelan ini menunjukkan bahwa pergeseran fasa harus selalu berada dalam format Cartesian dan pengolahan selanjutnya mengikuti langkah-langkah untuk kuantisasi dalam format Polar. Metode konversi dapat dilakukan dengan persamaan umum  $R = \sqrt{I^2 + Q^2}$  dan  $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{Q}{I}\right)$ . Dalam hal ini perlu dicatat bahwa metode *phase rotation* tidak dilakukan selama proses kuantisasi amplitude berlangsung namun hanya terpengaruh pada proses kuantisasi fasa saja. Tujuan teknik *phase rotation* adalah untuk membuat versi delay bagi setiap keluaran proses kuantisasi fasa, dan diberi symbol  $\theta_\delta$ . Nilai  $\theta_\delta$  ini dibuat harus serupa dengan nilai fasa signal menuju blok 'Polar to PWM / PPM'. Dengan kata lain, input blok 'Polar ke PWM / PPM' berada pada format Polar  $[R, \theta_\delta]$ .

Metode *phase derotation* dilaksanakan pada proses umpan balik (feedback loop)  $\Delta\Sigma$  modulator. Sebagaimana terlihat pada Gambar 2, keluaran dari blok Q selain menuju blok 'Polar ke PWM / PPM' juga menuju ke proses *feedback loop*  $\Delta\Sigma$  modulator. Tujuan metode ini adalah untuk mengantisipasi adanya *error feedback* ke sisi  $\Delta\Sigma$  modulator. Nilai *phase derotation* disebut phase shift ( $\theta_{shi}$ ), dan dapat dituliskan dalam persamaan:

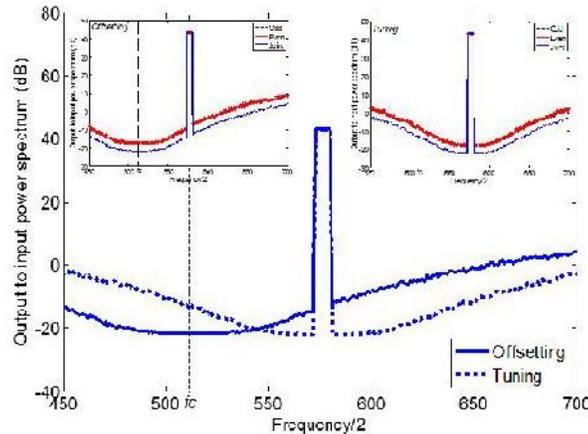
$$\theta_{shi} = \theta_\delta - \delta \quad (2)$$

dimana phase shift ( $\theta_{shi}$ ) berada dalam format Cartesian.

Dalam menentukan akurasi OSR dan  $f_{offset}$  yang tepat dalam kinerja transmitter-RF maka pertimbangan nilai level amplitudo,  $N_A$ , juga sangat ditentukan. Dalam hal menentukan nilai  $N_A$  dilakukan melalui metode kuantisasi joint yaitu terdiri dari pemilihan nilai terdekat selama proses kuantisasi berdasarkan bentuk gelombang dengan susunan clock genap (even) dan clock ganjil (odd); yakni  $w_n(4T_c, 0)$  untuk clock genap dan  $w_n(3T_c, 0)$  untuk clock ganjil, Sirmayanti (2012). Parameter lainnya adalah kuantisasi fasa yang dikuantisasi secara merata ke dalam sejumlah tingkat kuantisasi fasa yang disebut  $N_p$ , dari kisaran 0 sampai 2. Hasil kuantisasi fasa disebut  $\theta_\theta$ . Tabel 1 memperlihatkan variasi OSR dan efek level kuantisasinya. Perbedaan OSR yang digunakan mempengaruhi perubahan level kuantisasi yang diinginkan.

Gambar 4 memperlihatkan spectrum RF-upconverters perbandingan antara kondisi *offset* dan *tuning*. Input signal menggunakan signal *orthogonal frequency-division multiplexing* (OFDM) dengan nilai  $B_{ofdm}=16$  MHz (cocok untuk aplikasi sistem *wireless local area network*, WLAN) dengan *frequency carrier*  $f_c=1024$

MHz. Semua ukuran bin diasumsikan sebesar 1 MHz. Pada saat offset=0 maka tampak tidak ada produk harmonik yang terjadi namun posisi channel tidak null (tidak berada pada posisi terendah noise floor). Melalui metode *tuning baseband* dengan terapan *phase rotation* dan *derotation* maka nampak pula pada Gambar 4 bahwa posisi channel seolah-olah tetap berada persis saat kondisi *offset* namun posisinya sudah bergeser pada null. Semakin besar nilai *phase rotation*,  $\delta$ , maka sangat berpotensi untuk menggeser jauh semua produk distorsi untuk menjauhi kanal band yang diinginkan.



Gambar 4. Hasil simulasi luaran spectrum struktur RF-upconverters.

Tabel 1. Kuantisasi level menurut OSR yang berbeda-beda

$\alpha_o$	$OSR_{RF} (=N_B)$					<i>Quantisation scheme</i>
	4	8	16	32	64	
0	0	0	0	0	0	<b><i>O</i></b> <b><i>D</i></b> <b><i>D</i></b>
1	0.9003	0.4873	0.2484	0.1248	0.0625	
3	-	1.1763	0.7074	0.3696	0.1868	
5	-	-	1.0587	0.6002	0.3094	
7	-	-	1.2488	0.8078	0.4290	
9	-	-	-	0.9843	0.5444	
11	-	-	-	1.1229	0.6546	
13	-	-	-	1.2184	0.7585	
15	-	-	-	1.2671	0.8551	
17	-	-	-	-	0.9434	
19	-	-	-	-	1.0227	
21	-	-	-	-	1.0921	
23	-	-	-	-	1.1510	
25	-	-	-	-	1.1988	
27	-	-	-	-	1.2351	
29	-	-	-	-	1.2595	
31	-	-	-	-	1.2717	
$\alpha_E$						<b><i>E</i></b> <b><i>V</i></b> <b><i>E</i></b> <b><i>N</i></b>
0	0	0	0	0	0	
2	1.2733	0.9003	0.4873	0.2484	0.1248	
4	-	1.2733	0.9003	0.4873	0.2484	
6	-	-	1.1763	0.7074	0.3696	
8	-	-	1.2733	0.9003	0.4873	
10	-	-	-	1.0587	0.6002	
12	-	-	-	1.1763	0.7074	

14	-	-	-	1.2488	0.8078	
16	-	-	-	1.2733	0.9003	
18	-	-	-	-	0.9843	
20	-	-	-	-	1.0587	
22	-	-	-	-	1.1229	
24	-	-	-	-	1.1763	
26	-	-	-	-	1.2184	
28	-	-	-	-	1.2488	
30	-	-	-	-	1.2671	
32	-	-	-	-	1.2733	

#### 4. KESIMPULAN

- 1) Penerapan *baseband tuning* pada blok output 'Polar to PWM / PPP' telah disimulasikan. Pada hasil telah menunjukkan bahwa proses tuning memungkinkan sebuah sinyal berpindah posisi tanpa harus dilakukan penghapusan sinyal harmoniknya.
- 2) Struktur dapat digunakan untuk mengelolah skema modulasi dengan tingkat kompleksitas tinggi seperti OFDM. Dengan menghasilkan keluaran berupa *pulse waveform* maka struktur RF-upconverter tersebut dapat lebih mudah didesain menuju transmitter-RF GHz yang lebih linear dan efisien. Hal ini juga untuk menjawab persyaratan kesesuaian penyetelan (*tunability*) pada semua frekuensi band pada digitalisasi sistem komunikasi wireless saat ini menuju aplikasi *software radio*.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Arfi, A.B., Helaoui, M. dan Ghannouchi, F.M. 2015. All-digital sigma-delta RF modulator for software defined radio applications. IEEE Canadian Conference Electrical and Computer Engineering (CCECE). Hal. 1379-1382.
- Bassoo, V., dan Faulkner, M. 2009. Sigma-delta digital drive signals for switchmode power amplifiers. *Electronics Letters*, vol. 44, hal. 1299-1300.
- Sirmayanti, S., and Mike Faulkner. 2014.  $\Sigma\Delta$  Modulator for Digital Wireless Architecture: A review a revie. IEEE MICEEI International Conference. Hal. 83-87.
- Sirmayanti, S., Bassoo, V., dan Faulkner, M. 2012. OFDM performance with Odd-Even Quantisation in Cartesian DS upconverters. IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICPCS). Hal. 1-5.
- Sirmayanti, S., Bassoo, V., King, H. dan Faulkner, M. 2012. Odd-even quantisation and Cartesian delta-sigma ( ) Upconverters for Transmitter Design. IEEE International Conference Communication Systems (ICCS). Hal. 100-104.
- Sirmayanti, S., dan Faulkner, M. 2014. Tuning baseband on Cartesian Delta-Sigma Up-conversion. *IET e-Letters Journal*, Vol. 50(8), hal. 635-637.
- Vankka, J. 2005. *Digital synthesizers and transmitters for software radio*: Springer.

#### 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Politeknik Negeri Ujung Pandang pada unit Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat (UPPM) dan khususnya kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan pendanaan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik, Sesuai dengan kontrak Penelitian Tahun Anggaran 2017 Nomor: 052/SP2H/LT/DPRM/IV/2017, tanggal 3 April 2017.