

SKRIPSI
ANALISIS FORMULASI AKURASI POSISI DISTORSI PADA EFEK
***FREQUENCY SHARING* TEKNOLOGI 5G**



*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik*

Universitas Hasanuddin

Makassar

Disusun Oleh:

RESKI AMALIA

D041171010

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021



LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

ANALISIS FORMULASI AKURASI POSISI DISTORSI PADA EFEK FREQUENCY SHARING TEKNOLOGI 5G

Disusun dan diajukan oleh

RESKI AMALIA

D041171010

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada Tanggal 9 Juli 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Pembimbing Utama, **Menyetujui** Pembimbing Pendamping,



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT
19691026 199412 2 001



Andini Dani Achmad, ST., MT
19880621 201504 2 003

Ketua Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT
19691026 199412 2 001



PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Reski Amalia

Nim : D041171010

Program Studi : Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul

ANALISIS FORMULASI AKURASI POSISI DISTORSI PADA EFEK

***FREQUENCY SHARING* TEKNOLOGI 5G**

Ini adalah benar-benar karya saya sendiri dan saya tidak melakukan plagiarism atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika yang berlaku dalam tradisi keilmuan. Atas pernyataan ini saya siap menerima tindakan/sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila dikemudian hari ditemukan pelanggaran atas etika akademik dalam karya saya ini, atau ada klaim terhadap keaslian karya saya ini.

Gowa, 14 Juli 2021
Yang membuat pernyataan,

A yellow rectangular stamp with a red Garuda emblem and the text '10000', 'METER TEMPEL', and 'REF:3DAJ0312648924'. A handwritten signature in black ink is written over the stamp.

Reski Amalia



KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala Puji dan Syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat merampungkan tugas akhir ini, serta tidak lupa kita panjatkan sholawat dan salam kepada Rasulullah Muhammad SAW beserta keluarga karena berkat perjuangan beliau sehingga sampai saat ini saya masih merasakan nikmat islam. Penulisan tugas akhir ini dimaksudkan sebagai salah satu syarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik dari Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Maka berbagai hal telah ditempuh dalam usaha menyelesaikan penulisan tugas akhir ini yang berjudul, “**ANALISIS FORMULASI AKURASI POSISI DISTORSI PADA EFEK FREQUENCY SHARING TEKNOLOGI 5G** ”. Penelitian dilakukan di Electrical Building Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin untuk proses pemodelan dan simulasi. Dalam penulisan tugas akhir ini tentunya terdapat kekurangan yang mungkin tidak disadari oleh penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan masukan yang membangun dari berbagai pihak.

Penghargaan dan ucapan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada kedua orang tua (**Bapak Harwis dan Ibu Hj.Nurliati**) dan saudara-saudara saya serta keluarga besar yang selalu memberikan motivasi, dukungan, dan kasih sayangnya, serta doa restunya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.

Tak lupa pula penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Dr. Eng. Ir. Dewiani, MT., selaku Ketua Departemen Teknik Elektro Fakultas

Universitas Hasanuddin sekaligus Pembimbing 1 dalam Tugas Akhir ini. serta segala arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.

Ikhlash Kitta, ST., MT., selaku Sekretaris Departemen Teknik Elektro



Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

4. Andini Dani Achmad, ST., MT. selaku dosen pembimbing II tugas akhir ini atas segala bimbingan, arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir.
5. Azran Budi Arief, ST., MT. selaku dosen penguji atas segala arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.
6. Sirmayanti, ST., M.Eng, Ph.D. selaku dosen penguji sekaligus pembimbing atas segala arahan, masukan, dan bantuannya selama penyusunan tugas akhir ini.
7. Seluruh Dosen Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin yang telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat.
8. Seluruh staff Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin yang telah membantu menyelesaikan kelengkapan administrasi.
9. Teman-teman EQUALIZER 2017 yang selalu menemani penulis sebagai mahasiswa dari semester 1 hingga akhir penulisan skripsi.
10. Kepada seluruh saudara – saudari serta kanda kanda senior di OKFT-UH terkhusus HME FT-UH dan KOMTEK 09 SMFT-UH.
11. Teman-teman KKN Wilayah BONE 4 yang telah menemani kurang lebih 30 hari, terima kasih atas segala kebaikan dan rasa kekeluargaannya.
12. Teman-teman SNIPER CREW dan RAMSIS SQUAD, Fitri, Kak Mia, Mayang, dan semuanya yang tidak sempat saya sebutkan satu persatu.
13. Teman-teman seperjuangan LAB ANTENA, Tari, Fika, Khusnul, Daffa, Al Khofid, Neo yang selalu menemani dan memberikan semangat.
14. Teman-teman KERANG AJAIB, Ita, Tika, Khusnul, Agung, Adi, Alga, Sidik yang dengan tingkah kocaknya selalu mengembalikan mood.
15. KAK ANDRI dan KAK ILHAM, yang telah banyak berkorban untuk meluangkan waktunya ketika saya membutuhkan bantuan.
16. Seluruh teman, kerabat yang tidak sempat penulis sebut satu persatu, yang

banyak membantu penulis dalam penyelesaian studi penulis, terutama senantiasa memberikan motivasi kepada penulis untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.



Akhir kata, *jazakumullah khairan katsiran* atas semuanya dan penulis berharap, tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua khususnya dalam bidang ilmu Teknik Mesin. Selain itu, penulis juga mengucapkan permohonan maaf jika penulis telah banyak melakukan kesalahan, baik dalam bentuk ucapan maupun tingkah laku, semenjak penulis menginjakkan kaki pertama kali di Universitas Hasanuddin hingga selesainya studi penulis. Sekian dan terimakasih.

Gowa , 12 Juni 2021

Penulis



ABSTRAK

Parameter standar dalam proses migrasi 4G ke 5G merupakan frekuensi *carrier* yang hendak diaplikasikan pada kisaran 2-100 GHz dengan *signal bandwidth* diatas 20 MHz. Namun ada beberapa kandidat frekuensi yang masih rentang terhadap distorsi besar yang akan dihadapinya. Terjadinya kelangkaan spektrum ini akan menjadi masalah utama dalam pengembangan sistem generasi baru 5G. Oleh karena itu, diperlukan sebuah metode terbaru solusi serta riset mendalam tentang akibat distorsi yang ditimbulkannya sehingga kedudukan teknologi 5G bisa terintegrasi baik. Dampak utama saat terjadi migrasi tersebut adalah diperlukannya memori *Power Amplifier* (PA) pada infrastruktur radio Tx/Rx (pengirim dan penerima) yang semakin linear dan berdistorsi rendah. Tujuan penelitian ini adalah melakukan kajian terkait fenomena distorsi dengan menggunakan struktur $\Sigma\Delta$ Modulator orde-1 sebagai filter, mengetahui seberapa besar pengaruh *Oversampling Ratio* terhadap kekuatan sinyal, dan memberikan solusi dari fenomena yang ditimbulkan untuk optimasi *distorsi cancellation* pada kategori spectrum mask 5G. Dalam penelitian ini menggunakan skema penelitian yang telah dirancang terdiri atas filter modulator, blok kuantisasi polar *odd* (ganjil), dan blok PWM/PPM menuju RF output. Hasil penelitian menunjukkan penggunaan struktur *Cartesian* $\Sigma\Delta$ modulator orde-1 ini mampu menekan *noise floor* dan membentuk noise shaping disekitar channel data yang diinginkan. Semakin kecil OSR yang digunakan maka akan semakin baik performansi *output power spectrum* yang dihasilkan. Selain itu, adanya pengaruh frekuensi *offset* dapat memperlihatkan *image* dan *harmonic distrosi* terlihat jelas. Semakin besar nilai *offset* yang diberikan maka akan semakin jauh posisi target sinyal dari frekuensi carrier yang ada.

Kata Kunci : *Distorsi-cancellation, Oversampling Ratio, spectrum mask 5G, noise shaping, Delta Sigma Modulator, frequency offset.*



ABSTRACT

The standard parameter in the 4G to 5G migration process is the carrier frequency to be applied in the range of 2-100 GHz with signal bandwidth above 20 MHz. However, there are several frequency candidates that are still susceptible to the large distortions they will face. The occurrence of this spectrum scarcity will be a major problem in the development of the new generation 5G system. Therefore, a new solution method is needed and in-depth research on the distortion effects it causes so that the position of 5G technology can be well integrated. The main impact when this migration occurs is the need for Power Amplifier (PA) memory on the Tx/Rx radio infrastructure (sender and receiver) which is increasingly linear and low-distorted. The purpose of this study is to conduct a study related to the distortion phenomenon by using a 1st order modulator $\Sigma\Delta$ structure as a filter, to find out how much influence the Oversampling Ratio has on the signal strength, and to provide a solution to the resulting phenomenon for optimizing distortion cancellation in the 5G spectrum mask category. This research uses a research scheme that has been designed consisting of a modulator filter, an odd polar quantization block, and a PWM/PPM block to the RF output. The results showed that the use of the Cartesian structure order 1 modulator was able to suppress the noise floor and form noise shaping around the desired data channel. The smaller the oversampling ratio used, the better the performance of the output power spectrum. In addition, the effect of the offset frequency can show the image and harmonic distortion clearly, the greater the value of the offset, the further the position of the target signal from the existing carrier frequency.

Keywords : *Distorsi-cancellation, Oversampling Ratio, spectrum mask 5G, noise shaping, Delta Sigma Modulator, frequency offset.*



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ixi
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	ixii
KATA PENGANTAR	ixv
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	vixii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	ixii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1. Latar Belakang.....	1
I.2. Rumusan Masalah	4
I.3. Tujuan Penelitian.....	5
I.4. Manfaat Penelitian.....	5
I.5. Batasan Masalah.....	6
I.6. Metode Penelitian	6
I.7. Sistematika Penulisan.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
Sinyal Analog dan Sinyal Digital.....	9
Modulasi.....	13



II.2.1 Modulasi Analog.....	14
II.2.2 Modulasi Digital.....	15
II.3 <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT).....	17
II.4 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> (OFDM).....	18
II.5 Distorsi dan Noise	21
II.6 Teknologi 5G	23
II.7 Sigma-Delta ($\Sigma\Delta$) Modulator	23
II.7.1. Arsitektur transmitter $\Sigma\Delta$ upconverters.....	24
II.7.1.1 <i>Band-pass</i> $\Sigma\Delta$ upconverters	24
II.7.1.2 <i>Polar</i> $\Sigma\Delta$ upconverters	27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
III.1. Jenis Penelitian	33
III.2. Waktu Penelitian.....	33
III.3. Lokasi Penelitian.....	33
III.4. Teknik Pengujian dan Analisis	33
III.5. Alur Penelitian	36
III.5.1 Diagram Alir Penelitian	36
III.5.2 Langkah Pemodelan Algoritma Dalam Sistem.....	36
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39



IV.1 Perbandingan Karakteristik Delta Modulasi dan Delta Sigma Modulasi (MOD1)	39
IV.1.1. Delta Modulasi	39
IV.1.2. Delta Sigma Modulasi	42
IV.1.3. Perbandingan Kuantisasi dan Output Spectrum Delta Modulasi dan Delta Sigma Modulasi (MOD1)	46
IV.2 Blok Q_R dan Q_θ menggunakan Kuantisasi Ganjil (ODD).....	49
IV.2.1. Blok Q_R menggunakan Kuantisasi Ganjil (ODD)	49
IV.2.2. Blok Q_θ menggunakan Kuantisasi Ganjil (ODD)	53
IV.3. Hasil Simulasi RF Signal.....	59
IV.3.1. Frekuensi 2,3 GHz	59
IV.3.2. Frekuensi 3,5 GHz	65
BAB V PENUTUP	71
V.1. Kesimpulan	71
V.2. Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 (a) Sinyal Analog dan (b) Sinyal Digital	9
Gambar II.2 Parameter Sinyal	10
Gambar II.3 Sinyal Digital	11
Gambar II.4 Spectrum (a) sinyal WDM atau FDM (b) sinyal, OFDM	20
Gambar II.5 Transmisi Sinyal ketika ada noise	22
Gambar II.6 Linear z-domain pada $\Sigma\Delta$ modulator (MOD1)	24
Gambar II.7 Fungsi Noise-shaping untuk $\Sigma\Delta$ modulator	25
Gambar II.8 Band-pass $\Sigma\Delta$ upconverter (MOD2)	26
Gambar II.9 Band-pass $\Sigma\Delta$ upconverters dengan dua low-pass $\Sigma\Delta$	26
Gambar II.10 Polar $\Sigma\Delta$ upconverters berbasis <i>burst-mode</i>	27
Gambar II.11 Polar $\Sigma\Delta$ upconverters 1	28
Gambar II.12 Polar $\Sigma\Delta$ upconverters 2	29
Gambar III.1 Skenario penelitian arsitektur Cartesian- $\Sigma\Delta$	34
Gambar III.2 Skema Penelitian yang akan dilakukan	35
Gambar III.3 Diagram Alir Penelitian	36
Gambar III.4 Model Algoritma Penelitian	37
Gambar IV.1 Blok Diagram z-domain Delta Modulator	39
Gambar IV.2 Hasil kuantisasi sinyal 1-bit pada Delta Modulasi	41
Gambar IV.3 Blok Diagram z-domain DS MOD1	42
Gambar IV.4 Hasil kuantisasi 1-bit pada Delta Sigma Modulasi	45
Gambar IV.5 Perbandingan hasil kuantisasi 1-bit pada Delta Modulasi dan Delta-Sigma Modulasi	46



Gambar IV.6 Output Spektrum Frekuensi (a) Delta Modulator dan (b)Delta Sigma Modulator orde-1	47
Gambar IV.7 Perbandingan Output Spektrum Frekuensi DS dan DSM	48
Gambar IV.8 Pola kuantisasi amplitude dengan jumlah periode clock ganjil (odd number) pada $OSR_{RF} = 4$	50
Gambar IV.9 Pola kuantisasi amplitudo dengan jumlah periode clock ganjil (odd number) pada $OSR_{RF} = 8$	51
Gambar IV.10 Pola kuantisasi amplitude dengan jumlah periode clock ganjil (odd number) pada $OSR_{RF} = 16$	52
Gambar IV.11 Polar Plane Scale pada Kuantisasi Ganjil (odd), $OSR = 4$	53
Gambar IV.12 Polar Plane Scale pada Kuantisasi Ganjil (odd), $OSR = 8$	53
Gambar IV.13 Polar Plane Scale pada Kuantisasi Ganjil (odd), $OSR = 16$	54
Gambar IV.14 Hasil Output Spektrum Sinyal RF 2,3 GHz, pada (a) $OSR = 4$, (b) $OSR = 8$, dan (c) $OSR = 16$	60
Gambar IV.15 Posisi Power Signal (dB) pada frekuensi 2,3 GHz, untuk (a) $OSR = 4$, (b) $OSR = 8$, dan (c) $OSR = 16$	62
Gambar IV.16 Output <i>Image & Harmonic Distorsion</i> pada $OSR 8$, (a) <i>Offset 16</i> , (b) <i>Offset 32</i> , (c) <i>Offset 64</i>	63
Gambar IV.17 Output <i>Image & Harmonic Distorsion</i> pada $OSR 16$, (a) <i>Offset 16</i> , (b) <i>Offset 32</i> , (c) <i>Offset 64</i>	64
Gambar IV.18 Hasil Output Spektrum Sinyal RF 3,5 GHz, pada (a) $OSR = 4$, (b) $OSR = 8$, dan (c) $OSR = 16$	66



Gambar IV.19 Posisi Power Signal (dB) pada frekuensi 3,5 GHz, untuk (a) OSR = 4, (b) OSR = 8, dan (c) OSR = 1668

Gambar IV.20 Output *Image & Harmonic Distorsion* pada OSR 4, (a) *Offset* 16, (b) *Offset* 32, (c) *Offset* 6469



DAFTAR TABEL

Tabel IV.1 Nilai \hat{R}_Q untuk kuantisasi ganjil	56
Tabel IV.2 Hasil perhitungan <i>threshold</i> amplitudo pada odd-polar plane	57
Tabel IV.3 Hasil kuantisasi fasa odd-polar plane	58
Tabel IV.4 Hasil perhitungan <i>threshold</i> fasa pada odd-polar plane	58
Tabel IV.5 Tabel Noise Power Spectrum pada frekuensi 2,3 GHz	62
Tabel IV.6 Tabel Noise Power Spectrum pada frekuensi 3,5 GHz	68



BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Setelah kehadiran 4G, Era Generasi 5 (5G) dengan sistem komunikasi pita lebar (*broadband*) *Gigabit per second* saat ini telah digaungkan sebagai migrasi lanjutan dari standar telekomunikasi *broadband* Generasi 4 (4G). Parameter standar dalam proses migrasi 4G ke 5G merupakan frekuensi *carrier* yang hendak diaplikasikan pada kisaran 2-100 GHz dengan *signal bandwidth* diatas 20 MHz. Memasuki tahun 2021, sejauh ini terdapat tiga kandidat pita frekuensi yang akan digunakan untuk penerapan 5G di Indonesia yaitu 3,5 GHz, 26 GHz dan 28 GHz. Namun persiapan infrastruktur spektrum ini tidaklah begitu mudah diaplikasikan karena ternyata frekuensi 3,5 GHz misalnya masih digunakan oleh sistem satelit untuk televisi, perbankan dan telekomunikasi, sedangkan dua kandidat lainnya masih rentang terhadap distorsi besar yang akan dihadapinya. Terjadinya kelangkaan spektrum ini akan menjadi masalah utama dalam pengembangan sistem generasi baru 5G. Oleh karena itu, diperlukan sebuah metode terbaru solusi *frequency sharing* [1] serta riset mendalam tentang akibat distorsi yang ditimbulkannya sehingga kedudukan teknologi satelit bisa terintegrasi baik dikala peluncuran 5G mendatang [2]. Selain itu, dampak penting utama saat terjadi migrasi tersebut adalah diperlukannya memori *Power Amplifier* (PA) pada infrastruktur radio Tx/Rx (pengirim dan penerima) yang semakin linear dan

si rendah. Komponen-komponen *Radio Frequency* (RF) pada *Radio Base* (RBS) seperti *upconverter* dan unit penguat PA telah mendominasi 70%



dari keseluruhan kebutuhan daya pada RBS tersebut. Lebih lanjut lagi bahwa komponen-komponen dalam *Base Transceiver Station* (BTS) menggunakan hampir 55% dari total pembiayaan daya elektrik operasional bagi operator telekomunikasi radio[3]. Dengan demikian, bagi operator telekomunikasi radio sistem infrastruktur broadband 5G mendatang tetap harus akan mengeluarkan biaya yang diperkirakan 40% khusus diperuntukan bagi pembiayaan di unit transmisi RF dan penerimaan signal *mobile phone*. Oleh karena itu efisiensi konsumsi energi saat ini telah menjadi faktor pertimbangan dalam desain infrastruktur masa depan Tx/Rx RF.

Perkembangan teknologi nirkabel yang diintergerasikan dari *peripheral hardware* menuju software adalah goal digitalisasi perangkat *system 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) [4]. Di Indonesia, implementasi 4G masih menyisakan konflik antar tuntutan kebutuhan data rate yang lebih tinggi dengan keterbatasan spektrum radio. Teknologi *long term evolution* 4G atau LTE 4G berbasis *Single Carrier-Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (SC-OFDM) ini pun belum bisa diselenggarakan sepenuhnya di Indonesia terkait masalah pengalokasian frekuensi dalam *spectrum*

yang sudah cukup rapat. Walaupun OFDM hadir sebagai teknik transmisi transceiver yang mampu memberikan solusi handal terhadap tuntutan akses



layanan kecepatan tinggi secara realtime dengan performansi yang baik bagi LTE 4G. Namun, nilai *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) telah menimbulkan kenonlinearan pada sistem penguat daya PA pada sisi transmiternya. *Distorsi nonlinear* menyebabkan intermodulasi, dan efeknya ialah *subcarrier* tidak lagi orthogonal. Selain itu sistem ini juga telah meningkatkan kompleksitas pada perangkat converternya; *Analog-to-Digital and Digital-to-Analog Converters* (ADC/DAC).

Penelitian ini membahas tentang prinsip dasar dan pembuktian konsep tentang solusi *digital-upconverter* berbasis *cognitive radio* untuk optimasi *distorsi cancellation* pada kategori spectrum mask 5G. Solusi ini memiliki kemampuan baru berupa formulasi *green*-infrastruktur berbasis *Digital Signal Processing* (DSP) yang lebih handal karena sangat fleksibel, linear dan berdaya rendah [5][6][7]. Infrastruktur transmitter digital RF berbasis struktur *Sigma-Delta* ($\Sigma\Delta$) akan diusulkan dengan menangani teknologi koneksi nirkabel 5G *Internet of Things* (IoT) dengan *latency* (latensi) kecil [8] sebagaimana yang dikehendaki pada Industry 4.0. Arsitektur transmitter RF berstruktur $\Sigma\Delta$ ini menggantikan struktur komponen analog seperti *Low Pass Filter* (LPF), *modulator*, *Band Pass Filter* (BPF), dan *Local Oscillator* (LO) [9]. Struktur $\Sigma\Delta$ juga dapat digunakan untuk mengelolah skema modulasi yang cukup kompleks pelaksanaannya, seperti pada *Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access* (OFDMA), sehingga dapat menghasilkan luaran *waveform*, deretan binary bit 'on'-'off', yang

si tepat pada frekuensi *carriernya*; dan output *waveformnya* dapat mengu-
kuat-penguat kelas linear *Switch Mode Power Amplifier* (SMPA) yang



lebih linear[10]. Dengan demikian, penelitian ini mengungkapkan sebuah luaran berupa *novelty* melalui teori terbaru (*proof of concept*) dengan kajian mendalam seluruh fenomena distorsi dan analisis prediksi magnitude pada produk distorsi dengan akurasi simetrik yang tepat sehingga memungkinkan adanya solusi menghilangkan produk *distorsi* tersebut yang akan dikenal dengan *distorsion cancellation*. Hal ini pula dapat menjadi tolak ukur yang sangat penting untuk mencapai efisiensi tinggi dan linearitas terbaik dalam men-*drive* penguat-penguat PA kelas non-linear *switch mode* bagi infrastruktur *green-BTS* 5G yang akan digunakan.

I.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kajian terkait fenomena distorsi dengan menggunakan perbandingan struktur Delta (Δ) Modulator dan struktur Cartesian $\Sigma\Delta$ orde-1 (MOD1)?
2. Bagaimana pengaruh *Oversampling ratio* dan frekuensi *offset* terhadap *output power spectrum* pada frekuensi kerja 5G ?
3. Bagaimana solusi dari fenomena yang ditimbulkan untuk optimasi *distorsi cancellation* pada kategori spectrum mask 5G ?



I.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin di capai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan kajian terkait fenomena distorsi dengan menggunakan perbandingan struktur Delta (Δ) Modulator dan struktur Cartesian $\Sigma\Delta$ orde-1 (MOD1).
2. Mampu menjelaskan pengaruh *Oversampling ratio* dan frekuensi *offset* terhadap *output power spectrum* pada frekuensi kerja 5G.
3. Memberikan solusi dari fenomena yang ditimbulkan untuk optimasi *distorsi cancellation* pada kategori spectrum mask 5G.

I.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat di dalam penelitian ini memiliki beberapa manfaat seperti yang di uraikan berikut ini :

1. Bagi masyarakat dan mahasiswa penelitian ini diharapkan ke depannya dapat memberikan manfaat khususnya untuk perangkat telekomunikasi nirkabel 5G yang dapat dipelajari secara luas karena sistem ini dapat mengadopsi kebutuhan dan konsistensi teknologi nirkabel 5G.
2. Bagi institusi Universitas Hasanuddin, penelitian ini dapat berguna sebagai referensi ilmiah dalam pengembangan perangkat jaringan *wireless communication system 5G*.

Bagi peneliti, penelitian ini memiliki manfaat untuk menambah wawasan dan menjadi sumber data dalam pembuatan jaringan *wireless*



communication system 5G dengan implementasi berupa pengembangan *frequency sharing* dalam teknologi 5G .

4. Sebagai penguatan sistem inovasi nasional bidang TIK atau *Information and Communication Technology (ICT)* dalam mempersiapkan Indonesia menyongsong implementasi teknologi tercanggih ini secara global di beberapa tahun mendatang.

I.5. Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi masalah penulisan guna mengoptimalkan hasil penelitian. Adapun batasan masalah dalam penelitian ini ialah memusatkan penelitian hanya pada ; kajian fenomena distorsi dan akurasi *cancellation* pada efek *frequency sharing* dengan menggunakan filter *Sigma Delta* orde pertama, penggunaan OSR, metode kuantisasi ganjil, serta penggunaan frekuensi real kisaran GHz (standar frekuensi 5G) sesuai dengan standarisasi *spectrum mask* yang tersedia bagi broadband 5G yaitu 2,3 GHz dan 3,5 GHz terutama *spectrum mask* yang berlaku dalam skala nasional wilayah radio Indonesia.

I.6. Metode Penelitian

Adapun metode penulisan yang digunakan dalam penulisan ini guna menyelesaikan masalah, antara lain :

1. Studi Literatur

Tahap awal dari penelitian ini yaitu mencari sumber-sumber referensi dan materi pendukung untuk dijadikan sebagai acuan dalam penyelesaian



tugas akhir dimana merujuk pada buku-buku, jurnal-jurnal nasional maupun internasional seperti yang tertera pada daftar tinjauan pustaka sehingga bisa dipelajari dalam pengerjaan dan penulisan tugas akhir.

2. Pengujian dan Analisis

Tahap kedua dari penelitian ini yaitu kegiatan pengujian dan analisis dimaksudkan untuk memperoleh data-data aktual yang merupakan hasil pengukuran dan observasi dan simulasi secara langsung menggunakan software MATLAB.

3. Diskusi dan Konsultasi

Tahap ketiga dari penelitian ini yaitu melakukan dialog secara langsung maupun tidak langsung kepada pembimbing dan pihak-pihak yang berkompeten di bidang terkait untuk mendapatkan pengetahuan mengenai penelitian yang dilakukan

4. Penarikan Kesimpulan

Tahap akhir dari penelitian ini ialah menarik kesimpulan dari analisis data mengenai semua masalah yang dibahas.

I.7. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian dan penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN



Pada bab ini berisikan gambaran umum penelitian yang dilakukan meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini membahas tentang teori serta fakta-fakta yang diambil sebagai bahan referensi terkait dengan penelitian yang dilakukan yang berguna dalam penganalisaan kasus.

BAB III METODOLOGI PENULISAN

Pada bab ini berisikan mengenai jenis penelitian, waktu dan lokasi penelitian, teknik pengujian dan analisis data, serta diagram alir (*flowchart*) penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini akan dijelaskan mengenai hasil penelitian, masalah, dan pemecahannya.

BAB V PENUTUP

Pada bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian yang diperoleh pada bab sebelumnya dan saran-saran yang dapat berguna dalam pengembangan studi kasus pada tugas akhir ini di masa akan datang.

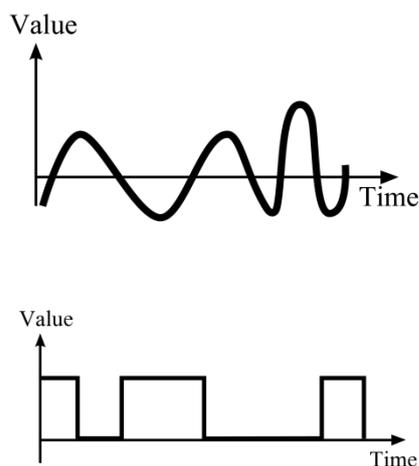


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Sinyal Analog dan Sinyal Digital

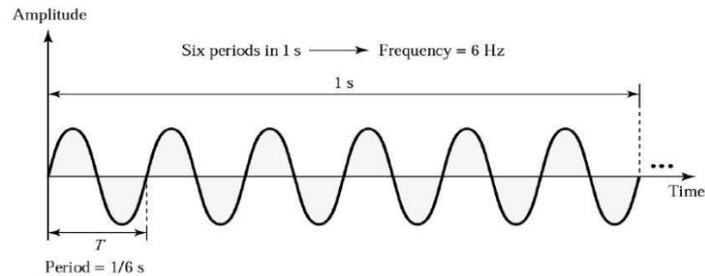
Komunikasi dapat dibedakan menjadi komunikasi analog dan komunikasi digital, berdasarkan data yang dikirimkan. Jika sinyal informasi berupa sinyal kontinu, maka komunikasi tersebut merupakan komunikasi analog. Sedangkan untuk sinyal informasi digital seperti kode ASCII, sinyal percakapan dan gambar digital maka komunikasi tersebut dinamakan komunikasi digital. Skema modulasi yang digunakan juga berbeda, untuk komunikasi analog menggunakan modulasi konvensional (AM atau FM) sedangkan komunikasi digital menggunakan modulasi FSK, PSK atau QAM beserta turunan masing-masing jenis modulasi tersebut. Saat ini komunikasi elektronik berusaha menggunakan sinyal informasi digital, misalnya komunikasi telepon seluler.



Gambar II.1 (a) Sinyal Analog dan (b) Sinyal Digital



Dalam sebuah sinyal, ada istilah amplitudo, periode dan frekuensi, panjang gelombang, serta fase sinyal. Gambaran tentang istilah-istilah sinyal tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar II.2 Parameter Sinyal

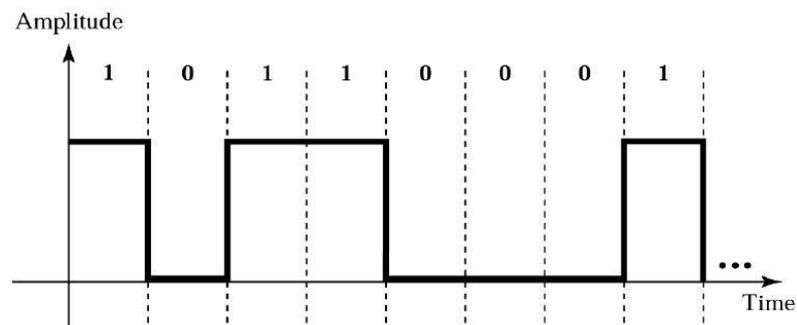
Berdasarkan gambar parameter di atas, Amplitudo merupakan besarnya sinyal atau besarnya ayunan sinyal tersebut. Dapat dikatakan satu gelombang jika ia terdiri dari sebuah bukit dan sebuah lembah. Sehingga panjang gelombang adalah jarak antara satu bukit dengan bukit berikutnya atau jarak lembah dengan lembah berikutnya dalam satuan meter. Istilah periode adalah waktu yang diperlukan untuk menempuh satu bukit dengan satu lembah (satu gelombang) dalam satuan detik. Banyaknya gelombang tiap detik disebut dengan frekuensi dalam satuan Hertz. Adapun hubungan antara frekuensi dengan periode dapat dinyatakan dengan $f(Hz) = \frac{1}{T(detik)}$, fase sinyal adalah sudut yang ditempuh dalam satu periode. Satu periode dinyatakan sebagai 360° . Sehingga fase pada saat awal gelombang ketika $t=0$ adalah 0° dan fase pada saat menempuh satu periode ($t=T$) adalah 360° .



sinyal digital biasanya amplitudonya dinyatakan dengan nilai 0 dan 1 (misalnya -1 dan 1 tergantung jenis pengkodeannya), dan periode adalah waktu

untuk satu pulsa sinyal dengan amplitudo 0 atau 1 tersebut. Maka dari itu satu gelombang sinyal digital hanya terdiri dari pulsa yang memiliki amplitudo 0 atau 1.

1. Seperti pada contoh gambar di bawah ini



Gambar II.3 Sinyal Digital

Pengertian *bit rate* (laju bit) adalah banyaknya pulsa kotak dalam tiap detik, atau kecepatan bit hampir sama dengan frekuensi sinyal analog. Periode sinyal digital biasanya disebut dengan interval bit, sehingga banyaknya pulsa kotak tiap detik menunjukkan laju bit sinyal digital.

Selain itu, perlu diperhatikan bahwasanya meskipun secara sekilas sinyal digital mirip dengan sinyal analog dengan satu frekuensi, tapi sebenarnya sinyal digital merupakan gabungan dari beberapa frekuensi. Istilah yang tepat adalah pulsa kotak dalam sebuah sinyal digital memiliki komponen lebih dari satu frekuensi, atau untuk membentuk sebuah pulsa kotak diperlukan gabungan beberapa frekuensi. Karena banyaknya frekuensi ini sangat penting untuk kebutuhan bandwidth saat sinyal digital akan dikirimkan melalui sebuah saluran. Singkatnya, sebuah sinyal analog akan membutuhkan bandwidth yang lebih kecil di

bandwidth sinyal digital jika frekuensi sinyal analog sama dengan laju bit sinyal



digital. Bandwidth saluran dalam sinyal analog dinyatakan dengan *Hertz*, sedangkan dalam sinyal digital dinyatakan dengan *bit per second* (bps).

Jenis informasi dalam sistem komunikasi ada dua yaitu : (1) Informasi Analog, berupa data-data yang nilainya bervariasi dalam range kontinu. Contohnya, gelombang suara dan gambar. (2) Informasi Digital, berupa data informasi yang terbentuk dari bilangan atau symbol dalam ukuran diskrit. Contohnya, text dan kode morse.

Sinyal digital memiliki *imunitas noise*, artinya data digital bisa direcovery tanpa noise sepanjang distorsi dan noise yang menyertainya berada dalam range tertentu. Namun pada sinyal analog, sedikit saja terkena distorsi atau noise, akan menyebabkan *error* pada sinyal yang akan diterima.

- Konversi *Analog to Digital* (A/D) dan *Digital to Analog* (D/A)

Sinyal-sinyal analog dapat dikonversikan ke dalam bentuk digital terlebih dahulu sebelum ditransmisikan. Dari bentuk digital inilah yang bisa dibawa dalam proses pengiriman sinyal yang membentuk dua simbol (representasi biner). Dalam proses konversi ini ada yang disebut dengan istilah Sampling, Kuantisasi, dan Coding.

- Teori Sampling, yaitu mengambil sampel dari sinyal analog kontinu untuk diberikan nilai tertentu. Teori Sampling Shannon mengatakan bahwa frekuensi pengambilan sampel (sampling) sebuah sinyal tidak kurang dari $2 f_i$ (f_i adalah frekuensi dari sinyal informasi).

kuantisasi, merupakan proses pemberian nilai kepada sampel sinyal dengan pendekatan kepada level-level tertentu.



- *Coding*, terdiri atas *Source Coding* dan *Channel Coding*. *Source Coding* proses mengkonversikan bentuk kuantisasi sinyal menjadi urutan digital, sedangkan *Channel Coding* proses mengatur redundansi sinyal dengan cara tertentu untuk menekan noise dan interferensi[11].

II.2 Modulasi

Modulasi adalah proses perubahan (*varying*) suatu gelombang periodik sehingga menjadikan suatu sinyal mampu membawa suatu informasi. Dengan proses modulasi, suatu informasi (biasanya berfrekuensi rendah) bisa dimasukkan ke dalam suatu gelombang pembawa, biasanya berupa gelombang sinus berfrekuensi tinggi. Terdapat tiga parameter kunci pada suatu gelombang sinusoidal yaitu : amplitudo, fase dan frekuensi. Ketiga parameter tersebut dapat dimodifikasi sesuai dengan sinyal informasi (berfrekuensi rendah) untuk membentuk sinyal yang termodulasi. Peralatan untuk melaksanakan proses modulasi disebut modulator, sedangkan peralatan untuk memperoleh informasi-informasi awal (kebalikan dari dari proses modulasi) disebut demodulator dan peralatan yang melaksanakan kedua proses tersebut disebut modem.

Modulasi adalah suatu proses dimana parameter dari suatu gelombang divariasikan secara proposional terhadap gelombang lain. Parameter yang diubah tergantung pada besarnya modulasi yang diberikan. Proses modulasi membutuhkan dua buah sinyal pemodulasi yang berupa sinyal informasi dan

pembawa (*carrier*) dimana sinyal informasi tersebut ditumpangkan oleh *carrier*. Maka secara garis besar dapat diasumsikan bahwa modulasi



merupakan suatu proses dimana gelombang sinyal termodulasi ditransmisikan dari *transmitter* ke *receiver*. *Transmitter* memodifikasi sinyal baseband untuk efisiensi proses pengiriman. *Transmitter* terdiri dari satu atau lebih subsistem ini: *pre-empasizer*, *sampler*, *quantizer*, *coder* dan modulator. Pada sisi *receiver* sinyal modulasi yang diterima dikonversikan kembali ke bentuk asalnya, proses ini disebut dengan demodulasi. Rangkaian yang digunakan untuk proses modulasi disebut dengan modulator, sedangkan rangkaian yang digunakan untuk proses demodulasi disebut demodulator.

II.2.1 Modulasi Analog

Modulasi analog adalah proses pengiriman sinyal data yang masih berupa sinyal analog atau berbentuk sinusoidal. Adapun yang termasuk kedalam modulasi analog adalah sebagai berikut:

- *Amplitude Modulation* (AM)

Amplitude Modulation (AM) adalah modulasi yang paling sederhana. Gelombang pembawa (*carrier wave*) diubah amplitudonya sesuai dengan sinyal informasi yang akan dikirimkan. Modulasi ini disebut juga *linear modulation*, artinya bahwa pergeseran frekuensinya bersifat *linier* mengikuti sinyal informasi yang akan ditransmisikan.

- *Frequency Modulation* (FM)

Frequency Modulation (FM) adalah nilai frekuensi dari gelombang pembawa (*carrier wave*) diubah-ubah menurut besarnya amplitudo dari sinyal informasi.

na noise pada umumnya terjadi dalam bentuk perubahan amplitudo, FM tahan terhadap noise dibandingkan dengan AM.



- *Phase Modulation (PM)*

Phase Modulation (PM) adalah proses modulasi yang mengubah fasa sinyal pembawa sesuai dengan sinyal pemodulasi atau sinyal pemodulasinya. Sehingga dalam modulasi PM amplitudo dan frekuensi yang dimiliki sinyal pembawa tetap, tetapi fasa sinyal pembawa berubah sesuai dengan informasi.

II.2.2 Modulasi Digital

Modulasi digital merupakan proses penumpangan sinyal digital ke dalam sinyal pembawa (*carrier*), atau sebagai teknik pengkodean sinyal dari sinyal analog ke dalam sinyal digital (bit-bit pengkodean). Modulasi digital ini juga dapat dikatakan sebagai sebuah proses mengubah-ubah karakteristik atau sifat gelombang pembawa (*carrier*) sedemikian rupa sehingga bentuk hasilnya (*modulated carrier*) memiliki ciri-ciri dari 'bit 0' atau 'bit 1' yang dikandungnya. Sehingga dengan mengamati *modulated carrier*, kita bisa mengetahui urutan bitnya disertai *clock (timing, sinkronisasi)*. Melalui proses modulasi digital sinyal-sinyal digital setiap tingkatan dapat dikirim ke penerima dengan baik. Untuk pengiriman ini dapat digunakan media transmisi fisik (logam atau optik) atau non fisik (gelombang-gelombang radio). Adapun yang termasuk kedalam modulasi digital adalah sebagai berikut:

- *Amplitude Shift Keying (ASK)*

Modulasi digital *Amplitude Shift Keying (ASK)* adalah pengiriman sinyal

berdasarkan pergeseran amplitudo. Sistem modulasi ini merupakan modulasi yang menyatakan sinyal digital 1 sebagai suatu nilai tegangan



dan sinyal digital 0 sebagai suatu nilai tegangan yang bernilai 0 volt. Sehingga dapat diketahui bahwa didalam sistem modulasi ASK, kemunculan frekuensi gelombang pembawa tergantung pada ada tidaknya sinyal informasi digital.

- *Frequency Shift Keying (FSK)*

Modulasi digital *Frequency Shift Keying (FSK)* merupakan sejenis *Frequency Modulation (FM)*, dimana sinyal pemodulasinya (sinyal digital) menggeser outputnya antara dua frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya, yang biasa diistilahkan frekuensi *mark* dan *space*. Modulasi digital dengan FSK juga menggeser frekuensi *carrier* menjadi beberapa frekuensi yang berbeda didalam *band*-nya sesuai dengan keadaan digit yang dilewatkannya. Jenis modulasi ini tidak mengubah amplitudo dari *signal carrier* yang berubah hanya frekuensi. Teknik FSK banyak digunakan untuk informasi pengiriman jarak jauh atau *teletype*.

- *Phase Shift Keying (PSK)*

Modulasi digital *Phase Shift Keying (PSK)* merupakan modulasi yang menyatakan pengiriman sinyal digital berdasarkan pergeseran fasa. Biner 0 diwakilkan dengan mengirim suatu sinyal dengan fasa yang sama terhadap sinyal yang dikirim sebelumnya dan biner 1 diwakilkan dengan mengirim suatu sinyal dengan fasa berlawanan dengan sinyal dengan sinyal yang dikirim sebelumnya. Dalam proses modulasi ini, fasa dari frekuensi gelombang pembawa berubah-ubah sesuai dengan perubahan status sinyal informasi

[12].



II.3. Fast Fourier Transform (FFT)

Fast Fourier Transform adalah suatu algoritma yang biasa digunakan dalam dunia *telecommunication* untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu diskrit dan domain frekuensi. Sementara itu, IFFT adalah singkatan dari *Inverse Fast Fourier Transform*. Membahas mengenai FFT-IFFT tentunya tidak dapat dilepaskan dari DFT (*Discrete Fourier Transform*). DFT merupakan metode transformasi matematis untuk sinyal waktu diskrit ke dalam domain frekuensi. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa DFT merupakan metode transformasi matematis sinyal waktu diskrit, sementara FFT adalah algoritma yang digunakan untuk melakukan transformasi tersebut. Singkatnya, Fast Fourier Transform (FFT) adalah suatu algoritma untuk menghitung transformasi Fourier diskrit (*Discrete Fourier Transform*, DFT) dengan cepat dan efisien. Transformasi Fourier cepat diterapkan dalam beragam bidang, mulai dari pengolahan sinyal digital, memecahkan persamaan diferensial parsial, dan untuk algoritma untuk mengalikan bilangan bulat besar. Ada pun kelas dasar dari algoritma FFT yaitu decimation in time (DIT) dan decimation in frequency (DIF).

FFT ini digunakan sebagai teknik perhitungan operasi matematika untuk mentransformasikan sinyal analog menjadi sinyal digital berbasis frekuensi yang membagi sebuah sinyal menjadi frekuensi yang berbeda-beda dalam fungsi eksponensial yang kompleks. FFT adalah algoritma untuk menghitung transformasi fourier diskrit dengan cepat dan efisien. Oleh karena sinyal-sinyal

system komunikasi bersifat kontinyu, sehingga hasilnya dapat digunakan transformasi fourier. *Fourier Transform* dapat didefinisikan dengan rumus :



$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (1)$$

$S(f)$ = sinyal dalam domain frekuensi (*frequency domain*)

$s(t)$ = sinyal dalam domain waktu (*time domain*)

$s(t)e^{-j2\pi ft}$ = konstanta nilai sebuah sinyal

f = frekuensi

t = waktu

Dari persamaan integral di atas dapat dilihat bahwa FFT dapat digunakan untuk menghitung nilai frekuensi, amplitudo dan fase dari suatu gelombang sinyal. Sementara untuk menghitung spektrum frekuensi sinyal pada komputer digital membutuhkan algoritma *Discrete Fourier Transform* (DFT). DFT dapat mengubah sinyal domain waktu menjadi sinyal domain frekuensi. Berikut adalah persamaannya :

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \exp[-2j\pi ux/N] \quad (2)$$

$$F(u) = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} f(x) \left(\cos\left(\frac{2\pi ux}{N}\right) - j \sin\left(\frac{2\pi ux}{N}\right) \right) \quad (3)$$

Dimana, N adalah jumlah sampel yang diambil[13].

II.4. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) digunakan secara luas dalam sistem komunikasi kabel dan nirkabel broadband karena ini merupakan solusi efektif untuk interferensi antar simbol yang disebabkan oleh saluran

Ini menjadi sangat penting karena kecepatan data meningkat ke titik di ketika skema modulasi serial konvensional seperti modulasi amplitudo (QAM) atau NRZ digunakan, sinyal yang diterima setiap saat akan



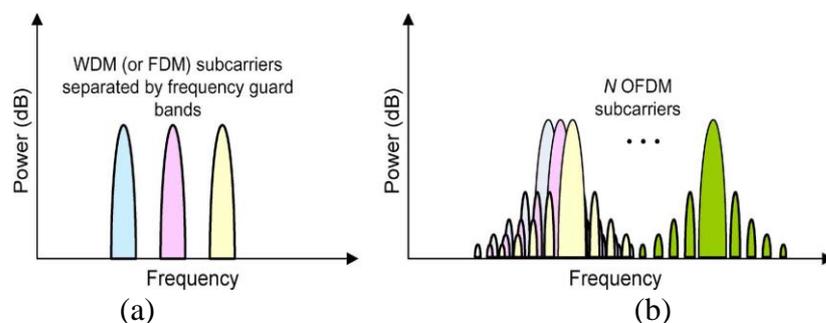
bergantung pada beberapa simbol yang ditransmisikan. Dalam hal ini kompleksitas pemerataan dalam skema serial yang menggunakan pemerataan domain waktu meningkat pesat. Sebaliknya, kompleksitas OFDM, serta sistem yang menggunakan modulasi serial dan pemerataan domain frekuensi, skala serta kecepatan data dan peningkatan dispersi. Keuntungan utama kedua OFDM adalah mentransfer kompleksitas pemancar dan penerima dari domain analog ke digital. Misalnya, meski desain filter analog yang tepat dapat berdampak besar pada kinerja sistem modulasi serial, dalam OFDM setiap variasi fasa dengan frekuensi dapat dikoreksi dengan sedikit atau tanpa biaya di bagian digital receiver. Terlepas dari keuntungan penting OFDM ini, baru belakangan ini OFDM telah dipertimbangkan untuk komunikasi optik. Sementara terdapat banyak detail sistem OFDM yang sangat kompleks, konsep dasar OFDM cukup sederhana. Data ditransmisikan secara paralel pada sejumlah frekuensi yang berbeda, dan akibatnya periode simbol jauh lebih lama daripada sistem serial dengan kecepatan data total yang sama. Karena periode simbol lebih panjang, *intersymbol interference* (ISI) hanya mempengaruhi paling banyak satu simbol, dan pemerataan disederhanakan. Dalam sebagian besar implementasi OFDM, setiap ISI sisa dihilangkan dengan menggunakan bentuk interval penjaga yang disebut awalan siklik.

Ketika *frequency division multiplexing* (FDM) digunakan dalam sistem nirkabel konvensional, atau *wavelength division multiplexing* (WDM) digunakan dalam

optik, maka informasi juga ditransmisikan pada sejumlah frekuensi yang secara bersamaan. Namun terdapat sejumlah perbedaan teoritis dan



praktis utama antara OFDM dan sistem konvensional ini. Dalam OFDM frekuensi *subcarrier* dipilih sehingga sinyal secara matematis ortogonal selama satu periode simbol OFDM. Baik modulasi dan *multiplexing* dicapai secara digital menggunakan *inverse fast Fourier transform* (IFFT) dan sebagai hasilnya, sinyal ortogonal yang dibutuhkan dapat dihasilkan secara tepat serta dengan cara komputasi yang sangat efisien. Dalam FDM / WDM ada pita pengaman frekuensi antara *subcarrier*. Di penerima, *subcarrier* individu dipulihkan dengan menggunakan teknik penyaringan analog. Gambar II.4 menunjukkan spektrum untuk FDM / WDM dan OFDM. Dalam OFDM, spektrum *subcarrier* individu tumpang tindih, tetapi karena sifat ortogonalitas, maka selama salurannya linier, *subcarrier* dapat didemodulasi tanpa gangguan dan tanpa perlu penyaringan analog untuk memisahkan *subcarrier* yang diterima. Demodulasi dan *demultiplexing* dilakukan dengan *fast fourier transform* (FFT). Spektrum *subcarrier* OFDM individu memiliki bentuk $\sin(x)/x^2$, sehingga setiap *subcarrier* OFDM memiliki *sidelobes* signifikan pada rentang frekuensi yang mencakup banyak subcarrier lainnya. Ini merupakan penyebab dari salah satu kelemahan utama OFDM, bahwa OFDM cukup sensitif terhadap offset frekuensi dan gangguan fasa[14].



Gambar II.4 Spektrum (a) sinyal WDM atau FDM (b) sinyal, OFDM



II.5. Distorsi dan Noise

Distorsi dan noise adalah dua efek yang tidak diinginkan pada sinyal. Sistem dirancang untuk meminimalkan efek dari dua fenomena yang tidak diinginkan ini. Sehingga berbagai teknik dapat digunakan dalam merumuskan hubungan itu untuk mengurangi fenomena ini sampai pada batas minimal yang tidak diterima. Di dalam sistem komunikasi data, jika tidak ditangani dengan benar, efek atenuasi dan distorsi kemungkinan besar memiliki kemampuan untuk membuat transfer data tidak berhasil.

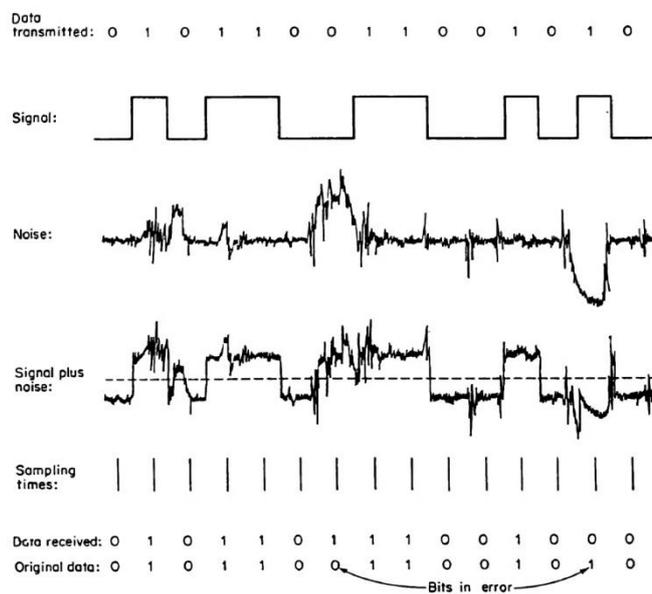
Distorsi dikenal sebagai pergantian sinyal asli atau gangguan yang terjadi setiap kali kita mentransmisikan sinyal tertentu melalui media/saluran tertentu. Ini mungkin terjadi karena sifat medianya. Ada banyak jenis distorsi dalam sistem komunikasi sinyal seperti distorsi amplitudo, distorsi harmonik, dan distorsi fase. Untuk gelombang elektromagnetik, distorsi polarisasi juga dapat terjadi. Ketika fenomena ini terjadi, bentuk gelombang akan berubah. Sebagai contoh, pada distorsi amplitudo terjadi jika semua bagian sinyal tidak diperkuat secara merata. Ini sering terjadi pada transmisi nirkabel karena media berubah seiring berjalannya waktu. Sisi penerima harus dapat mengidentifikasi distorsi ini.

Noise adalah sinyal acak yang tidak diinginkan yang ditambahkan (bersuperposisi) ke sinyal, merupakan energi atau sinyal elektromagnetik yang random, dan tidak diharapkan, yang masuk ke dalam sistem komunikasi melalui media komunikasi, dan menginterferensi sinyal yang ditransmisikan.. Noise

kan pada sinyal karena banyak alasan alami saat bergerak melalui media. atau kebisingan ini dapat membuat sinyal berfluktuasi secara acak, dan



mengganggu proses pengungkapan informasi yang dikirim melalui sinyal. Noise dapat terjadi karena alasan alami atau buatan. Ada banyak jenis noise seperti thermal noise, shot noise, flicker noise, burst noise dan avalanche noise dalam elektronika. Derau putih dan derau Gaussian adalah jenis derau yang ditentukan secara statistic. Beberapa noise tidak dapat dihindari, dan hanya efeknya pada sinyal yang dapat diminimalkan.



Gambar II.5 Transmisi Sinyal ketika ada *noise*

Pengaruh *noise* pada sinyal dapat diukur menggunakan parameter yang dikenal sebagai istilah rasio *Signal to Noise* (SNR) atau S/N. Jika rasio S/N kecil, efek kebisingan atau noise akan lebih besar. Jika rasio S/N kurang dari satu dan sangat rendah, maka sulit untuk mengungkapkan informasi yang disimpan dalam sinyal. Secara umum ada tiga hal yang dapat membedakan antara distorsi dan

adalah (1) Distorsi adalah perubahan sinyal asli, sedangkan noise adalah faktor eksternal yang ditambahkan ke sinyal asli, (2) Menghilangkan efek noise lebih sulit daripada menghilangkan efek distorsi, (3) Noise memiliki sifat



yang lebih *stokastik* (sesuatu yang belum terjadi kepastiannya) dibandingkan dengan distorsi[15].

II.6. Teknologi Generasi kelima (5G)

Setelah kehadiran teknologi 4G, kini akan terus berlanjut dari era 1980-an sampai 2020, setiap generasi teknologi nirkabel telah mengirim dan menerima data dengan lebih cepat hingga mencapai kecepatan 1 GHz atau 1000 Mbps. Berdasarkan sumber yang ada kemampuan 5G dalam mengirim dan menerima data sebanyak itu dengan sangat cepat membuka pintu peluang bagi sistem virtual reality dan augmented reality begitu pun dengan otomatisasi. Untuk mencapai kecepatan data tinggi dengan latensi penundaan rendah dibutuhkan perubahan teknis, termasuk pengiriman data yang menggunakan frekuensi radio yang lebih tinggi dan desain antenna transmitter untuk mengurangi gangguan dengan banyaknya perangkat yang berkomunikasi dalam waktu yang bersamaan. Hal tersebut menjadikan jaringan 5G membutuhkan lebih banyak stasiun pangkalan yang juga harus lebih kecil secara fisik dari menara seluler yang telah ada dan peletakkannya dengan jarak yang lebih dekat. Stasiun pangkalan 5G memungkinkan akan diletakkan setiap 250 meter, bukan satu hingga lima kilometer seperti yang dibutuhkan 4G[16].

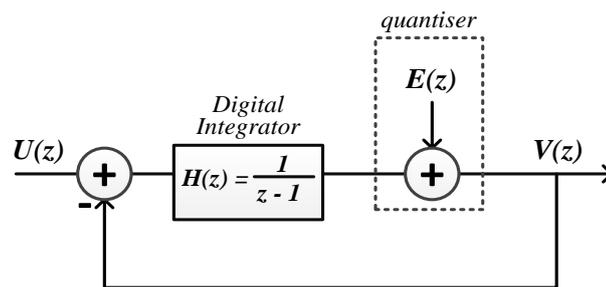
II.7. Sigma-Delta ($\Sigma\Delta$) Modulator

Modulasi $\Sigma\Delta$ berfungsi sebagai *analog to digital converter*. Modulator $\Sigma\Delta$

dynamic range yang besar, area chip yang kecil dan mengkonsumsi daya yang rendah sehingga mudah diaplikasikan sebagai unsur komponen



elektronik. Teknik $\Sigma\Delta$ membentuk *noise shaping* untuk menjauhkan signal band dari noise dan *quantisation noise* untuk menekan noise tersebut serendah mungkin. Teknik modulasinya dengan cara mengurangi hasil sampling *quantisation error* dari sampling signal yang dihasilkan sebelumnya (*feedback*) dan seterusnya hingga *quantisation error* yang diperoleh menjadi nol. *Error signal* akan diperoleh setelah di link *feedback* sehingga teknik $\Sigma\Delta$ berfungsi pula sebagai *filter* karena memisahkan *transfer function* antara signal dan noisenya, Penambahan noise pada sistem ini diperlukan untuk menguji coba kinerja dari *quantizer* sehingga error yang masuk sebelumnya dapat dinetralsir[17].



Gambar II.6 Linear z-domain pada $\Sigma\Delta$ modulator (MOD1)

Gambar II.6 memperlihatkan struktur analog dasar sebuah ADC dengan filter (*intergrator*) dan linear z-domainnya. Modulator $\Sigma\Delta$ 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)

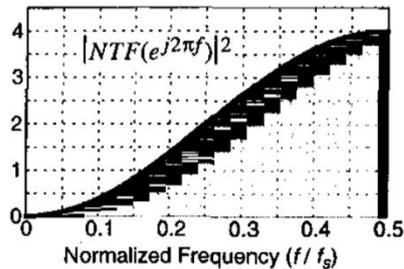
signal input terbentuk dari *signal transfer function* (STF) [18].

ini adalah persamaan umum untuk NTF :

$$NTF = [2 \sin(\pi f)]^2 \quad (4)$$



$$STF = 1 - NTF \quad (5)$$



Gambar II.7 Fungsi *Noise-shaping* untuk $\Sigma\Delta$ modulator

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 $U(z)$.

II.7.1. Arsitektur transmitter $\Sigma\Delta$ upconverters

II.7.1.1 Band-pass $\Sigma\Delta$ upconverters

Teknik modulasi *band-pass* $\Sigma\Delta$ merupakan struktur permulaan bagi desain pemancar RF menggunakan SMPA. Keyzer [19] dalam penelitiannya bahwa modulator *band-pass* $\Sigma\Delta$ mampu menghasilkan sebuah deretan signal pulsa dan mampu menekan *quantisation noise* sehingga sangat cocok sebagai masukan ke penguat-penguat SMPA (Gambar II.6).

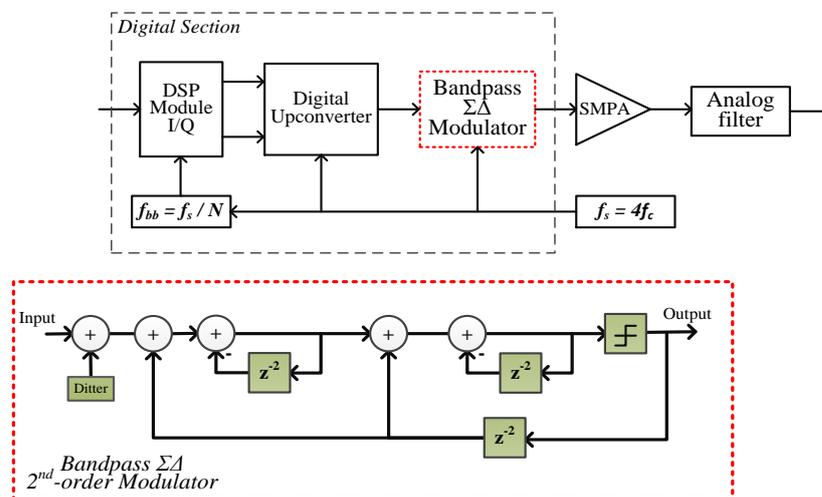
Teknik modulasi ini dapat menghilangkan prosesi analog melalui DSP yaitu dengan cara mengganti *band-pass* $\Sigma\Delta$ 1-bit ADC dengan *band-pass* $\Sigma\Delta$ 1-bit DAC. Modul DSP digunakan untuk menghasilkan input signal baseband $I-Q$.

Setelah itu, kedua input tersebut akan diinterpolasi dengan *sampling frequency* (f_s)

up besar sebelum dilakukan konversi sinyal. Metode konversi dilakukan
 ara masing-masing signal baseband $I-Q$ dikalikan dengan deret pulsa

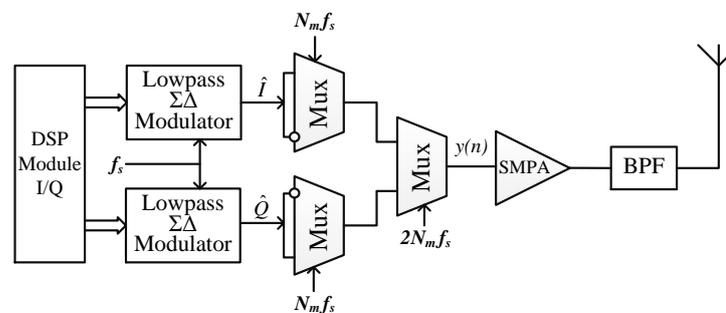


1,1,-1,-1,... (untuk baseband- I) and -1,1,1,-1,... (untuk baseband- Q). Hasil proses konversi kemudian digabungkan dan diteruskan ke modulator $band-pass \Sigma\Delta$ dimana akan menghasilkan sederetan sinyal digital $waveform$ untuk kemudian diteruskan ke SMPA. Teknik modulasi ini memerlukan f_s yang empat kali lebih besar dari $carrier frequency (f_c)$ RF. Dengan tingginya kecepatan waktu ($clock rate$) tersebut maka pula memerlukan konsumsi daya yang besar sehingga bisa mengurangi efisiensi sistemnya.



Gambar II.8 Band-pass $\Sigma\Delta$ upverter (MOD2)

Implementasi lain pada teknik $band-pass \Sigma\Delta$ yaitu menggunakan kombinasi dua modulator $low-pass \Sigma\Delta$ untuk baseband- I dan baseband- Q telah diteliti[7].



Gambar II.9 Band-pass $\Sigma\Delta$ upconverters dengan dua low-pass $\Sigma\Delta$



Pada Gambar II.9, *upconverter* ini dilengkapi dengan tiga buah unit *multiplexer* (Mux) yang beroperasi seperti *quadrature modulator* untuk mengkonversi bit kuantisasi $\hat{I}-\hat{Q}$ ke bentuk sinyal RF melalui f_c . Hal ini dapat dituliskan dalam persamaan berikut:

$$y_{RF}(n) = \hat{Q} \sin\left(2\pi n \frac{f_c}{f_{clock}}\right) + \hat{I} \cos\left(2\pi n \frac{f_c}{f_{clock}}\right) \quad (6)$$

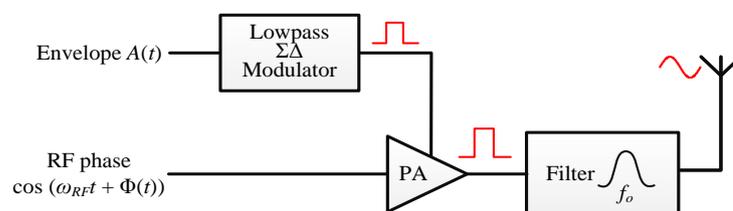
Pada saat $f_{clock} = 4f_c$ maka persamaan (1) menjadi:

$$\sin\left(2\pi n \frac{f_c}{f_{clock}}\right) = 0, 1, 0, -1, 0, 1, \dots \quad (7)$$

$$\cos\left(2\pi n \frac{f_c}{f_{clock}}\right) = 1, 0, -1, 0, 1, 0, \dots \quad (8)$$

II.7.1.2 Polar $\Sigma\Delta$ upconverters

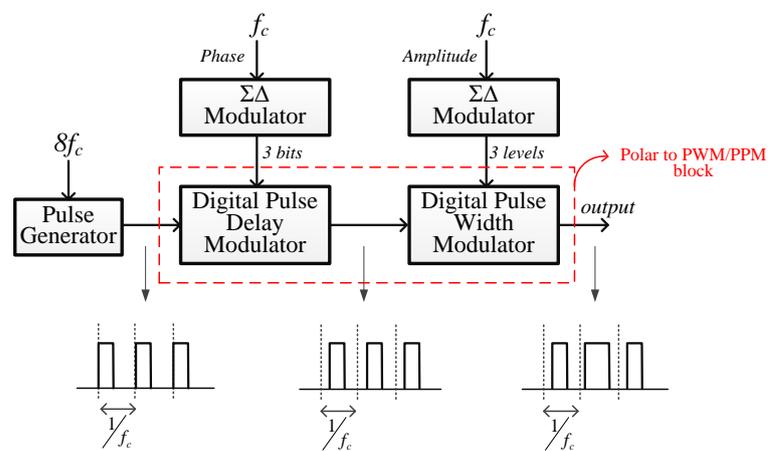
Teknik polar $\Sigma\Delta$ beroperasi pada sinyal berskema polar (amplituda $A(t)$ and fasa $\Phi(t)$) dan bukan skema $I-Q$ [11]. Struktur polar $\Sigma\Delta$ ini telah diperkenalkan untuk mengurangi aktivitas switching dan mengurangi penggunaan komponen analog.



Gambar II.10 Polar $\Sigma\Delta$ upconverters berbasis *burst-mode*.



Gambar II.10 adalah struktur polar $\Sigma\Delta$ yang terdiri atas modulator *low-pass* $\Sigma\Delta$ 1-bit dan sebuah gerbang penguat. Setiap sampel (*envelope*) amplituda sinyal input $A(t)$ akan mewakili nilai rata-rata periode ‘on’-‘off’ (*burst mode*) berbentuk signal pulsa dan inilah sebagai bagian output modulator *low-pass* $\Sigma\Delta$. Sedangkan fasa input akan mewakili pewaktuan pada pembawa RF. Gerbang penguat beroperasi dalam mode saturasi dengan input berupa gelombang segiempat (pulsa).



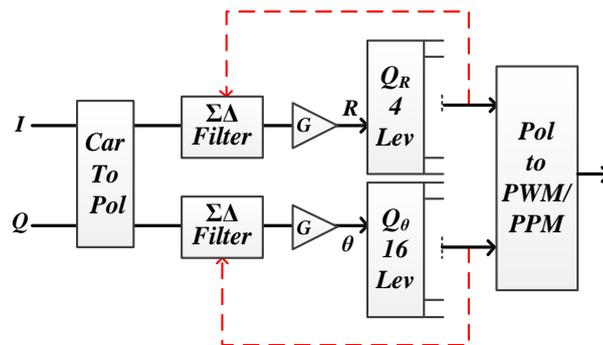
Gambar II.11 Polar $\Sigma\Delta$ upconverters 1 [20].

Keyzer [20] melakukan penelitian dengan mengembangkan struktur $\Sigma\Delta$ melalui dua modulator $\Sigma\Delta$, dimana masing-masing modulator menghasilkan pulsa signal yang mengandung nilai amplitude dan fasa signal. Struktur $\Sigma\Delta$ juga dirancang dengan menambahkan blok konversi *pulse width modulation* (PWM) dan *pulse position modulation* (PPM), terlihat pada Gambar II.11. Amplituda signal dikuantisasi kedalam tiga level dan fasa signal dikuantisasi kedalam delapan level.

pulse delay modulator berperan pada input pemodulasi fasa dalam periode *digital pulse delay modulator* berperan menghasilkan ouput termodulasi



fasa dalam periode $\frac{1}{8f_c}$. Proses selanjutnya adalah *pulse expander* untuk mengubah-ubah lebar fasa. Struktur ini mampu mengurangi jumlah pulsa dalam satu periode dan *switching pulse* disaat signal inputnya kecil. Struktur ini sangat baik diterapkan dalam transmitter-RF karena memiliki efisiensi yang sangat baik namun kelemahannya ialah terbentuknya lebar pulsa (bandwidth) yang sangat besar.



Gambar II.12 Polar $\Sigma\Delta$ upconverters 2 [9].

Bassoo [9] melakukan penelitian pengembangan pada struktur polar $\Sigma\Delta$ seperti terlihat pada Gambar II.12. Input signal berupa baseband I - Q dikonversi kedalam format polar menghasilkan R , θ . Dua buah modulator *low-pass* $\Sigma\Delta$ ditempatkan untuk masing-masing signal R (amplituda) dan θ (fasa). Nilai R dikuantisasi dalam 4 level sedangkan dan θ dikuantisasi dalam 16 level terdistribusi antara nilai 0 hingga 2π . 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

bagi SMPA.



Dari hasil studi pustaka diatas dan penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa struktur $\Sigma\Delta$ dapat menghasilkan akurasi lebar dan posisi pulsa pada setiap cycle di *carrier frequency*. Dengan demikian dalam struktur $\Sigma\Delta$ signal fasa harus 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.

Studi dasar teknik filter $\Sigma\Delta$ yakni modulator $\Sigma\Delta$ orde-1 (MOD1) dan orde-2 (MOD2) dilaksanakan oleh Sirmayanti [21]. Perbandingan struktur $\Sigma\Delta$ MOD1 dan MOD2 dapat memperlihatkan fenomena *noise shaping*. Semakin tinggi OSR dan level ordernya, *noise shaping* akan semakin kecil. Sebuah pemodelan baru polar $\Sigma\Delta$ menuju struktur Cartesian $\Sigma\Delta$ dilaksanakan oleh Sirmayanti [22]. Format Cartesian- $\Sigma\Delta$ diajukan untuk mengatasi masalah pelebaran lebar pita (*switching*

h) dan fleksibilitas perangkat transmisi untuk mengeliminasi beberapa n analog. Penelitian mengenai teknik kuantisasi pada struktur $\Sigma\Delta$ juga



telah dilakukan. Penelitian ini dititikberatkan pada unit feedback filter $\Sigma\Delta$ saja[23]. 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 periodnya saja namun bisa disesuaikan level dimensi kuantisasi yang digunakan. Variasi level ini bisa dikembangkan berdasarkan level OSR yang digunakan dan bahkan berpotensi menggunakan kuantisasi dua-dimensi berdasarkan clock period bernilai genap (*even*) dan ganjil (*odd*) dan kombinasi kedua-keduanya (*joint odd-even*).

Konsep dasar arsitektur modulator $\Sigma\Delta$ sebagai digital converter juga telah dilaksanakan. Hasil review studi literature menunjukkan metode arsitektur yang tepat untuk optimalisasi struktur filter $\Sigma\Delta$. 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*. Penelitian mengenai analisis *noise shaping* and karakteristik distorsi pasca proses kuantisasi pada struktur $\Sigma\Delta$ juga telah dilakukan[26]. Hasil penelitian ini menunjukkan tingkat resolusi kuantisasi sangat diperlukan untuk mendapatkan noise shaping yang baik dalam spectrum. Filter $\Sigma\Delta$ berperan sebagai unit modulator sebelum ke *quantiser*, unit loop feedback berperan untuk menekan bit-error yang ditimbulkan

proses kuantisasi sehingga disinilah diperoleh noise shaping dengan noise yang sangat rendah. Metode penelitian yang dilakukan dengan cara



membandingkan signal level pada *spectrum adjance control power* (ACP) antara polar dan *Cartesian* $\Sigma\Delta$ menggunakan signal OFDM. Dalam hasil review studi literature oleh Sirmayanti (2018)[24] menunjukan metode arsitektur yang tepat untuk optimalisasi struktur filter $\Sigma\Delta$. Struktur Cartesian $\Sigma\Delta$ memiliki keunggulan dibandingkan dengan struktur band pass $\Sigma\Delta$ dan polar $\Sigma\Delta$ terutama pada permasalahan *bandwidth expansion* dan penurunan *switching activity*. Penelitian terkini tentang penerapan metode *tuning baseband* untuk meningkatkan *dynamic range* pemodelan *upconveter* dari permasalahan distorsi masih terkendala besar dalam sistem nirkabel 5G. Walaupun melalui *channel tuning* dengan variable-variabel nilai *offset* dapat menghasilkan kemurnian sinyal yang diinginkan (*desired signal*) yang sudah bebas dari internal distorsi, namun keberadaan *noise floor* masih tersisa tinggi khususnya saat menggunakan over sampling rendah.[25]

