

SIMULASI DAN ANALISIS REDUKSI PAPR TERHADAP SC-FDMA PADA UPLINK LTE MENGGUNAKAN ADJACENT PARTITIONING PTS

PAPR REDUCTION ANALYSIS AND SIMULATION IN SC-FDMA OF LTE UPLINK USING ADJACENT PARTITIONING PTS

Ahmad Naufal Budianto¹, Heroe Wijanto², Arfianto Fahmis

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ahmadnaufalbudi@student.telkomuniversity.ac.id, ²heroe@telkomuniversity.co.id,

³arfiantof@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada dasarnya SC-FDMA memiliki kompleksitas dan kinerja yang hampir sama dengan OFDMA, tetapi memiliki performansi nilai PAPR lebih rendah dibandingkan OFDMA, karena memiliki struktur single carrier yang inheren. Nilai PAPR yang terjadi pada SC-FDMA tergantung dengan subcarrier mapping yang digunakan.

Tujuan percobaan ini adalah mensimulasi dan menganalisis metode AP-PTS untuk reduksi nilai PAPR pada sistem SC-FDMA uplink LTE. Metode AP-PTS merupakan metode PTS dengan melakukan partisi simbol modulasi dan ditempatkan ke dalam sub-block dengan ukuran yang sama secara berurutan. Parameter keberhasilan kinerja AP-PTS untuk mereduksi nilai PAPR pada percobaan ini ditinjau dari grafik nilai PAPR hasil keluaran uji simulasi hingga probabilitas CCDF 10⁻³ dan nilai BER terhadap SNR. Sedangkan parameter uji simulasi dan analisa adalah pengaruh cyclic prefix, roll of factor, modulasi digital, jumlah subcarrier IFFT, jumlah partisi AP-PTS, dan perbandingan pengaruh SNR terhadap BER antara SC-FDMA dan OFDMA.

Hasil simulasi dan analisa pni adalah metode AP-PTS dapat mereduksi nilai PAPR (dB) sistem SC-FDMA secara umum sebesar 3,377 dB pada nilai probabilitas CCDF 10⁻³, cyclic prefix 25%, roll of factor 0,25, modulasi 16 QAM, jumlah subcarrier IFFT 512, dan jumlah partisi AP-PTS 50. Dan jika ditinjau dari hasil keluaran nilai BER terhadap SNR 20 dB; parameter uji CP, ROF, modulasi digital, jumlah subcarrier IFFT dan jumlah partisi AP-PTS saling terkait. Dimana disaat nilai parameter semakin besar, maka konsekuensi nilai BER yang dihasilkan juga semakin buruk, baik itu pada SC-FDMA maupun OFDMA. Jika dilihat dari hasil uji dan analisa nilai BER belum memenuhi standar transmisi nilai BER sebesar 1×10⁻³. Sehingga metode AP-PTS belum layak untuk dijadikan sebagai sistem praktikal jaringan telekomunikasi.

Kata kunci : SC-FDMA, PAPR, AP-PTS

Abstract

SC-FDMA has complexity and performance that is almost equal to OFDMA but has a lower PAPR value performance than OFDMA, because SC-FDMA has an inherent single carrier structure. The PAPR value that occurs in SC-FDMA appears dependent on the subcarrier mapping that is used.

This simulation aims to simulate and analyze the AP-PTS method for the PAPR value reduction on the SC-FDMA uplink LTE system. The AP-PTS method is a PTS method by partitioning the modulation symbol and placed into the same size sub-block sequentially. The success parameter of the AP-PTS performance on this final task is reviewed from the simulation test output of the PAPR chart until the probability CCDF 10⁻³ BER value. While the tested and simulated parameters are the effect of cyclic prefix, roll of factor, digital modulation, the number of IFFT subcarrier, the number of AP-PTS partitions, and the SNR effect on BER of SC-FDMA and OFDMA.

The result of simulation and analysis is the AP-PTS method can reduce the value of the PAPR (dB) SC-FDMA system in general at 3.377 dB at the probability value of CCDF 10⁻³, cyclic prefix 25%, roll of factor 0,25, 16 QAM, 512 IFFT subcarrier, and 50 AP-PTS partitions. And if it is reviewed from the results of the output BER value against SNR 40 dB; the test parameters CP, ROF, digital modulation, number of IFFT subcarriers, and number of AP-PTS partitions are interrelated. Where the greater parameter value, make the consequence of BER value is getting worse, both in SC-FDMA and OFDMA. If seen from the test results and the BER value analysis the AP-PTS method isn't getting the BER transmission standard of 1×10⁻³ yet. So, the AP-PTS method isn't yet suitable to be used as a practical system for a telecommunication network.

Keywords: SC-FDMA, PAPR, AP-PTS

1. Pendahuluan

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) adalah metode untuk memodulasi data pada beberapa *subcarrier* untuk sistem komunikasi nirkabel. OFDM memiliki efisiensi spektral yang tinggi dan adaptasi yang mudah terhadap kondisi kanal komunikasi yang buruk tanpa penyamaan domain waktu yang rumit. Sistem komunikasi nirkabel yang menggunakan OFDM kuat terhadap *Inter-Symbol Interference* (ISI) dan *fading* yang disebabkan oleh *multi-path propagation* serta *narrow-band co-channel interference*. Selain itu, sistem OFDM juga efisien untuk implementasi hardware karena OFDM menggunakan *Fast Fourier Transform* (FFT) untuk proses yang lebih cepat dibandingkan *Discrete Fourier Transform* (DFT). Lebih lanjut, OFDM memiliki sensitivitas yang rendah terhadap kesalahan sinkronisasi waktu. Karena keunggulan yang berharga ini, OFDM telah diadopsi sebagai salah satu teknik modulasi paling populer untuk komunikasi nirkabel. OFDM telah digunakan dalam *Long Term Evolution* (LTE), dan standar ponsel LTE *Advanced Forth Generation* (4G). OFDM juga merupakan kandidat untuk standar *Fifth Generation* (5G) seluler [1].

Namun, OFDM juga memiliki beberapa kelemahan. Nilai *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) sinyal OFDM yang tinggi adalah salah satu masalah paling serius dalam sistem OFDM. Karena properti *non-linear High-Power Amplifier* (HPA), output HPA dari sinyal OFDM dengan PAPR tinggi menyebabkan distorsi in-band dan out-of-band, yang mengakibatkan penurunan kualitas komunikasi seperti Bit Error Rate (BER).

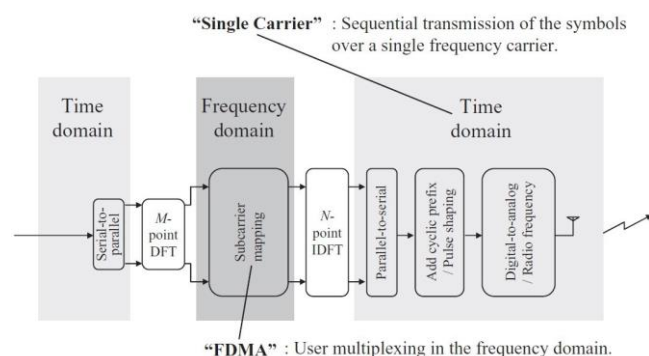
Third Generation Partnership Project (3GPP) mengadopsi teknik *Single Carrier Frequency Division Multiplexing Access* (SC-FDMA) untuk dijadikan standar transmisi *uplink* pada sistem seluler LTE. Meskipun memiliki keunggulan nilai PAPR lebih rendah dibandingkan *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) yang digunakan untuk transmisi *downlink* LTE, faktor peromansi PAPR yang lebih rendah pada SC-FDMA masih bisa ditingkatkan.

Banyak metode reduksi PAPR yang diteliti saat ini, termasuk metode *Partial Transmit Sequence* (PTS). PTS merupakan salah satu metode menjajikan dan efektif untuk mereduksi PAPR, dengan konsep dasar *Inverse FFT* (IFFT), dimana *frequency domain* dari data *sequence* dibagi menjadi beberapa *disjoint subblocks*, kemudian *subblocks* dikalikan dengan *phase sequence* untuk menghasilkan beberapa kandidat yang nanti nya memiliki PAPR paling rendah akan dipilih untuk di transmisikan [2]. Salah satu skema PTS adalah *Adjacent Partitioning-PTS* (AP-PTS), memiliki kompleksitas komputansi lebih rendah dan memiliki performa yang mendekati sempurna dibandingkan skema PTS lainnya (*Pseudorandom-PTS* dan *Interleaved Partitioning-PTS* [3]).

2. Dasar Teori

2.1. Single Carrier-Frequency Division Multiple Access

Pada skema *multiple access* LTE, *Single Carrier-Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) dijadikan standar dalam sistem transmisi *uplink* LTE oleh 3GPP. SC-FDMA merupakan teknologi *multiple access orthogonal* yang menggunakan modulasi *single-carrier* pada sisi pemancar dan *Frequency Domain Equalization* (FDE) di sisi penerima. Pada dasarnya SC-FDMA memiliki peromansi dan kompleksitas yang menyerupai OFDMA namun dengan adanya penambahan operasi *Discrete Fourier Transform* (DFT), sering juga disebut *DFT-spread OFDMA*, yaitu dimana domain waktu ditransformasikan ke domain frekuensi. *Power amplifier* pada SC-FDMA lebih sederhana dan efisien jika dilihat dari sisi *mobile terminal* dibandingkan OFDMA, dikarenakan SC-FDMA memiliki nilai PAPR yang lebih rendah dibandingkan OFDMA dan OFDM [1].

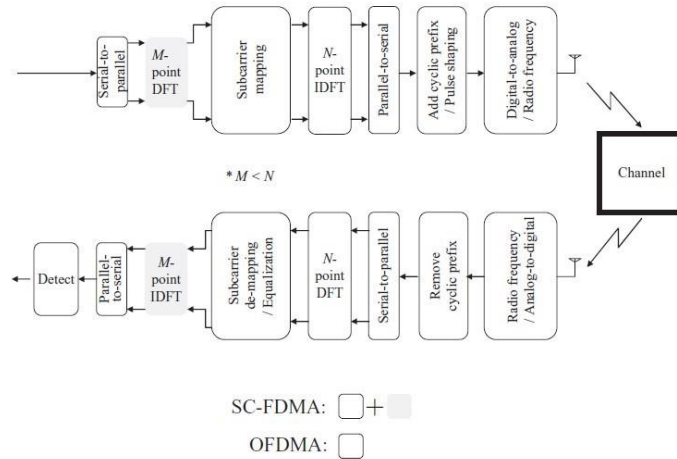


Gambar 2.1 Konsep Dasar Single Carrier FDMA [1]

Pengiriman simbol data pada SC-FDMA ditransmisikan secara berurutan melalui *single carrier*, ini bertentangan dengan OFDM/OFDMA yang menggunakan *multiple carrier* untuk mentransmisikan data. Lalu pada *frequency domain* SC-FDMA terdapat proses *orthogonally multiplexed* dan *de-multiplexed* pada pengguna. Sehingga disebut SC-FDMA, karena masih memiliki aspek FDMA didalam proses pentransmisian simbol [1].

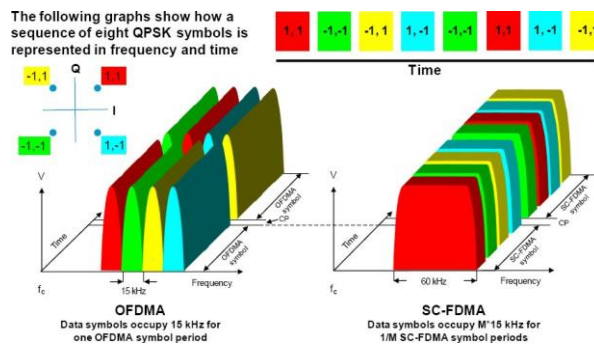
2.1.1. Perbedaan Dasar SC-FDMA dan OFDMA

Perbedaan mendasar pada proses pentransmision SC-FDMA dibandingkan OFDMA adalah adanya penambahan proses DFT pada sisi *transmitter* dan IDFT pada sisi *receiver* SC-FDMA. M-Point DFT pada *transmitter* mentransformasikan sinyal yang diterima menjadi domain frekuensi simbol M, guna memodulasikan M dari N *orthogonal subcarrier* yang menyebar melebihi *bandwidth*, sehingga bertujuan juga untuk memulihkan N *subcarrier*. Oleh karena nya disebut DFT-spread OFDMA dikarenakan pada *transmitter* SC-FDMA terdapat perluasan *bandwidth* sinyal guna menutupi *bandwidth* kanal.



Gambar 2.2 Struktur transmitter dan receiver pada SC-FDMA [1]

Pada Gambar 2.3 terlihat perbedaan spektrum OFDMA dan SC-FDMA, dimana pentransmision data pada OFDMA dilakukan secara *paralel* dengan *bandwidth* yang kecil dan membutuhkan waktu yang lama, sedangkan pada SC-FDMA dilakukan secara seri menggunakan beberapa *subcarrier* berdasarkan waktu dengan kualitas *bit-rate* yang cepat dan *bandwidth* yang lebar, sehingga pada SC-FDMA memiliki konsumsi daya kecil pada uplink LTE.



Gambar 2.3 Perbedaan spektrum OFDMA dengan SC-FDMA pada modulasi QPSK [5]

2.1.2. Cyclic Prefix

Cyclic Prefix (CP) merupakan sisipan satu set simbol yang memberikan *guard time* untuk mencegah *Inter-block Interference* (IBI) disebabkan adanya *multipath propagation*.

2.1.3. Pulse Shaping

Pada sisi pemancar juga dilakukan *linear filtering operation* (*pulse shaping*), salah satu metode *pulse-shaping filter* yang umum digunakan adalah *raised cosine filter* (RC) dan *root-raised cosine filter* (RRC). *Pulse Shaping* memiliki dua tujuan utama yaitu mengurangi *inter symbol interference* (ISI) dan *channel bandwidth-limiting*. Untuk menghilangkan ISI, filter yang digunakan harus memenuhi kriteria Nyquist, dengan respon impulse domain waktu [4].

2.2. Peak-to-Average Power Ratio

Peak-to-Average Power Ratio (PAPR) merupakan suatu parameter perfomansi yang mengindikasikan efisiensi daya dari *transmitter*. Efisiensi daya yang tinggi dari *transmitter* diakibatkan oleh nilai PAPR yang rendah, dan sebaliknya [5]. PAPR terjadi akibat modulasi dari masing-masing subcarrier yang dilakukan dengan frekuensi berbeda-beda, sehingga menyebabkan beberapa subcarrier mempunyai fasa koheren yang pada akhirnya akan muncul amplitudo dengan level jauh lebih besar dari daya sinyalnya. Pada dasarnya PAPR merupakan perbandingan antara daya puncak dengan daya rata-rata sinyal, didefinisikan dengan rumus sebagai berikut, dimana x_t adalah masukan sinyal yang akan ditransmisikan dalam domain waktu [1]:

$$PAPR = \frac{\text{peak power of } x(t)}{\text{average power of } x(t)} = \frac{\max_{0 \leq t \leq NT} |x(t)|^2}{\frac{1}{NT} \int_0^{NT} |x(t)|^2 dt} \quad (2.1)$$

Struktur *Single Carrier* yang inheren pada SC-FDMA, menjadikan nilai PAPR yang lebih rendah dibandingkan OFDMA dan OFDM. Meskipun begitu, dikarenakan pemodulasian sinyal SC-FDMA dilakukan secara berbeda-beda, tergantung dari tiap skema *subcarrier mapping* [1], sehingga didapatkan karakter PAPR yang berbeda juga dari masing-masing skema subcarrier mapping. SC-FDMA memiliki tiga subcarrier mapping, IFDMA, DFDMA, dan LFDMA. Pada *subcarrier mapping* LFDMA dan DFDMA memiliki jumlah simbol input dan *time samples* yang lebih kompleks, mengakibatkan nilai PAPR pada LFDMA dan DFDMA lebih tinggi daripada IFDMA, namun masih lebih rendah dibandingkan OFDMA.

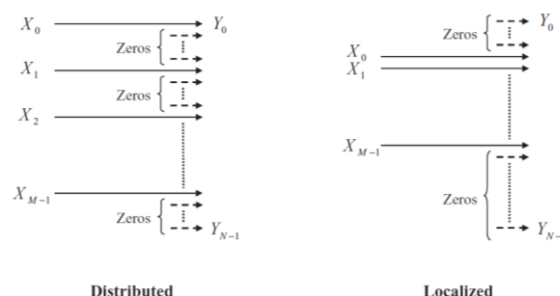
Untuk mengekstraksi informasi yang dibutuhkan dari hasil keluaran sinyal, diperlukan deskripsi yang statis untuk menunjukkan *power level* dari sinyal untuk memudahkan analisa. *Complementary Cumulative Distribution Function* (CCDF) merupakan kurva yang menunjukkan berapa banyak waktu yang dihabiskan sinyal atas *power level* yang diberikan, sehingga dinyatakan dalam dB [6]. Asal mula kurva CCDF yaitu merupakan hasil inversi dari kurva CDF, yang merupakan hasil integral dari kurva PDF. Sehingga diekspresikan secara matematis CCDF dari PAPR pada N subcarrier dengan *Nyquist rate sampling* [1]:

$$\Pr\{PAPR \geq w\} = 1 - CDF = 1 - (1 - e^{-w})^N \quad (2.2)$$

Dengan menggunakan simulasi Monte Carlo, maka kalkulasi CCDF dari PAPR memiliki probabilitas PAPR lebih tinggi dibanding dengan $PAPR_0$, ($\Pr\{PAPR > PAPR_0\}$) [1].

2.3. Subcarrier Mapping

Secara garis besar subcarrier mapping pada system SC-FDMA ada dua jenis, *Localized-FDMA* (LFDMA) dan *Distributed-FDMA* (DFDMA). Pada LFDMA modulasi simbol output dari DFT dipetakan serta dipindahkan ke M - subcarrier secara berdekatan dan berurutan. Sedangkan pada DFDMA output simbol-simbol dari DFT ditempatkan ke subcarrier dengan adanya jarak yang sama terhadap seluruh kanal bandwidth, mengakibatkan nilai nol (*zero amplitudes*) pada subcarrier yang berdekatan [1]. Pada kedua nya (LFDMA dan DFDMA), IDFT pada pemancar memberikan nilai amplitudo = 0, pada $N - M$ yang kosong.



Gambar 2.4 Struktur Localized-FDMA dan Distributed-FDMA [1]

Terdapat kasus khusus pada DFDMA yang dinamakan *Interleaved-FDMA* (IFDMA), dimana simbol output dipetakan secara merata dengan jarak rasio menggunakan *bandwidth spreading factor* (perbandingan antara jumlah subcarrier dengan simbol) pada bandwidth keseluruhan. IFDMA sangat efisien karena *transmitter* dapat memodulasi sinyal dalam domain waktu tanpa penggunaan IDFT dan DFT.

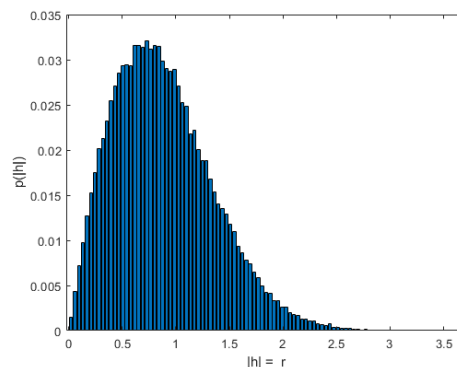
2.4. Kanal

2.4.1. Kanal Single Path Rayleigh Flat-Fading

Pada kanal transmisi *mobile communication*, distribusi Rayleigh digunakan untuk mendiskripsikan perubahan waktu dari selubung terima sinyal yang mengalami flat fading atau selubung dari salah satu komponen multipath. Distribusi Rayleigh terbentuk oleh selubung dari jumlah antara dua sinyal gaussian, atau terjadi jika adanya banyak path dan fasa *multipath* yang terdistribusi secara seragam. Berikut fungsi *probability density function* (PDF) dari distribusi Rayleigh [4]:

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & , (0 \leq r \leq \infty) \\ 0 & , (r < 0) \end{cases} \quad (2.3)$$

Dimana σ adalah nilai rms dari level sinyal yang diterima sebelum detektor, dan σ^2 adalah daya waktu rata-rata sinyal yang diterima sebelum detektor.



Gambar 2.5 Hasil pdf dari kanal Single Path Rayleigh Flat Fading

2.4.2. Kanal Additive White Gaussian Noise (AWGN)

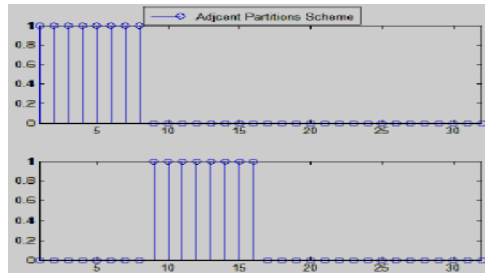
Derau merupakan sinyal random yang muncul dari dalam maupun luar sistem, dan bisa juga terdapat pada perangkat *transmitter* serta *receiver*. Gangguan ini bersifat *additive* terhadap sinyal transmisi. *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) adalah model matematis dari derau yang biasa digunakan. AWGN memiliki kerapatan spektral yang rata untuk semua daerah frekuensi serta memiliki karakteristik statistik distribusi Gaussian. Fungsi PDF pada distribusi derau AWGN sebagai berikut [4]:

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.4)$$

Dimana $p(x)$ adalah probabilitas kemunculan derau, σ merupakan standar deviasi, m merupakan nilai rata-rata, dan x merupakan variabel (tegangan atau daya sinyal yang muncul).

2.5. Adjacent Partitioning - Partial Transmit Sequence

Adjacent Partitioning-PTS merupakan salah satu metode PTS, selain *Interleaved Partitioning-PTS* (IP-PTS), dan *Pseudorandom Partitioning-PTS* (PP-PTS). Garis besar skema dari *Adjacent Partitioning-PTS* (AP-PTS) yaitu partisi terhadap simbol modulasi dan ditempatkan ke dalam *sub-block* dengan ukuran yang sama serta secara berurutan. Kemudian IFFT mengkomputasi tiap *sub-block*, dan hasil dari IFFT tiap *sub-block* dilakukan rotasi fasa dengan kombinasi faktor rotasi sebagaimana mungkin untuk mendapatkan nilai PAPR paling rendah.



Gambar 2.6 Konsep Adjacent Partitioning PTS [9]

Dimana persamaan matematis AP-PTS sebagai berikut[10]:

$$X = [X_0, X_1, X_2 \dots\dots\dots X_{m-1}] \tag{2.5}$$

Sebelum mencari IFFT ‘X₀’ dibuat sama panjangnya dengan X, begitu juga X₁ hingga X_{m-1} dibuat sama panjangnya satu dengan lain dan diberikan padding zeros diantaranya, sehingga:

$$\begin{aligned} X_0 &= \text{IFFT} (x_0, 0000 \dots\dots\dots 00) \\ X_1 &= \text{IFFT} (00 \dots 0, x_1, 000\dots\dots 00) \\ X_{m-1} &= \text{IFFT} (0000\dots\dots 0, x_{m-1}) \end{aligned} \tag{2.6}$$

Perputaran fasa $x_i^{r_i}(n)$ dari domain sinyal waktu didapatkan melalui perkalian fasa, $\varphi(r_i) = e^{j\theta_i}$, dimana θ_i adalah sudut perputaran. Faktor perputaran fasa dirumuskan sebagai berikut [11]:

$$\begin{aligned} x_0^{(r_0)}(n) &= \varphi(r_0)x_0(n) \\ x_1^{(r_1)}(n) &= \varphi(r_1)x_1(n) \\ x_{m-1}^{(r_{m-1})}(n) &= \varphi(r_{m-1})x_{m-1}(n) \end{aligned} \tag{2.7}$$

Sehingga skema sinyal yang di transmisikan dapat di representasikan sebagai berikut [11]:

$$\tilde{x}(n) = \sum_{i=0}^{m-1} x_i^{(r_i)}(n) \tag{2.8}$$

2.6. Bit Error Rate (BER)

BER adalah ukuran perbandingan antara sinyal yang di transmisikan dengan sinyal yang diterima, dan perhitungan komputasional jumlah error dari total bit yang ditransmisikan [4]. BER merupakan ukuran kualitas transmisi digital. Secara matematis, BER merupakan rasio dari bit error dan jumlah total bit yang di transmisikan dalam interval waktu tertentu, berikut persamaannya:

$$BER = \frac{\text{bits error}}{\text{number of bits transmitted}} \tag{2.9}$$

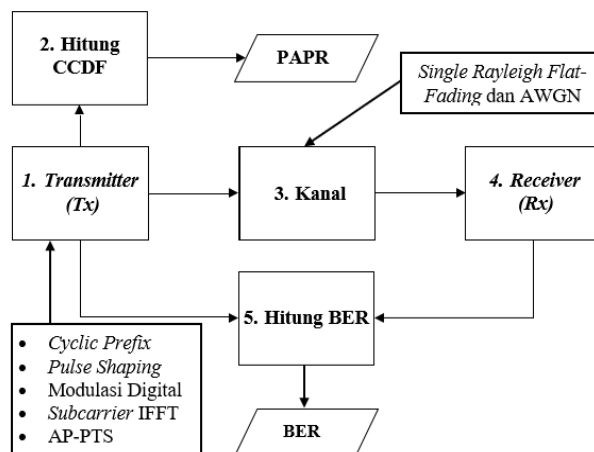
3. Pembahasan

3.1. Parameter Simulasi

Tabel 3.1 Parameter simulasi analisis

Jumlah subcarrier	512, 1024, dan 2048
Signal Mapper	QPSK, 16-QAM dan 64-QAM
Subcarrier Mapping	LFDMA
Cyclic Prefix	25%, 50%, 75%
Roll of Factor	0.25, 0.5, dan 1
Bandwidth Transmisi	10 MHz
Kanal	AWGN dan Rayleigh
Jumlah AP-PTS	50, 100, dan 200

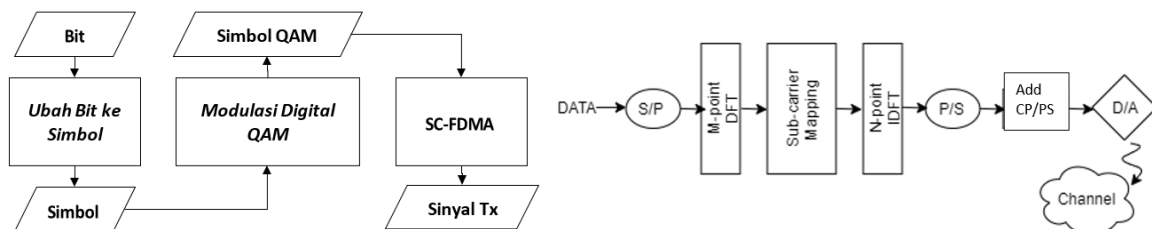
3.2. Model Sistem SC-FDMA



Gambar 3.1 Model sistem secara umum

Proses pertama adalah *Transmitter* (Tx). Percobaan ini menggunakan sistem SC-FDMA yang lebih lanjut dijelaskan pada subbab 3.3. Secara umum bit dari tiap *user* dilakukan proses DFT tiap *user*, proses modulasi digital, *subcarrier mapping* sesuai aturan SC-FDMA, proses IFFT, dan penambahan *cyclic prefix* (CP) serta *pulse shaping* (PS). Parameter objektif yang diteliti pada simulasi ini salah satunya adalah *Peak-to-Average Power Ratio* (PAPR) yang didapat dengan menghitung nilai *Complementary Cumulative Distribution Function* (CCDF). Setelah blok Tx, selanjutnya sinyal SC-FDMA yang telah dihitung PAPR dilewatkan kanal Rayleigh dan AWGN. Setelah melalui kanal, sistem SC-FDMA disisi *Receiver* (Rx) melakukan proses pengembalian data bit dari tiap *user* pada sisi Tx. Setelah mendapatkan data bit dari hasil Rx, perhitungan BER dilakukan dengan membandingkan data bit di Tx dan Rx.

3.2.1. Transmitter (Tx) SC-FDMA

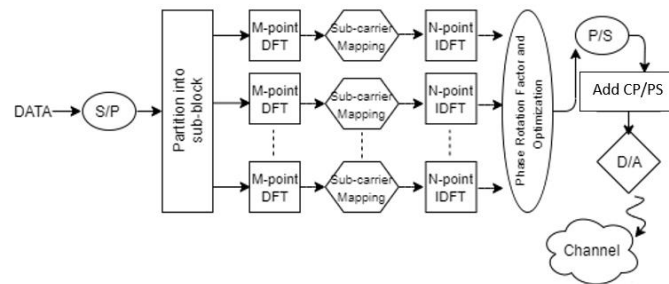


Gambar 3.2 Model Sistem Transmitter (Tx) SC-FDMA

Sistem Tx pada TA ini dijelaskan pada Gambar 3.2. Proses dimulai dengan bit, selanjutnya bit diubah menjadi simbol sesuai dengan modulasi digital QAM. Simbol hasil proses sebelumnya selanjutnya diubah menjadi simbol QAM pada proses modulasi digital QAM, dengan parameter modulasi: QPSK, 16 QAM dan 64 QAM. Proses selanjutnya adalah proses SC-FDMA yang menghasilkan sinyal Tx.

Penjelasan dari suatu sistem *transmitter* (Tx) SC-FDMA konvensional adalah sebagai berikut. Langkah awal adalah pengubahan sinyal bit informasi hasil dari generator sinyal ke dalam bentuk parallel melalui serial to parallel converter. Kemudian pada *M-point* (simbol per blok) dilakukan *Discrete Fourier Transform*. Lalu dilakukan pemetaan *sub-carrier*, dalam tugas akhir ini menggunakan *sub-carrier* LFDMA. Lalu pada *N-point* (*sub-carrier spread* dalam *bandwidth*) dilakukan *Inverse Discrete Fourier Transform*. Langkah kelima pengubahan kembali bentuk informasi ke bentuk seri dengan *parallel-to-serial-converter* kemudian dilakukan penambahan *cyclic prefix* dengan parameter simulasi 25%, 50%, dan 75% serta *pulse shaping* dengan parameter simulasi nilai *roll of factor*: 0,25; 0,5 dan 1. Hasil keluaran sinyal digital diubah ke sinyal analog dengan *digital-to-analog-converter* untuk kemudian ditransmisikan ke kanal transmisi, keluaran simbol pada bagian transmisi akan didapatkan nilai PAPR yang nantinya akan dibandingkan dengan pengaruh PAPR setelah melalui kanal transmisi pada bagian penerima.

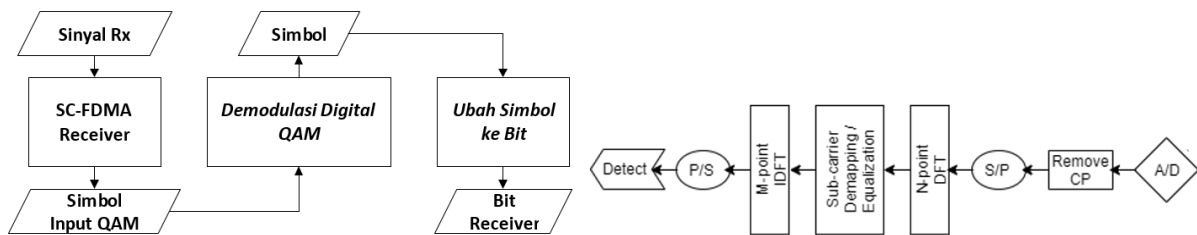
3.2.2. Transmitter (Tx) SC-FDMA dengan Metode AP-PTS



Gambar 3.3 Model Sistem Transmitter (Tx) SC-FDMA dengan metode reduksi AP-PTS

Pada pemodelan sistem transmitter (Tx) SC-FDMA dengan metode reduksi PAPR *Adjacent Partitioning-PTS*, pada dasarnya hampir sama dengan penjelasan sistem transmitter (Tx) SC-FDMA konvensional sebelumnya, namun ada perbedaan pada pengolahan sinyal di bagian transmitter. Dimana setelah pengubahan simbol seri ke paralel, adanya langkah pembagian sinyal ke dalam beberapa blok atau sub-block (*partition into sub-block*), kemudian dikalikan dengan *weighting value* yang dibedakan oleh faktor rotasi fase sehingga memiliki nilai optimasi PAPR paling rendah. Dengan parameter simulasi jumlah partisi AP-PTS yang digunakan pada Tugas Akhir ini: 50, 100, dan 200 partisi.

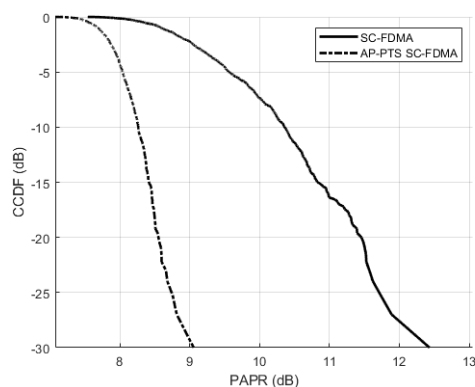
3.2.3. Receiver (Rx) SC-FDMA



Gambar 3.4 Model Sistem Receiver (Rx) SC-FDMA

Model sistem pada receiver SC-FDMA konvensional dan SC-FDMA menggunakan AP-PTS secara umum sama, dimana sinyal yang diterima ditransformasi ke domain frekuensi menggunakan DFT, dipetakan kembali, dan dilakukan persaman domain frekuensi. Karena SC-FDMA menggunakan modulasi *single carrier*, maka terjadi *inter-symbol interference* (ISI) sehingga dibutuhkan *equalization* untuk mengatasi ISI [5]. Selanjutnya sinyal ditransformasi ke domain waktu menggunakan IDFT. Deteksi dan *decoding* dilakukan dalam domain waktu DFT pada transmitter SC-FDMA memiliki 2 fungsi yaitu mengubah sinyal dalam domain waktu menjadi domain frekuensi dan berfungsi untuk membuat frekuensi multiplexing atau *multiple access* walaupun menggunakan transmisi *single carrier*. Setiap user dimultiplexing dengan frekuensi yang berbeda-beda. Sedangkan perhitungan BER dapat dilakukan setelah sinyal keluaran melalui *parallel-to-serial-converter* pada penerima. Selanjutnya untuk hasil keluaran nilai PAPR dan BER akan dianalisa.

3.3. Pengujian Simulasi Reduksi PAPR

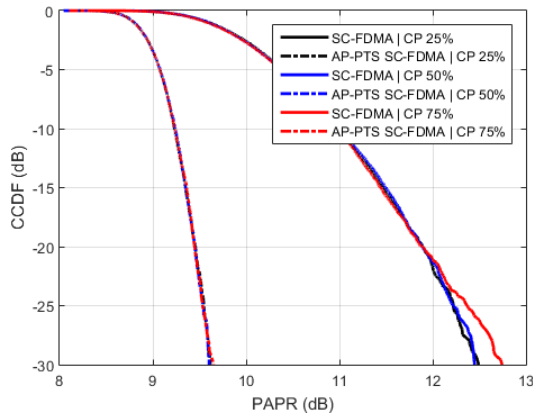


CCDF (dB)	PAPR (dB)	
	Without AP-PTS	With AP-PTS
-5	9,571	8,039
-10	10,36	8,263
-15	10,85	8,415
-20	11,46	8,552
-25	11,71	8,751
-30	12,43	9,053

Gambar 3.5 Hasil pengujian AP-PTS pada SC-FDMA secara umum

Pada pengujian ini, menggunakan *cyclic prefix* 25%, *roll of factor* 0,25, modulasi digital yang digunakan adalah 16 QAM, jumlah subcarrier IFFT 512, dan jumlah partisi pada AP-PTS 50. Hasil pengujian adalah grafik CCDF antara SC-FDMA tanpa reduksi PAPR AP-PTS dan SC-FDMA dengan AP-PTS. Hasil pengujian dilaporkan pada Gambar 3.5 menunjukkan nilai PAPR (dB) AP-PTS dapat mereduksi sistem SC-FDMA secara umum sebesar 3,377 dB pada nilai CCDF 10^{-3} . Selisih nilai 3,377 dB didapat dengan melakukan perhitungan PAPR (dB) untuk kedua sistem pada nilai probabilitas CCDF yang sama, dimana nilai PAPR untuk AP-PTS sebesar 9,053 dB dan nilai tanpa APPTS sebesar 12,43 dB.

3.3.1. Reduksi PAPR Parameter Uji Cyclic Prefix

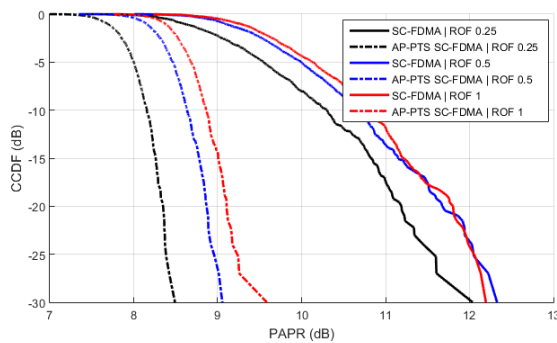


CCDF (dB)	PAPR (dB)					
	SC-FDMA			AP-PTS SC-FDMA		
	25%	50%	75%	25%	50%	75%
-5	10,393	10,378	10,377	9,075	9,078	9,076
-10	10,99	11	10,98	9,231	9,239	9,236
-15	11,465	11,495	11,445	9,35	9,352	9,363
-20	11,893	11,887	11,892	9,456	9,452	9,446
-25	12,22	12,23	12,38	9,547	9,536	9,534
-30	12,49	12,45	12,74	9,616	9,604	9,651

Gambar 3.6 Hasil pengujian AP-PTS terhadap pengaruh *cyclic prefix*

Pada pengujian ini, menggunakan *roll of factor* 0,25, modulasi digital yang digunakan adalah 64 QAM, jumlah subcarrier IFFT sebesar 2048, dan jumlah partisi pada AP-PTS 50. Hasil pengujian adalah grafik CCDF untuk *cyclic prefix* sebesar 25%; 50%; dan 75%. Hasil pengujian dilaporkan pada Gambar 3.6 menunjukkan bahwa tidak ada keterkaitan antara besaran nilai PAPR dan nilai CP, hasil nilai PAPR yang dihasilkan tidak berurutan, tergantung pada nilai probabilitas CCDF mana yang di analisa. Meskipun menghasilkan nilai PAPR yang terkesan tidak berurutan, dapat terlihat jelas dari grafik yang dihasilkan Gambar 3.6, metode AP-PTS dapat mereduksi nilai PAPR pada sistem SC-FDMA secara signifikan. Seperti pada nilai probabilitas CCDF 10^{-3} , reduksi nilai PAPR yang paling besar terjadi pada CP 75% sebesar 3,089 dB.

3.3.2. Reduksi PAPR Parameter Uji Roll of Factor

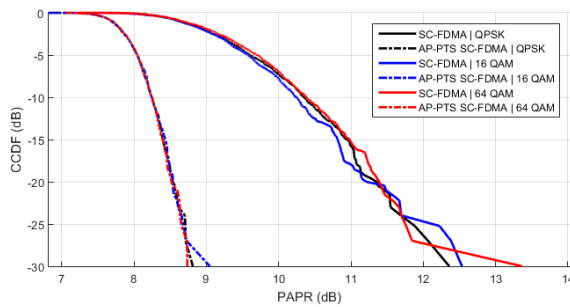


CCDF (dB)	PAPR (dB)					
	SC-FDMA			AP-PTS SC-FDMA		
	0,25	0,5	1	0,25	0,5	1
-5	9,547	9,997	10,14	8,002	8,469	8,648
-10	10,3	10,63	10,8	8,156	8,636	8,861
-15	10,82	11,15	11,2	8,262	8,778	9,006
-20	11,19	11,68	11,8	8,35	8,87	9,107
-25	11,6	12,05	12,07	8,387	8,963	9,245
-30	12,04	12,2	12,33	8,492	9,055	9,585

Gambar 3.7 Hasil PAPR pengujian AP-PTS terhadap pengaruh *roll of factor*

Pada pengujian ini, menggunakan *cyclic prefix* 25%, modulasi digital yang digunakan adalah 64 QAM, jumlah subcarrier IFFT sebesar 2048, dan jumlah partisi pada AP-PTS 50. Hasil pengujian adalah grafik CCDF untuk *roll of factor* sebesar 0,25; 0,5; dan 1. Hasil pengujian dilaporkan pada Gambar 3.7 menunjukkan pengaruh nilai *roll of factor* yang semakin besar menyebabkan nilai PAPR juga semakin besar, baik untuk sistem SC-FDMA tanpa menggunakan reduksi AP-PTS maupun dengan menggunakan AP-PTS. Terlihat dari grafik Gambar 3.7 metode AP-PTS mampu mereduksi PAPR secara signifikan. Pada nilai probabilitas CCDF 10^{-3} , reduksi nilai PAPR yang paling besar terjadi pada *roll of factor* 0,25 sebesar 3,548 dB.

3.3.3. Reduksi PAPR Parameter Uji Modulasi Digital

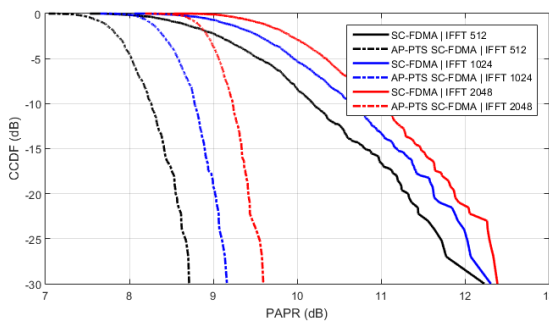


CCDF (dB)	PAPR (dB)					
	SC-FDMA			AP-PTS SC-FDMA		
	QPSK	16 QAM	64 QAM	QPSK	16 QAM	64 QAM
-5	9,605	9,573	9,706	8,042	8,041	8,044
-10	10,35	10,25	10,38	8,248	8,244	8,246
-15	10,96	10,82	10,98	8,404	8,433	8,396
-20	11,35	11,21	11,39	8,532	8,535	8,516
-25	11,87	12,21	11,75	8,711	8,685	8,656
-30	12,36	12,54	13,37	8,813	9,048	8,737

Gambar 3.8 Hasil PAPR pengujian AP-PTS terhadap pengaruh modulasi digital

Pada pengujian ini, menggunakan *cyclic prefix* 25%, *roll of factor* 0,25; jumlah subcarrier IFFT 512, dan jumlah partisi pada AP-PTS 50. Hasil pengujian adalah grafik CCDF untuk modulasi digital QPSK, 16 QAM, dan 64 QAM. Hasil pengujian dilaporkan pada Gambar 3.8 terlihat bahwa tidak ada keterkaitan antara besaran nilai PAPR dan pengaruh nilai modulasi digital, untuk sistem SC-FDMA tanpa menggunakan reduksi AP-PTS maupun menggunakan metode AP-PTS, hasil nilai PAPR yang dihasilkan tidak berurutan terkesan *random*, tergantung pada nilai probabilitas CCDF mana yang di analisa. Tetapi terlihat dari grafik Gambar 3.6 bahwa metode AP-PTS dapat mereduksi nilai PAPR secara signifikan. Pada nilai probabilitas CCDF 10^{-3} , reduksi nilai PAPR yang paling besar terjadi pada modulasi 64 QAM sebesar 4,633 dB.

3.3.4. Reduksi PAPR Parameter Uji Jumlah Subcarrier IFFT

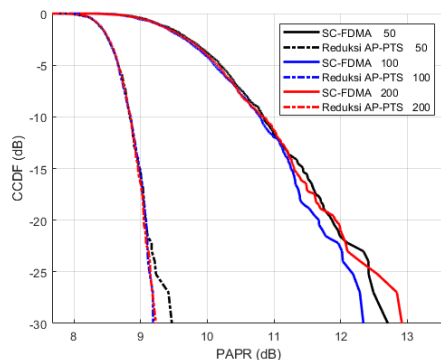


CCDF (dB)	PAPR (dB)					
	SC-FDMA			AP-PTS SC-FDMA		
	512	1024	2048	512	1024	2048
-5	9,547	9,957	10,35	8,027	8,584	9,065
-10	10,19	10,68	10,99	8,262	8,778	9,232
-15	10,8	11,18	11,47	8,414	8,897	9,338
-20	11,32	11,63	11,88	8,551	9,022	9,418
-25	11,72	12,03	12,3	8,676	9,107	9,556
-30	12,23	12,31	12,39	8,712	9,163	9,597

Gambar 3.9 Hasil PAPR pengujian AP-PTS terhadap pengaruh jumlah subcarriers IFFT

Pada pengujian ini, menggunakan *cyclic prefix* 25%, *roll of factor* 0,25; modulasi digital yang digunakan adalah 64 QAM, dan jumlah partisi pada AP-PTS 50. Hasil pengujian adalah grafik CCDF untuk jumlah *subcarrier* IFFT sebesar 512, 1024, dan 2048. Hasil pengujian dilaporkan pada Gambar 3.9 menunjukkan pengaruh jumlah *subcarrier* IFFT yang semakin besar menyebabkan nilai PAPR juga semakin besar hingga nilai probabilitas CCDF 10^{-3} , pada sistem SC-FDMA tanpa metode reduksi AP-PTS maupun dengan metode reduksi AP-PTS. Dari grafik yang dihasilkan Gambar 3.9 metode AP-PTS dapat mengurangi nilai PAPR pada sistem SC-FDMA secara signifikan. Pada nilai probabilitas CCDF 10^{-3} , reduksi nilai PAPR yang paling besar terjadi pada jumlah *subcarrier* IFFT 512 sebesar 3,518 dB.

3.3.5. Reduksi PAPR Parameter Uji Jumlah Partisi AP-PTS



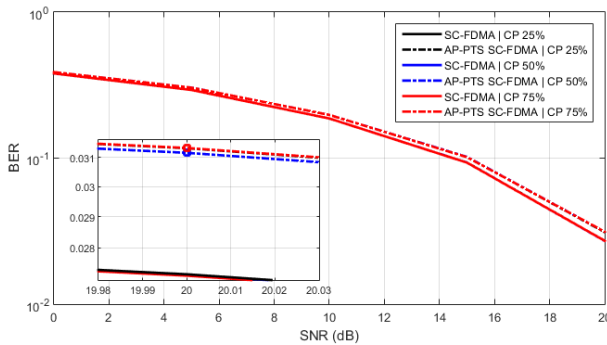
CCDF (dB)	PAPR (dB)					
	SC-FDMA			AP-PTS SC-FDMA		
	50	100	200	50	100	200
-5	10,2	10,11	10,16	8,666	8,664	8,67
-10	10,84	10,79	10,83	8,837	8,855	8,849
-15	11,43	11,25	11,3	8,986	8,983	8,964
-20	11,87	11,68	11,92	9,083	9,081	9,049
-25	12,42	12,19	12,55	9,23	9,139	9,147
-30	12,71	12,34	12,92	9,47	9,188	9,231

Gambar 3.10 Hasil PAPR pengujian AP-PTS terhadap pengaruh jumlah partisi AP-PTS

Pada pengujian ini, menggunakan *cyclic prefix* 25%, *roll of factor* 0,25; modulasi digital yang digunakan adalah 64 QAM, jumlah subcarrier IFFT sebesar 2048. Hasil pengujian adalah grafik CCDF untuk jumlah partisi AP-PTS sebesar 50, 100, dan 200. Hasil pengujian dilaporkan pada Gambar 3.10 terlihat bahwa tidak ada keterkaitan antara besaran nilai PAPR dan jumlah partisi AP-PTS, untuk sistem SC-FDMA menggunakan metode AP-PTS hasil nilai PAPR yang dihasilkan pada probabilitas CCDF 10^{-3} tidak berurutan terkesan *random*, tergantung pada nilai probabilitas CCDF mana yang di analisa. Disaat nilai probabilitas CCDF 10^{-3} didapati dari Tabel 3.10 metode AP-PTS memiliki nilai PAPR paling rendah sebesar 9,188 dB, dengan parameter uji jumlah partisi AP-PTS 100.

3.4. Pengujian Simulasi BER

3.4.1. Simulasi Uji BER dengan Parameter Cyclic Prefix



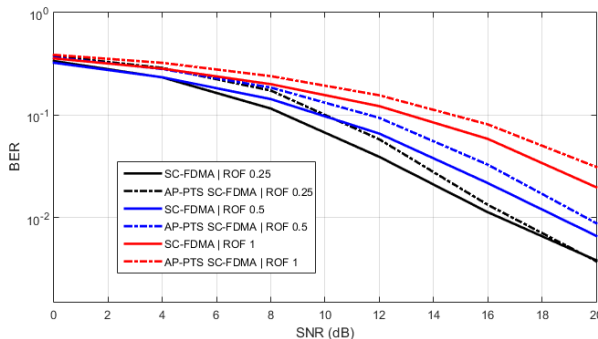
SC-FDMA			
SNR	Cyclic Prefix		
	25%	50%	75%
20 dB	$2,72 \times 10^{-2}$	$2,71 \times 10^{-2}$	$2,72 \times 10^{-2}$

SC-FDMA with AP-PTS			
SNR	Cyclic Prefix		
	25%	50%	75%
20 dB	$3,12 \times 10^{-2}$	$3,13 \times 10^{-2}$	$3,13 \times 10^{-2}$

Gambar 3.11 Hasil uji BER dengan parameter *cyclic prefix*

Hasil Gambar 3.11 menunjukkan bahwa nilai BER pada metode AP-PTS SC-FDMA dengan parameter uji *cyclic prefix* menunjukkan nilai yang cenderung seragam pada SNR 20 dB. Hasil yang diperoleh dengan metode AP-PTS didapati nilai BER yang lebih buruk, dengan rata-rata penambahan nilai BER $4,1 \times 10^{-3}$. Metode AP-PTS memiliki nilai BER terendah yaitu $3,12 \times 10^{-2}$ pada *cyclic prefix* 25%.

3.4.2. Simulasi Uji BER dengan Parameter Roll of Factor



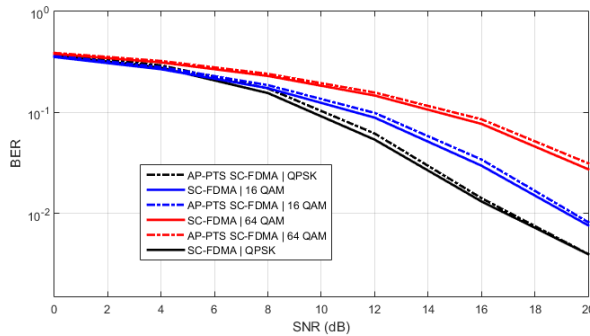
SC-FDMA			
SNR	Roll of Factor		
	0,25	0,5	1
20 dB	$3,81 \times 10^{-3}$	$6,61 \times 10^{-3}$	$1,97 \times 10^{-2}$

SC-FDMA with AP-PTS			
SNR	Roll of Factor		
	0,25	0,5	1
20 dB	$3,73 \times 10^{-3}$	$8,79 \times 10^{-3}$	$3,11 \times 10^{-2}$

Gambar 3.12 Hasil uji BER dengan parameter *roll of factor*

Hasil Gambar 3.12 menunjukkan bahwa nilai BER pada metode AP-PTS SC-FDMA dengan parameter uji nilai *roll of factor* memiliki nilai yang semakin besar seiring dengan besarnya nilai *roll of factor*. Secara garis besar diperoleh bahwa metode AP-PTS memperburuk nilai BER pada hasil uji simulasi. Namun pada nilai SNR 20 dB, disaat nilai *roll of factor* 0,25; metode AP-PTS menghasilkan nilai BER yang lebih baik 8×10^{-5} . Akan tetapi disaat nilai *roll of factor* 0,5 menghasilkan nilai BER yang lebih buruk dengan penambahan nilai $2,18 \times 10^{-3}$, dan pada nilai *roll of factor* 1 menghasilkan nilai BER yang lebih buruk juga dengan penambahan nilai $1,14 \times 10^{-2}$. Metode AP-PTS memiliki nilai BER terendah yaitu $3,73 \times 10^{-3}$ dengan *roll of factor* 0,25.

3.4.3. Simulasi Uji BER dengan Parameter Modulasi Digital



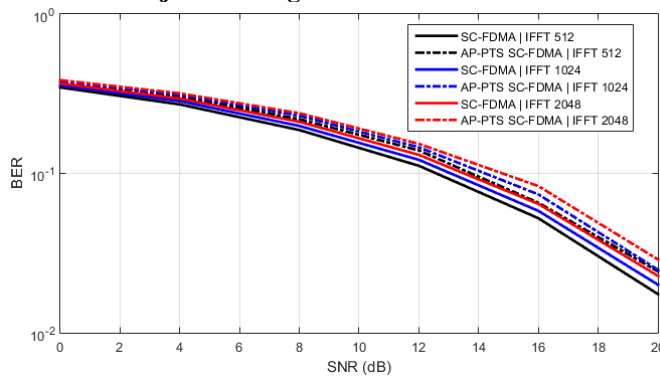
SC-FDMA			
SNR	Digital Modulation		
20 dB	QPSK	16 QAM	64 QAM
	$3,93 \times 10^{-3}$	$7,58 \times 10^{-3}$	$2,73 \times 10^{-2}$

SC-FDMA with AP-PTS			
SNR	Digital Modulation		
20 dB	QPSK	16 QAM	64 QAM
	$3,94 \times 10^{-3}$	$8,16 \times 10^{-3}$	$3,12 \times 10^{-2}$

Gambar 3.13 Hasil uji BER dengan parameter modulasi digital

Dari hasil Gambar 3.13 menunjukkan bahwa nilai BER pada metode AP-PTS SC-FDMA dengan parameter uji modulasi digital memiliki nilai yang semakin besar seiring dengan besarnya nilai modulasi. Secara garis besar diperoleh bahwa metode AP-PTS memperburuk nilai BER pada hasil uji simulasi. Pada nilai SNR 20 dB, nilai BER untuk metode AP-PTS modulasi 16 QAM bertambah buruk $5,8 \times 10^{-4}$, dan nilai BER pada modulasi 64 QAM dengan metode AP-PTS bertambah buruk $3,9 \times 10^{-3}$ dibandingkan tanpa metode AP-PTS. Metode AP-PTS dengan modulasi QPSK memiliki nilai BER paling rendah yaitu $3,94 \times 10^{-3}$, lebih buruk 1×10^{-5} dibandingkan tanpa metode AP-PTS.

3.4.4. Simulasi Uji BER dengan Parameter Jumlah Subcarrier IFFT



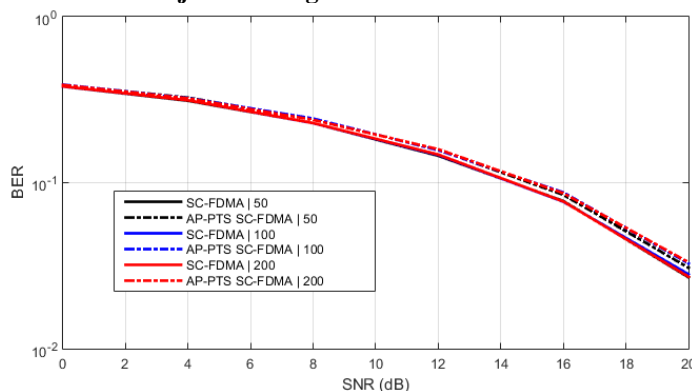
SC-FDMA			
SNR	IFFT Subcarriers		
20 dB	512	1024	2048
	$1,75 \times 10^{-2}$	2×10^{-2}	$2,28 \times 10^{-2}$

SC-FDMA with AP-PTS			
SNR	IFFT Subcarriers		
20 dB	512	1024	2048
	$2,43 \times 10^{-2}$	$2,49 \times 10^{-2}$	$2,88 \times 10^{-2}$

Gambar 3.14 Hasil uji BER dengan parameter jumlah subcarriers IFFT

Dari hasil Gambar 3.14 menunjukkan bahwa nilai BER pada metode AP-PTS SC-FDMA dengan metode uji jumlah sub-carrier IFFT memiliki nilai yang semakin besar seiring dengan besarnya jumlah sub-carrier IFFT. Secara garis besar diperoleh bahwa metode AP-PTS memperburuk nilai BER pada hasil uji simulasi. Pada nilai SNR 20 dB, nilai BER untuk metode AP-PTS jumlah sub-carrier IFFT 1024 bertambah buruk $4,9 \times 10^{-3}$, dan nilai BER pada jumlah sub-carrier IFFT 2048 dengan metode AP-PTS bertambah buruk 6×10^{-3} dibandingkan tanpa metode AP-PTS. Metode AP-PTS dengan jumlah sub-carrier IFFT 512 memiliki nilai BER paling rendah yaitu $2,43 \times 10^{-2}$, lebih buruk $6,8 \times 10^{-3}$ dibandingkan tanpa metode AP-PTS.

3.4.5. Simulasi Uji BER dengan Parameter Jumlah Partisi AP-PTS



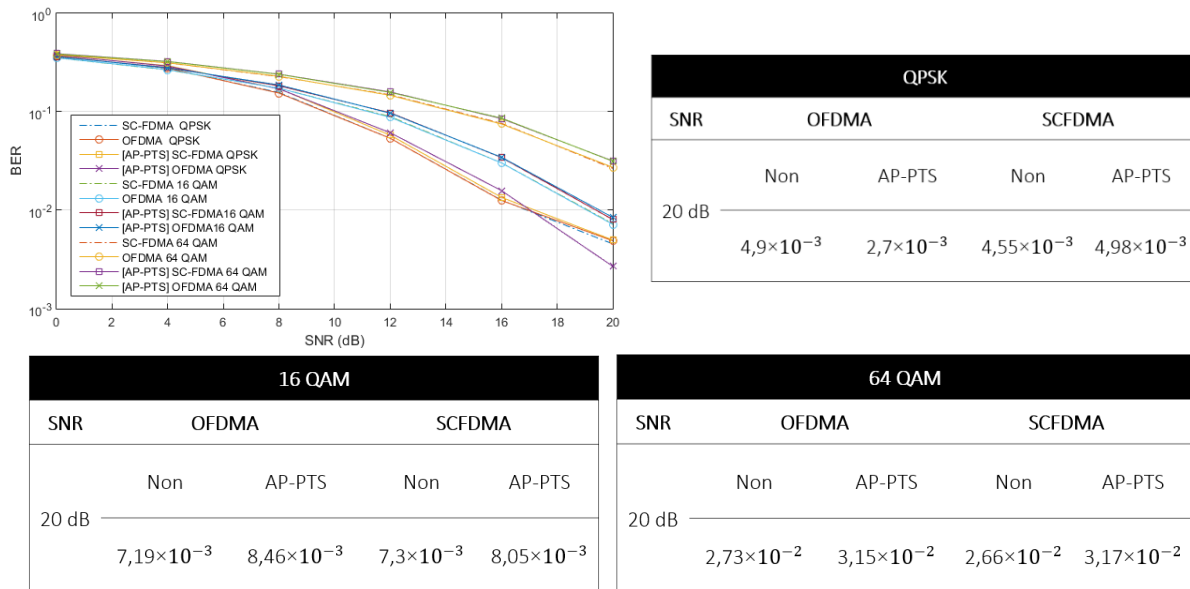
SC-FDMA			
SNR	AP-PTS Partition		
20 dB	50	100	200
	$2,69 \times 10^{-2}$	$2,81 \times 10^{-2}$	$2,72 \times 10^{-2}$

SC-FDMA with AP-PTS			
SNR	AP-PTS Partition		
20 dB	50	100	200
	$3,07 \times 10^{-2}$	$3,27 \times 10^{-2}$	$3,32 \times 10^{-2}$

Gambar 3.15 Hasil uji BER dengan parameter jumlah partisi AP-PTS

Dari hasil Tabel 3.15 menunjukkan bahwa nilai BER pada SC-FDMA dengan metode AP-PTS memiliki nilai yang semakin besar seiring dengan besarnya jumlah partisi AP-PTS. Secara garis besar diperoleh bahwa jumlah partisi AP-PTS yang lebih besar pada metode AP-PTS semakin memperburuk nilai BER pada hasil uji simulasi. Pada nilai SNR 20 dB, nilai BER untuk metode AP-PTS jumlah partisi AP-PTS 100 yaitu $3,27 \times 10^{-2}$, sedangkan untuk metode AP-PTS jumlah partisi AP-PTS 200 memiliki nilai BER sebesar $3,32 \times 10^{-2}$. Metode AP-PTS dengan jumlah partisi AP-PTS 50 memiliki nilai BER paling rendah yaitu $3,07 \times 10^{-2}$.

3.4.6. Perbandingan Simulasi Uji BER dengan Parameter Modulasi Digital antara SC-FDMA dan OFDMA



Gambar 3.16 Hasil uji BER pada OFDMA dan SC-FDMA

Maka dari beberapa hasil simulasi yang dilaporkan, pada nilai SNR 20 dB dapat disimpulkan bahwa metode AP-PTS dengan parameter modulasi digital menghasilkan nilai BER yang lebih buruk pada SC-FDMA, pada modulasi QPSK nilai BER bertambah buruk $4,3 \times 10^{-4}$, sedangkan pada modulasi 16 QAM nilai BER lebih buruk $7,5 \times 10^{-4}$, dan pada modulasi digital 64 QAM nilai BER juga lebih buruk $5,1 \times 10^{-3}$. Nilai BER yang paling rendah pada SC-FDMA dengan metode AP-PTS untuk SNR 20 dB adalah $4,98 \times 10^{-3}$ disaat parameter uji modulasi QPSK. Namun masih belum memenuhi standar transmisi nilai BER sebesar 1×10^{-3} . Sedangkan nilai BER untuk OFDMA dengan AP-PTS terlihat dari hasil analisa pada SNR 20 dB nilai BER lebih baik $2,2 \times 10^{-3}$ saat menggunakan modulasi QPSK, tetapi ketika menggunakan modulasi 16 QAM hasil BER bertambah lebih buruk $1,27 \times 10^{-3}$, hasil yang lebih buruk juga didapatkan ketika menggunakan modulasi 64 QAM dengan pertambahan nilai $4,2 \times 10^{-3}$. Nilai BER yang paling rendah pada OFDMA dengan metode AP-PTS untuk SNR 20 dB adalah $2,7 \times 10^{-3}$ disaat parameter uji modulasi QPSK.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian dan analisa yang dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan:

1. Dari simulasi dan analisa yang dilakukan, secara umum metode AP-PTS dapat mereduksi PAPR pada SC-FDMA secara signifikan pada nilai probabilitas CCDF 10^{-3} , cyclic prefix 25%, roll of factor 0,25, modulasi 16 QAM, jumlah subcarrier IFFT 512, dan jumlah partisi AP-PTS 50; sebesar 3,377 dB.
2. Dari grafik hasil PAPR beberapa parameter uji, parameter cyclic prefix; roll of factor; modulasi digital; dan jumlah partisi AP-PTS tidak berpengaruh terhadap hasil PAPR. Hanya parameter uji subcarrier IFFT yang memiliki pengaruh terhadap nilai PAPR.
3. Hasil keluaran nilai BER terhadap SNR 20 dB; parameter uji CP, ROF, modulasi digital, jumlah subcarrier IFFT dan jumlah partisi AP-PTS saling terkait. Dimana disaat nilai parameter semakin besar, maka konsekuensi nilai BER yang dihasilkan juga semakin buruk, baik itu pada SC-FDMA maupun OFDMA.
4. Dari hasil uji dan analisa nilai BER belum memenuhi standar transmisi nilai BER sebesar 1×10^{-3} . Sehingga metode AP-PTS belum layak untuk dijadikan sebagai sistem praktikal jaringan telekomunikasi

Daftar Pustaka:

- [1] H. G. Myung and D. J. Goodman, "Single Carrier FDMA: A New Air Interface for Long Term Evolution". 2008. John Wiley Sons.
- [2] G. Lu, P. Wu and C. Carlemalm-Logothetis. 2006. "Enhanced Interleaved Partitioning PTS for Peak-to-Average Power Ratio Reduction in OFDM Systems". IEEE Trans. on Comm., Lett. Vol.42, No.15, pp.983-984.
- [3] Z.T. Ibraheem, S.N. Yaakob, R.A. Kadhim, Md.M. Rahman, M.S. Razalli, K.K. Ahmed. 2014. "Performance of PTS Techniques with Varied Partition Size in PAPR Reduction of OFDM System". IEEE International Conference (I4CT 2014).
- [4] Rappaport, Theodore S. 2002. "Wireless Communication: Principles and Practice". Prentice-Hall Inc.
- [5] M. Salman Al Faris, Arfianto Fahmi, Saleh D.M. 2015. "Analisis Reduksi PAPR menggunakan Algoritma Distortion Reduction pada Sistem SC-FDMA". Telkom University.
- [6] Application Note. 2000. "Characterizing Digitally Modulated Signals with CCDF Curves". Agilent Technologies.
- [7] T.A. Nuzwat, A. Islam, M. Rahman, A.Z.M. Touhidul Islam. 2012. "Effect of AWGN & Fading (ccdf/Raleigh & Rician) channels on BER performance of a WiMAX communication System". International Journal of Computer Science and Information Security.
- [8] Kinjal P. Anand. 2017. "PAPR Reduction Technique: Partial Transmit Sequence (PTS)". International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Vol.4, Issue 3.
- [9] Dr.K. Ramalinga Reddy, M. Vijayalakshmi. 2015. "Adjacent Partitioning Based MIMO-OFDM System with Partial Transmit Sequence for PAPR Reduction". International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing dan Communication, Vol.3, Issue 5.
- [10] Kiran V., Sharon Jose. 2017. "Adjacent Partitioning PTS with Turbo Coding for PAPR Reduction in OFDM". India: ICACCS-2017.
- [11] Z.T. Ibraheem, S.N. Yaakob, R.A. Kadhim, Md.M. Rahman, M.S. Razalli, K.K. Ahmed. 2014. "PTS Method with Combined Partitioning Schemes for Improved PAPR Reduction in OFDM System". TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering, Vol.12, No.11, pp.7845-7853.
- [12] Ishu, Naresh Kumar. 2014. "PAPR Reduction in Wavelet Based SC-FDMA using PTS scheme for LTE Uplink Transmission". Panjab University.
- [13] A. Singh, H. Singh. 2016. "Peak to Average Power Ratio Reduction in OFDM System using Hybrid Technique". Optic-International Journal for Light and Electron Optics, Vol.127, pp.3368-3371.
- [14] P. Mukunthan, K. Rajalakshmi, K. Tamilselvi, N. Vinothini. 2016. "PAPR Reduction Based on PTS Combined Interleaving and Analysis of BER using Hadamard Code in OFDM Systems". India: International Conference on Communication and Signal Processing.