

Nama Rumpun Ilmu: Teknik Telekomunikasi

## LAPORAN AKHIR

PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI



**Teknik Sinkronisasi *Carrier Frequency Offset* (CFO)  
dalam System OFDM untuk Opimasi Implementasi  
*Frequency Sharing* 5G**

### TIM PENELITI

Ir. Ichsan Mahjud, M.T/0013026407 (Ketua)  
Muhammad Mimsyad, S.T., M.Eng., Ph.D/0020037601 (Anggota)  
Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng, Ph.D, IPM/0030037902 (Anggota)

Dibiayai oleh DIPA Politeknik Negeri Ujung Pandang, sesuai dengan Surat  
Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Penugasan Nomor: B/32/PL10.13/PT.01.05/  
2021, tanggal 23 April 2021

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
PROGRAM STUDI D3 TEKNIK TELEKOMUNIKASI  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
DESEMBER, 2021**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**

Judul Penelitian : Teknik Sinkronisasi *Carrier Frequency Offset (CFO)*  
dalam System OFDM untuk Opimasi Implementasi  
*Frequency Sharing 5G*

Kode>Nama Rumpun Ilmu : 453 / Teknik Telekomunikasi

Ketua Peneliti:

a. Nama Lengkap : Ir. Ichsan Mahjud, M.T  
b. NIDN : 0013026407  
c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala / IV-c  
d. Program Studi : D3 Teknik Telkom  
e. Nomor HP : (+62) 082385734057  
f. Alamat surel (e-mail) : ichsanmahjud@yahoo.com

Anggota Peneliti (1)

a. Nama Lengkap : Muhammad Mimsyad, S.T., M.Eng., Ph.D  
b. NIDN : 0020037601  
c. Program Studi : D3 Teknik Telkom

Anggota Peneliti (2)

a. Nama Lengkap : Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D, IPM  
b. NIDN : 0030037902  
c. Program Studi : D4 Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi  
(TRJT)

Mahasiswa

: 2 orang  
1. Nama?NIM : Winnie Felycia Patiung / 42218023  
2. Nama/NIM : Mutiara Sukma / 32219016

Lama Penelitian

: 8 bulan

Biaya Penelitian

: Rp. 8.984.000,-

Makassar. 2 Desember 2021

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Elektro,



**Ahmad Rizal Sultan, S.T., M.T., Ph.D**  
NIP. 19760921 200003 1 001

Ketua Peneliti,

**Ir. Ichsan Mahjud, M.T**  
NIP. 19640213 199103 1 003

Mengetahui,  
a.n. Direktur PNUP  
Wakil Direktur I



**Ahmad Zabair Sultan, S.T., M.T., Ph.D**  
NIP. 19740423 199903 1 002

Menyetujui,  
Ka. P3M PNUP,



**Dr. Ir. Firman, M.T.**  
NIP. 19641231 199103 1 028

## RINGKASAN

### **Teknik Sinkronisasi *Carrier Frequency Offset* (CFO) dalam System OFDM untuk Opimasi Implementasi *Frequency Sharing* 5G**

Aplikasi *multiple-input multiple-output* (MIMO) berdasarkan standar operasi *layer mapping* and *pre-coding* pada *physical layer* dapat melibatkan seluruh processing dalam multi bit data hingga sampai ke *long term evolution physical layer* (LTE-PHY). Dalam mencapai efisiensi spectral yang tinggi, performansi MIMO sangat dipengaruhi dengan jumlah kombinasi antena  $M \times N$  Tx/Rx dan juga algoritma deteksi MIMO yang digunakan. Optimalisasi Rx dapat tercapai dengan jika orde *quadrature phase shift keying* (QPSK) mengimplementasikan multi *bit-streams* dan memperbanyak level  $M \times N$  MIMO. Melalui *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM), system ini kemudian akan unggul membawa seluruh multi *bit-streams* tersebut hanya melalui *orthogonal subcarrier* dalam transmisi parallel. *Multipath* dan *efek doppler* adalah penyebab utama terjadinya pergeseran frekuensi pada subcarrier sinyal OFDM yang dikirimkan, yang disebut *carrier frequency offset* (CFO). Oleh karena itu CFO harus dihilangkan untuk meningkatkan kinerja sistem.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari pemodelan *estimation techniques* untuk CFO dan mensimulasikan sinkronisasi OFDM bagi *frequency sharing* sesuai standar 5G. Proses estimasi CFO melalui sinkronisasi OFDM dilakukan untuk menghasilkan *zero-mean* dengan target signal tanpa noise dan *interference reduction* saat dilaksanakan *frequency sharing*, sebagaimana aplikasi penggunaan *frequency sharing* ini akan sering terjadi pada 5G.

Metode penelitian dengan menggunakan tiga parameter perbandingan dalam skenario OFDM-MIMO yaitu *Zero-Forcing* (ZF), *Minimum-Mean-Square-Error* (MMSE), dan *Maximum-Likelihood* (ML). Urgensi penelitian adalah untuk pengembangan standar aplikasi LTE pada 5G sebagai representatif dari transformasi evolusi pada teknologi mobile seluler. Selain itu saat ini LTE standar masih menjadi bagian penting dalam menyelenggarakan akses teknologi mobile broadband. Penelitian ini juga sangat penting dalam pembangunan standar wireless masa depan seperti kestabilan G4 dan G5.

Hasil yang ditemukan adalah Teknik sinkronisasi *Carrier Frequency Offset* (CFO) menggunakan metode multiplexing spasial operasi SISO dan MIMO dapat dilakukan. Sedangkan ujicoba pada kinerja BER Rx-optimum Maximum-Likelihood (ML) versus  $E_b/N_0$  terhadap penggunaan jumlah antena penerima ( $M \times N$ ) menunjukkan bahwa MIMO dengan tingkat  $M \times N$  yang lebih banyak menunjukkan level BER yang kecil dibandingkan SISO, namun keduanya tetap stabil dalam pelaksanaan sinkronisasi CFO.

**Kata kunci:** MIMO, sinkronisasi, OFDM, LTE, CFO, 5G.

## PRAKATA

*Bismillahirrahmaanirrahim.*

Dengan memanjatkan puji syukur atas limpahan segala rahmat kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas anugrahNya dan hidayahNya sehingga penelitian dengan judul ”**Teknik Sinkronisasi Carrier Frequency Offset (CFO) dalam System OFDM untuk Opimasi Implementasi Frequency Sharing 5G**” dapat dikerjakan sesuai dengan waktu yang direncanakan.

Dengan selesainya penelitian ini Penulis mengucapkan terima kasih kepada UPPM Politeknik Negeri Ujung Pandang atas kesempatan dan biaya yang diberikan untuk melakukan penelitian ini. Terima kasih juga untuk semua jajaran pimpinan PNUP dan rekan-rekan staf pengajar program studi Teknik Telekomunikasi PNUP serta kepada semua pihak yang telah membantu.

Penulis mengharapkan saran dan kritikan yang membangun dari berbagai pihak demi kesempurnaan hasil penelitian ini serta keberlanjutan peningkatan kualitas dan manfaatnya. Semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan pembangunan bangsa.

Makassar, Desember 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>ii</b>
<b>RINGKASAN</b>	<b>iii</b>
<b>PRAKATA</b>	<b>iv</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>v</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>3</b>
2.1 4G LTE	
2.2 Arsitektur LTE	
2.2.1 Arsitektur dari E-UTRAN	
2.2.2 Arsitektur EPC	
2.3 Teknik Multiplexing	
2.4 Antena MIMO	
2.5 Studi pendahuluan yang pernah dilakukan	
<b>BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN</b>	<b>12</b>
3.1 Tujuan Penelitian	
3.2 Manfaat Penelitian	
<b>BAB 4. METODE PENELITIAN</b>	<b>13</b>
4.1 Lokasi dan waktu penelitian	
4.2 Tahapan penelitian	
<b>BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>18</b>
<b>BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>21</b>
6.1 Kesimpulan	
6.2 Saran	
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>22</b>
<b>LAMPIRAN</b>	



# BAB I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Sistem komunikasi nirkabel Generasi 5 (5G) mendatang akan mendukung berbagai layanan dengan beragam persyaratan. 5G bertujuan untuk memberikan kecepatan data sebesar 10-100 kali lebih cepat dari jaringan Generasi 4 (4G) yang ada saat ini dan kecepatan unduhan pada gigabit per detik (Gb/s), yang akan jauh lebih besar dari puluhan megabit per detik (Mb/s) kecepatan 4G. Untuk mencapai penerapan 5G ini maka persyaratan *multiple-input multiple-output* (MIMO) perlu secara massif. Terobosan yang dilakukan adalah mengkonfigurasi antena-antena Tx-Rx yang lebih kecil dengan gelombang milimeter agar dapat meningkatkan jumlah port antena di setiap fungsi *base transceiver station* (BTS).

Teknologi MIMO melalui penguatan *spatial multiplexing* telah menghasilkan penggunaan *multi sub-streams* (dua bit *streams*) sehingga *interference reduction* disetiap proses *transceiver* BTS dapat diterapkan (Sirmayanti & Mahjud, 2019). Kajian hasil dua bit *streams* MIMO tersebut berdasarkan metode operasi *layer mapping* and *pre-coding* pada lapisan fisik (*physical layer*) yang melibatkan seluruh processing dalam bit data hingga sampai ke *Long Term Evolution Physical Layer* (LTE-PHY). Dalam hasil penelitian tersebut, untuk mencapai efisiensi spectral yang tinggi maka performansi MIMO dipengaruhi oleh kombinasi jumlah antena pada sisi pengirim (Tx) dan penerima (Rx), penggunaan *multi sub-streams* untuk mengakomodasi kapasitas *bandwidth* (lebar pita) besar dan juga algoritma deteksi MIMO yang digunakan.

Kegiatan penelitian kali ini merupakan kelanjutan penelitian tersebut di atas dalam hal penerapan MIMO di blok digital RF-transmitter 5G dengan dua permasalahan utama. Permasalahan pertama, metode *quadrature phase shift keying* (QPSK) dengan dua bit *streams* pada penelitian sebelumnya masih dianggap belum memenuhi persyaratan standar *multi sub-streams* dan *multi-user* 5G dengan efisiensi frekuensi spektral yang sempurna. Permasalahan kedua bahwa *multipath* dan *efek doppler* adalah penyebab utama terjadinya pergeseran frekuensi pada subcarrier sinyal OFDM yang dikirimkan, yang disebut *carrier frequency offset* (CFO). Oleh karena itu CFO harus dihilangkan untuk meningkatkan kinerja sistem. Masih diperlukan teknik sinkronisasi agar potensi interferensi *multi-user* berupa *inter-channel interference* (ICI) dan *inter-symbol-interferensi* (ISI) dapat lebih dikurangi. Kinerja *Bit Error Rate* (BER) terhadap

level modulasi orde QPSK dengan *multi sub-streams* dan variasi  $M \times N$  antenna menunjukkan bahwa level modulasi orde rendah dan level  $M \times N$  MIMO yang lebih banyak mencapai kestabilan transceiver Tx-Rx yang baik disertai BER yang kecil (Tsoulos, 2018). Dengan kata lain, optimalisasi Rx 5G dapat tercapai dengan baik sebagaimana yang dipersyaratkan (Ji, 2018).

Solusi kombinasi teknologi MIMO dan *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM) merupakan sistem transmisi wideband yang digunakan untuk mengurangi interferensi antar simbol dan meningkatkan kapasitas system (Gupta, 2011). Sistem OFDM unggul membawa data hanya melalui *orthogonal subcarrier* dalam transmisi paralel. Keuntungan ini menjadi sumber solusi menurunkan distorsi yang disebabkan oleh proses *frequency selective channel* atau pada kejadian ISI untuk semua saluran *multi-path fading*. Namun, jika dijumpai sistem OFDM yang tidak *orthogonal*, maka dampak ISI dan bahkan ICI akan semakin membahayakan (Sklar, 2002).

Metode penelitian ini akan melaksanakan sinkronisasi *carrier frequency offset* (CFO). Sinyal baseband perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi passband melalui sistem modulasi carrier OFDM, setelah itu akan dikonversikan kembali menjadi baseband dalam frekuensi carrier ( $f_c$ ) yang sama di sisi penerima (Tx). Tujuan akan yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah agar diperoleh estimasi CFO ketika sinkronisasi OFDM dilakukan untuk menghasilkan *zero-mean* dengan target signal tanpa noise dan *interference reduction* saat dilaksanakan *frequency sharing*. Penelitian ini diharapkan menjadi inovasi baru dari pengembangan terapan teknologi 5G khususnya pada pembangunan infrastruktur miniaturisasi BTS yang sangat dibutuhkan oleh industri provider/operator seluler.

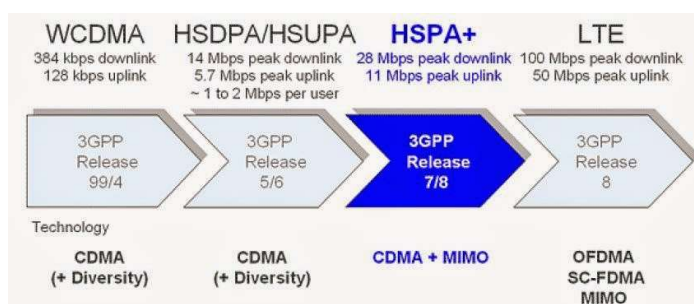
Indonesia sedang mempersiapkan diri menyambut aplikasi 5G ini. Pengembangan broadband 5G merupakan bagian dari Rencana Strategis Penelitian (RENSTRA) PNUP 2016-2020 bidang ***Teknologi Informasi dan Komunikasi (ICT)*** telekomunikasi. Isu strategis nasional-wilayah yang terkait yaitu pengembangan system optimasi transmisi data untuk peningkatan *Quality of Service (QoS)* dan isu prioritas yaitu diversifikasi media transmisi dalam upaya meningkatkan kualitas data berkecepatan tinggi dengan kapasitas besar.

## BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 4G LTE

*Fourth Generation LTE (4G LTE)* adalah standar komunikasi akses data nirkabel tingkat tinggi yang berbasis pada jaringan *Enhanced Data Rates for Global System for Mobile Communications (GSM) Evolution* atau dikenal dengan GSM/EDGE dan *High Speed Packet Access (HSPA) for Universal Mobile Telecommunications Service (UMTS)* yang dikenal dengan UMTS/HSPA (Ian, 2010). Sistem performansi dari sistem seluler generasi 4G LTE yang pada masa sekarang telah sangat banyak diterapkan dan menjadi sistem tercanggih dari evolusi sistem telekomunikasi seluler saat ini yang sudah dikomersialkan.

Generasi LTE dalam teknologi telekomunikasi seluler menurut standar maka dapat memberikan kecepatan uplink sampai 50 Mbps dan kecepatan downlink sampai 100 Mbps. Selain itu, LTE membawa banyak manfaat dan perubahan jaringan selular. Perkembangan telekomunikasi menurut standar *third generation partnership project (3GPP)* terlihat seperti Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Standar 3GPP LTE, <http://www.ece.ualberta.ca/~hcdc/mimohistory.html>.

Tabel 1. Karakteristik Perkembangan Teknologi Selular, Sklar (2002)

Spesifikasi	WCDMA (UMTS)	HSPA	HSPA+	LTE
Downlink Max Speed (bps)	384 K	14 M	28 M	100 M
Uplink Max Speed (bps)	128 K	5,7 M	11 M	5 M
Latency-RTT	150 ms	100 ms	50 ms	-10 ms
3GPP Release	Rel 99/4	Rel 5/6	Rel 7	Rel 8
Access Methodology	CDMA	CDMA	CDMA	OFMA/SC-FDMA

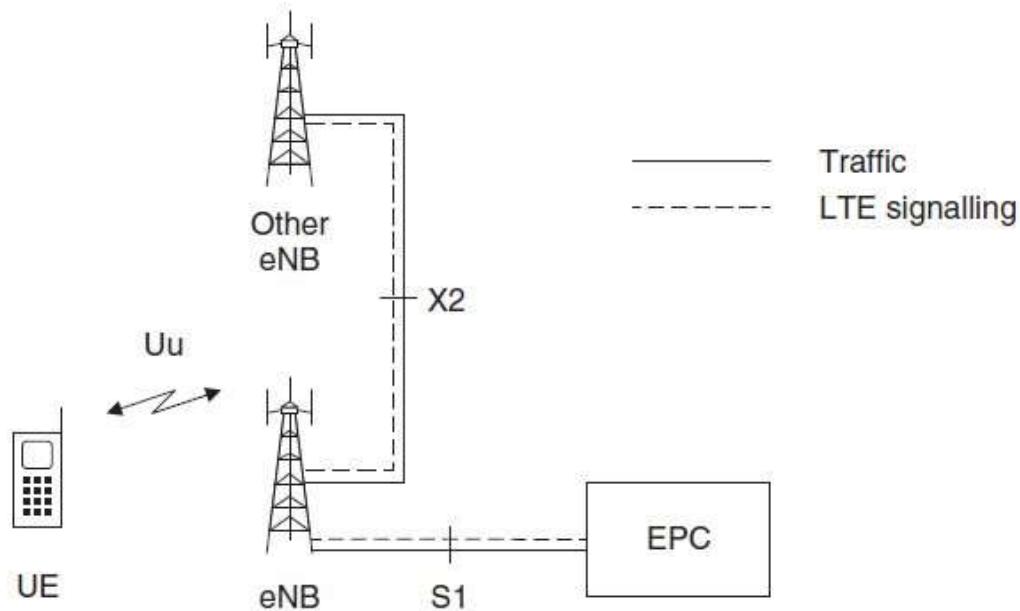


Bandwidth 4G LTE berkisar antara 1,4 MHz hingga 20 MHz. Operator jaringan bisa memilih bandwidth yang berbeda dan memberikan layanan yang berbeda sesuai dengan spektrum yang ditentukan. Hal ini juga merupakan tujuan desain dari LTE yaitu untuk meningkatkan efisiensi 4 spectrum pada jaringan, yang memungkinkan operator untuk menyediakan lebih banyak paket data pada suatu bandwidth. Karakteristik perkembangan teknologi selular menurut standar 3GPP (Ji, 2018) seperti yang dilihat pada Tabel 1.

## 2.2 Arsitektur LTE

Sejatinya LTE merupakan bagian air interface dari *Evolved Packet System* (EPS) dari jaringan 4G. Secara umum, oleh Zarrinkoub (2014), arsitektur ini dapat diurai dalam dua bagian yaitu:

### 2.2.1 Arsitektur dari E-UTRAN



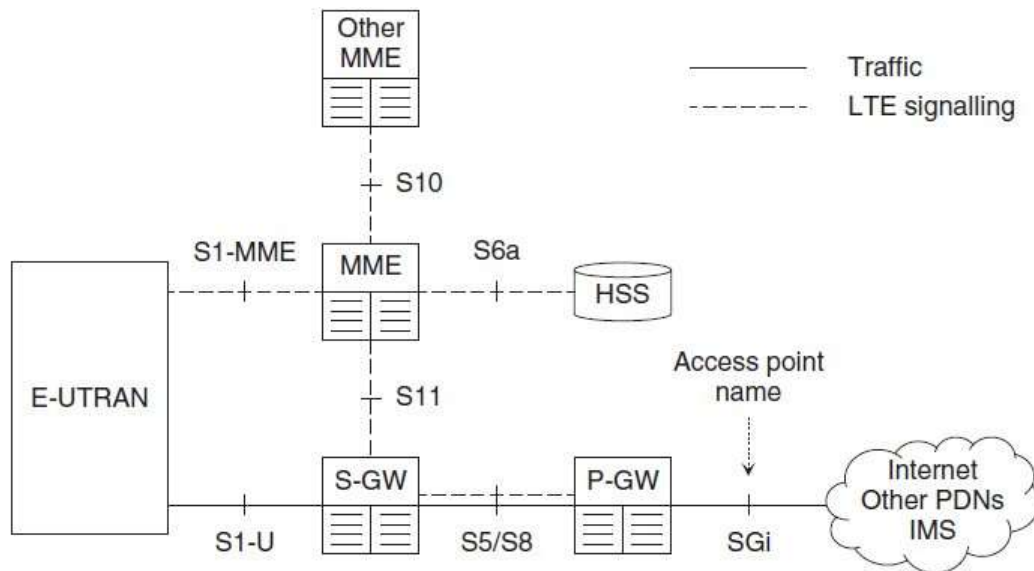
Gambar 2. Arsitektur E-UTRAN (Zarrinkoub, 2014).

E-UTRAN atau *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* berfungsi untuk menghubungkan antara mobile dan *Evolved Packet Core* (EPC). E-UTRAN terdiri dari satu komponen yakni *evolved Node B* (eNB). Pada Gambar 2, jika kita melihat pada teknologi sebelumnya (3G), di bagian ini terdiri dari dua komponen yaitu Node B dan RNC. Pada jaringan 4G, eNB memiliki fungsi yaitu dari Node B dan *Radio Network Controller* (RNC). Hal ini semakin mempersingkat waktu komunikasi antara mobile dengan *base station* tersebut, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk handover

akan jauh lebih cepat. Terdapat dua fungsi utama dari E-UTRAN, pertama adalah sebagai pengirim transmisi radio ke semua mobile yang ada di jangkauannya. Dengan pemrosesan sinyal analog dan sinyal digital. Kedua, sebagai pemroses signalling messages yaitu untuk mengendalikan low level operation dari sebuah mobile.

### 2.2.2. Arsitektur EPC

Beberapa komponen penting dari EPC adalah seperti MME, S-GW, P-GW, HSS. *Home Subscriber Server* (HSS) adalah server yang menyimpan seluruh data subscriber network operator, sebagaimana terlihat pada Gambar 3 berikut.

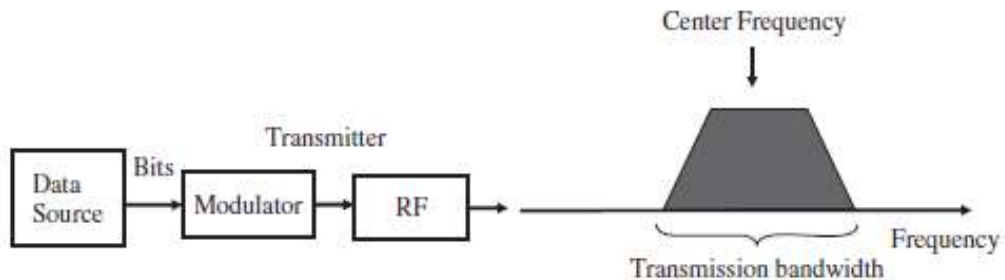


Gambar 3. Komponen EPC (Zarrinkoub, 2014).

Ada dua jenis interface yang menghubungkan antara E-UTRAN dengan EPC (eNB ke MME dan S-GW), yaitu interface S1-MME yang menangani signalling message (control plane) dan interface S1-U yang menangani traffic (user plane). Kemudian S-GW dihubungkan dengan MME pada sebuah interface yang disebut interface S10 (control plane), sedangkan interface yang menghubungkan antara S-GW dan P-GW adalah S5/S8. Dimana disebut S5 apabila S-GW dan P-GW berada dalam satu jaringan, dimana hubungannya dengan roaming network. Sedangkan S8 jika S-GW dan P-GW berada di network yang berbeda. Interface yang menghubungkan network dengan dunia luar adalah SGi yaitu antara PDN gateway dan internet atau server network operator atau IP Multimedia Subsystem. Interface S6a menghubungkan antara MME dan HSS.

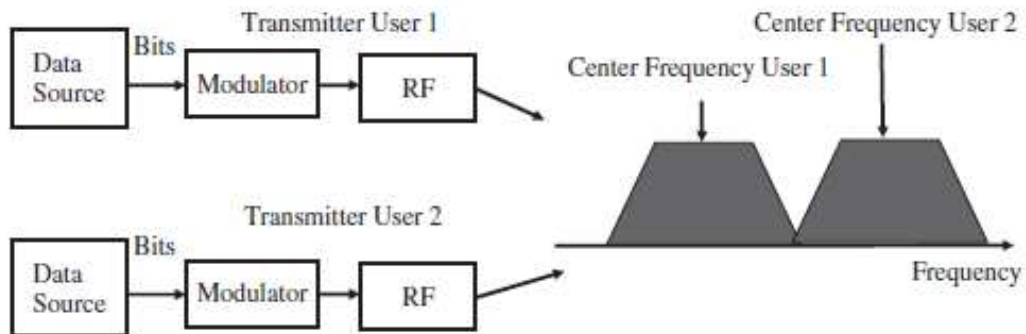
### 2.3. Teknik Multiplexing

Dalam LTE, akses downlink didasarkan pada *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* (OFDMA) dan akses uplink didasarkan pada *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA). Pada *Multiple Access Single carrier* (SC), informasi dimodulasi hanya untuk satu carrier, menyesuaikan fase atau amplitudo pembawa atau keduanya (Tarokh, 1998). Frekuensi juga bisa disesuaikan, tetapi dalam LTE ini tidak terpengaruh. Semakin tinggi kecepatan data, semakin tinggi tingkat symbol dalam sistem digital dan dengan demikian bandwidth juga lebih tinggi. Misalnya dengan menggunakan *Quadrature Amplitude Modulation* (QAM) pemancar menyesuaikan sinyal untuk membawa jumlah yang diinginkan dari bit per simbol modulasi. Gelombang spektrum yang dihasilkan adalah pembawa spektrum tunggal, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



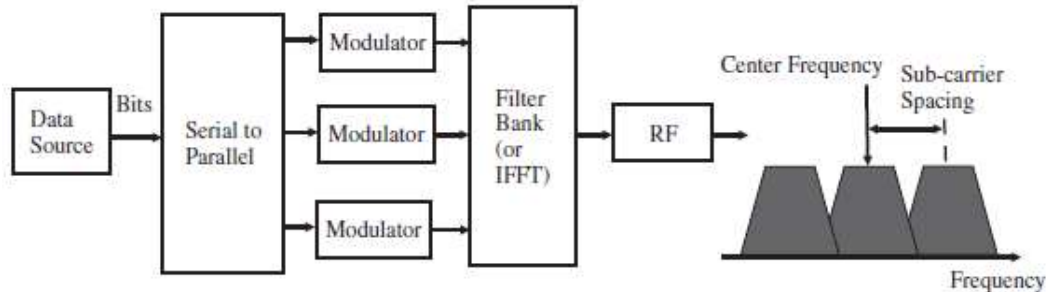
Gambar 4. SC-FDMA (Zarrinkoub, 2014).

Dengan prinsip *Frekuensi Division Multiple Access* (FDMA), pengguna yang berbeda akan kemudian akan menggunakan carrier yang berbeda atau subcarrier, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



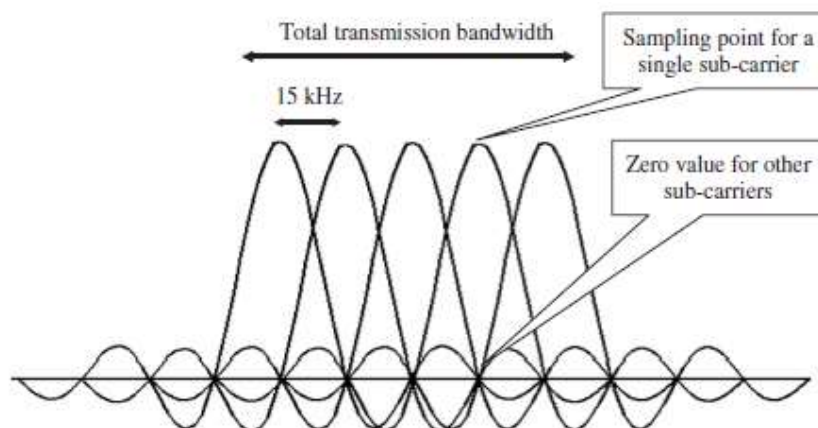
Gambar 5. SC-FDMA dengan dua pengguna (Zarrinkoub, 2014).

Penggunaan prinsip multi-carrier ditunjukkan pada Gambar 6, dimana data dibagi pada sub-carrier yang berbeda dari satu pemancar. Filter bank dipasang sebagai solusi praktisnya dan biasanya diganti dengan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) dimana jumlah subcarrier banyak.



Gambar 6. Prinsip Multicarrier (Zarrinkoub, 2014)..

Salah satu contoh pendekatan multi-carrier adalah dual carrier WCDMA (dual cell HSDPA), yang mana menggunakan dual carrier WCDMA namun tidak menggunakan prinsip-prinsip pemanfaatan spektrum tinggi. Untuk mengatasinya, digunakan pendekatan orthogonality diantara transmisi yang berbeda, untuk menciptakan sub-carrier yang tidak mengganggu satu sama lain, meskipun spektrum masih tumpang tindih dalam domain frekuensi. Ini adalah dapat dicapai dengan prinsip *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDMA), di mana masing-masing frekuensi sub-carrier ini memiliki perbedaan dalam domain frekuensi, kemudian sub-carrier yang berdekatan memiliki nilai nol saat itulah dilakukan sampling dari sub-carrier yang diinginkan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7 berikut:

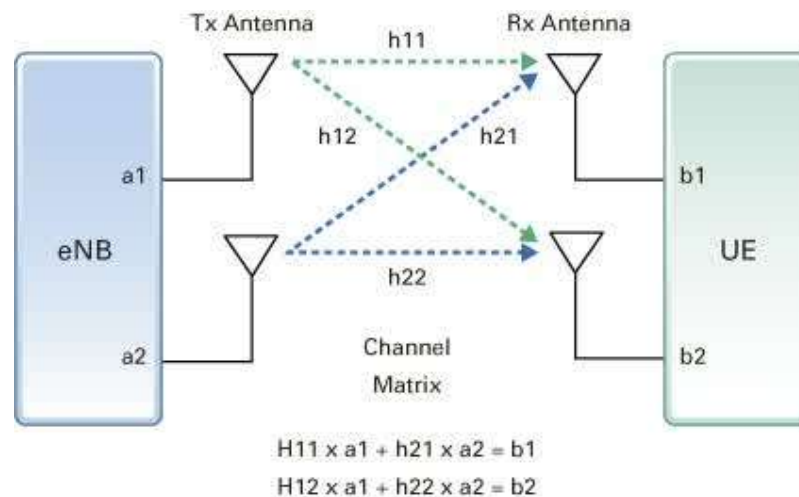


Gambar 7. Sub-Carrier Orthogonality (Zarrinkoub, 2014).

## 2.4 Antena MIMO

Sistem MIMO adalah sistem yang menggunakan multi antena baik pada transmitter maupun receiver untuk mengatasi kelemahan pada sistem komunikasi wireless konvensional diantaranya adalah large scale fading, small scale fading termasuk didalamnya multipath fading serta interferensi dari sinyal lain. Sistem MIMO memberikan penambahan efisiensi spektral yang didasarkan pada penggunaan space diversity pada transmitter dan receiver. Sistem MIMO disebut juga sistem *multiple element antenna* (MEA) dilihat dari penggunaan space diversity. Dengan teknologi MIMO, sebuah receiver atau transmitter menggunakan lebih dari satu antena, tujuannya adalah untuk menjadikan sinyal pantulan sebagai penguat sinyal utama sehingga tidak saling menggagalkan. MIMO juga memiliki kelemahan, yaitu adanya waktu interval yang menyebabkan adanya sedikit delay pada antena saat mengirimkan sinyal, meskipun pengiriman sinyalnya sendiri lebih cepat. Waktu interval ini terjadi karena adanya proses dimana sistem harus membagi sinyal mengikuti jumlah antena yang dimiliki oleh perangkat MIMO yang jumlahnya lebih dari satu.

Dalam sistemnya, MIMO tidak hanya menggunakan satu antena tetapi menggunakan dua atau lebih banyak (jamak) baik pada pemancar maupun penerimanya, Gambar 8. Dengan menggunakan antena jamak tersebut mengakibatkan kinerja menjadi lebih baik, hal tersebut dapat dibandingkan dengan sistem *Single Input Single Output* (SISO).



Gambar 8. Sistem MIMO, Singh (2020).

Beberapa teknologi yang telah menggunakan MIMO adalah IEEE 802.11n (WIFI), IEEE 802.11ac (WIFI), 4G, 3GPP Long Term Evolution, Wimax dan HSPA+. MIMO dibagi menjadi 3 kategori, yaitu:

*a. Pre-coding*

Precoding dikenal juga dengan multi-stream beamforming. Dalam istilah yang lebih umum adalah proses spatial yang terjadi pada transmitter. Tujuan dari beamforming adalah untuk meningkatkan sinyal gain yang diterima, dengan sinyal yang dipancarkan dari antenna yang berbeda secara konstruktif, dan juga mengurangi multipath fading. Kelemahan dari beamforming adalah pengiriman data tidak dilakukan secara bersamaan sehingga menambah delay yang terjadi. Precoding membutuhkan informasi tentang *Channel State Information* (CSI) pada sisi transmitter dan receiver.

*b. Spatial Multiplexing*

*Spatial Multiplexing* merupakan teknik yang digunakan untuk meningkatkan kapasitas kanal sehingga menghasilkan *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang lebih tinggi. Untuk meningkatkan kecepatan sinyal maka sinyal dibagi menjadi aliran sinyal yang lebih kecil, setiap aliran yang dikirimkan dari antenna yang berbeda tetap menggunakan frekuensi yang sama. Jika sinyal yang datang pada receiver, pada beberapa antenna yang berbeda, maka akan dilakukan proses signatur dan proses CSI di sisi penerima. Spatial multiplexing dapat digunakan tanpa CSI di sisi transmitter akan tetapi dapat dikombinasikan antara precoding dan CSI. Spatial multiplexing dapat digunakan secara transmisi secara bersamaan ke multiple receivers, ini yang kita kenal dengan space division multiple access atau Multi User MIMO, dimana CSI dibutuhkan pada transmitter.

*c. Diversity Coding*

Teknik yang digunakan untuk ketika tidak ada kanal informasi di sisi pengirim. Metode diversity, menggunakan aliran single ketika ditransmisikan tetapi sinyal sudah dikodekan atau yang kita sebut dengan space time coding. Diversity coding dapat dikombinasikan antara spatial multiplexing dengan beberapa kanal informasi pada sisi transmitter.

## **2.5 Studi pendahuluan yang pernah dilakukan**

Studi dan penelitian sebelumnya adalah Pemodelan *Single-Input Single-Output* (SISO) Berbasis OFDM-Cooperative, oleh peneliti **Sirmayanti (2016)**. Penelitian ini bertujuan dalam membangun pemodelan SISO Tx-Rx berbasis OFDM-cooperative yang akan lebih mengoptimalkan fungsi perangkat Tx-Rx sebagai sebuah terminal relay,



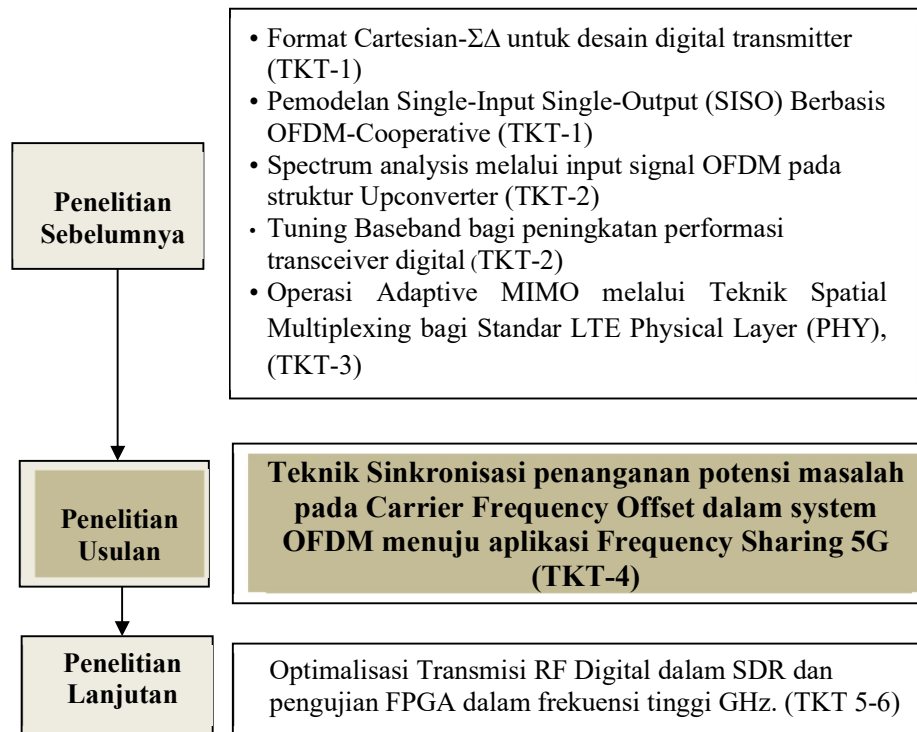
dimana Tx-Rx akan bekerjasama sebagai relay terhadap sistem lainnya. Komunikasi SISO pada dasarnya terdiri atas penggunaan pemancar (Tx) dan penerima (Rx) masing-masing untuk satu buah sistem penyambungan. *Cooperative wireless* merupakan konsep konektivitas eksis yang terjangkau signal oleh setiap perangkat Tx-Rx lain yang memiliki fungsi sama. Untuk mengandalkan pengoperasian sistem *multicarrier* maka digunakan OFDM agar bandwidth yang tersedia setelah spektrum dibagi menjadi sub band menjadi lebih hemat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dalam hal pengembangan multi-hop OFDM-cooperative yaitu beberapa aspek dalam penggunaan guard interval, interpolation dan decimation, slicer, sistem coding awal pada data originalnya, simulation melalui multipath channel dan lain-lain. Dengan demikian kelengkapan multi-carrier OFDM dapat lebih mudah menyesuaikan dengan standar-standar wireless yang sudah ada hingga saat ini, terutama terkait standar LTE yang sedang akan dikaji dalam usulan penelitian ini.

Hasil pengembangan teknik OFDM kemudian dikembangkan sebagai sistem modulasi digital untuk diaplikasikan dalam beberapa sistem transmisi digital wireless full *digital signal processing* (DSP) berbasis *software defined-radio* (SDR). SDR dapat menjawab penggunaan frekuensi dari keterbatasan sumber frekuensi tinggi dalam komunikasi wireless. **Sirmayanti dan Mahjud (2017)** telah melaksanakan penelitian tentang spectrum analysis melalui input signal OFDM pada struktur *upconverter*. Penelitian ini membahas tentang pentingnya mengetahui kinerja sumber sinyal pada sebuah konektivitas komunikasi yang memiliki data rate tinggi dan berbandwidth besar seperti pada OFDM. Kelemahan OFDM pada permasalahan *high-peak-to-average power ratio* (PAPR) namun dapat ditanggulangi jika sistem ini diintegrasikan sebagai input masukan pada struktur upconverter Cartesian Delta Sigma. Solusi OFDM ini menggunakan aplikasi OFDM IEEE 802.11g dengan bandwidth sebesar 16 MHz pada carrier frequency 1.024 GHz. Dengan demikian, karakteristik sinyal uji masukan OFDM menunjukkan skema struktur RF-upconverter Cartesian Delta Sigma dapat diaplikasikan pada sistem transmisi nirkabel digital, misalnya yakni pada teknologi LTE and WIMAX serta pada sistem perancangan transceiver GHz upconverter dimasa yang akan datang.

Penelitian oleh **Sirmayanti dan Mahjud (2019)** adalah tentang operasi MIMO dengan teknik spatial multiplexing. MIMO dalam aplikasi penggunaan beberapa antenna pada sisi pemancar serta sisi penerima, dan melalui metode *spatial multiplexing* menghasilkan *bit stream* menjadi *multi sub-streams* dengan dampak *interference*

*reduction* disetiap proses transceiver. Dalam mencapai efisiensi spectral yang tinggi, performansi MIMO sangat dipengaruhi oleh kombinasi jumlah antenna pada pengirim dan penerima dan juga metode/algorithm deteksi MIMO yang digunakan. Kinerja Rx-ML, Rx-MMSE-SIC dan Rx- ZF-SIC telah dibandingkan. Secara eksponensial, Rx-ML linear terhadap jumlah antenna yang digunakan sedangkan bagi Rx-MMSE-SIC dan Rx-ZF-SIC masih senantiasa terpengaruh dengan interferensi cancellation. Peluang penggunaan antenna yang lebih besar baik atau tanpa *channel estimation* juga menunjukkan hasil perbandingan yang baik. Dalam aplikasi standar MIMO sesuai dengan standar LTE *Physical Layer* (PHY), maka hasil kajian dan ujicoba aplikasi sistem MIMO berdasarkan standar LTE di lapisan fisik, LTE *Physical Layer* (PHY) telah dilaksanakan. Dengan melibatkan seluruh processing dalam bit data hingga sampai ke PHY menggunakan operasional OFDM maka digunakan pemodelan *Downlink Shared Channel* (DL-SCH). Hal ini berfungsi sebagai saluran transportasi dan bermanfaat untuk transmisi data pengguna, kontrol khusus, yang tersedia bagi akses data dari tahap layar berikutnya.

Gambar 9 menunjukkan *road map* tentang topik penelitian yang akan dilaksanakan.



Gambar 9. Road map penelitian.

## **BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN**

### **3.1 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan khusus penelitian ini adalah untuk:

- a. Mempelajari pemodelan *estimation techniques* untuk CFO
- b. Mensimulasikan sinkronisasi OFDM bagi *frequency sharing* sesuai standar 5G

### **3.2 Manfaat penelitian**

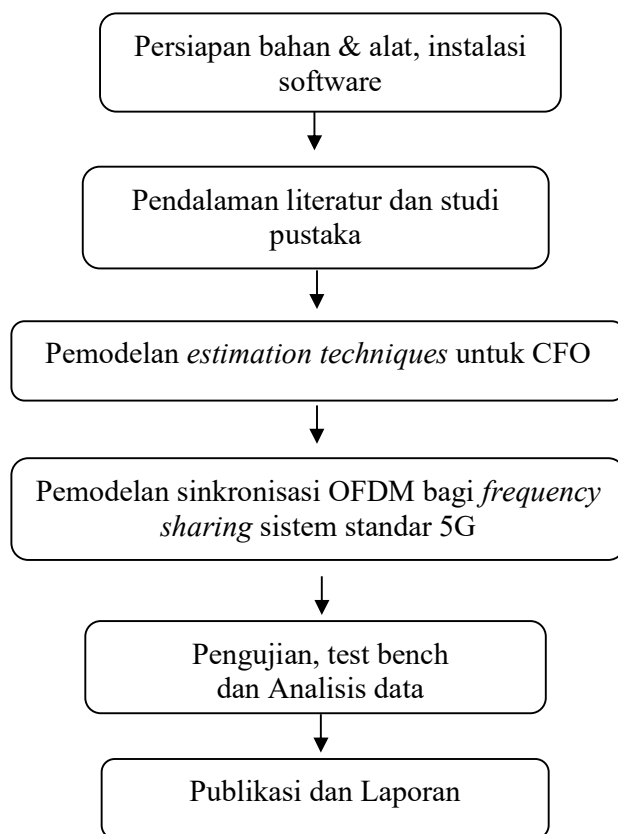
Manfaat penelitian adalah untuk pengembangan standar aplikasi LTE pada 5G sebagai representatif dari transformasi evolusi pada teknologi mobile seluler. Selain itu, saat ini LTE standar masih menjadi bagian penting dalam menyelenggarakan akses teknologi mobile broadband. Penelitian ini juga sangat penting dalam pembangunan standar wireless masa depan seperti kestabilan 4G dan 5G.

## BAB IV. METODE PENELITIAN

### 4.1 Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian telah dilaksanakan di Laboratorium Transmisi dan Frekuensi Tinggi Jurusan Teknik Elektro PNUP. Waktu pelaksanaan sementara telah dilakukan pada bulan Juni 2021, dengan rencana penyelesaian pada bulan November tahun 2021.

### 4.2 Tahapan penelitian

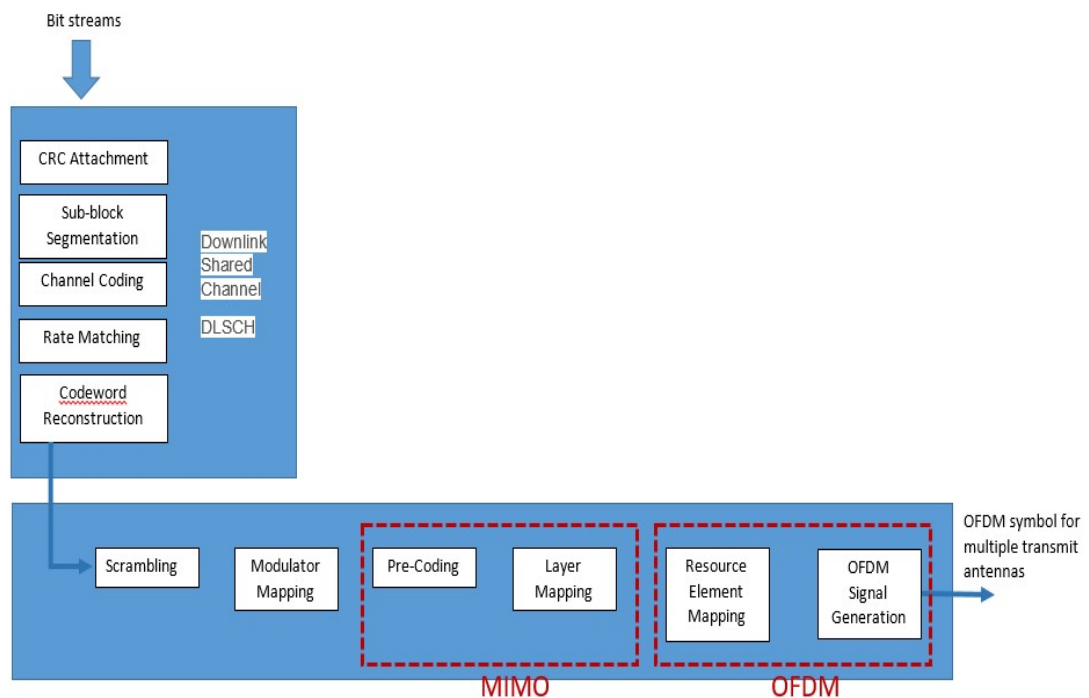


Gambar 10. Urutan pekerjaan pada usulan penelitian.

Urutan pekerjaan dapat dilihat pada Gambar 10. Langkah-langkah kerja penelitian meliputi persiapan dan pengadaan bahan & alat termasuk instalasi software atau update lisensi dari software yang dibutuhkan. Pendalaman literatur dan studi pustaka senantiasa akan dilaksanakan sepanjang penelitian ini dalam hal mendapatkan informasi kesamaan dan perbedaan metode yang dikerjakan pada referensi yang terkait. Tujuan studi pustaka ini juga untuk menelaah tindakan dan kebijakan saat melaksanakan pemodelan, pemilihan data primer yang dibutuhkan dan kesesuaian variable data yang yang digunakan. Selanjutnya pengerjaan simulasi, penulisan code pemograman dan simulasi pemodelan. Pemodelan *estimation techniques* untuk CFO akan menggunakan estimasi

variable yang digunakan pada penelitian sebelumnya dengan menambah variable  $M \times N$  antenna dan variasi *bit-stream* sesuai peruntukan m-ary QPSK. Pemodelan berikutnya yaitu sinkronisasi OFDM bagi *frequency sharing* sistem standar 5G melalui analisis spectrum dan karakteristik grafik yang diperoleh. Pengujian pemodelan akan dilakukan melalui test bench skala laboratorium melalui instrument yang ada dengan menggunakan skala frekuensi real 5G. Tahap akhir meliputi evaluasi dan laporan tertulis. Laporan ini dapat tertuang dalam bentuk tulisan karya ilmiah dan laporan penelitian, sesuai dengan janji luaran penelitian ini.


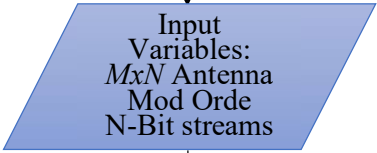
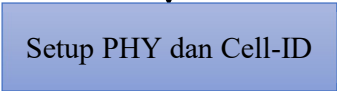




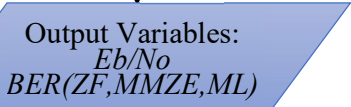

Penelitian ini dilaksanakan melalui percobaan simulasi menggunakan software Matlab. Level Riset adalah Terapan **TKT-4**. Proses pembangkitan sinyal dan modeling modulator dilakukan keseluruhannya dengan software, hal ini mengingat untuk kemudahan melakukan simulasi dengan beragam variable input dibandingkan dengan pengkuruan langsung menggunakan alat yang masih memiliki keterbatasan spesifikasi. Spesifikasi input signal dan spectrum analyser yang dibutuhkan adalah mencapai pada frekuensi tinggi GHz, sementara peralatan di laboratorium yang tersedia belum memadai. Kebutuhan software yang akan digunakan harus dilengkapi dengan beberapa Tool box seperti sistem DSP dan Communication tools. Urutan pengerjaan melalui Matlab akan dikerjakan melalui penulisan coding (Matlab Code).



Gambar 11. Skenario pemodelan standar Transmitter LTE.

Metode penelitian ini berdasarkan skenario pemodelan standar Transmitter LTE dengan blok dasar struktur MIMO dan OFDM (Gambar 11). Skenario meliputi *flowchart* algoritma dilengkapi dengan deskripsi setiap fungsi prosesnya (Tabel 2).

Tabel 2. Flowchart dan deskripsi function algoritma

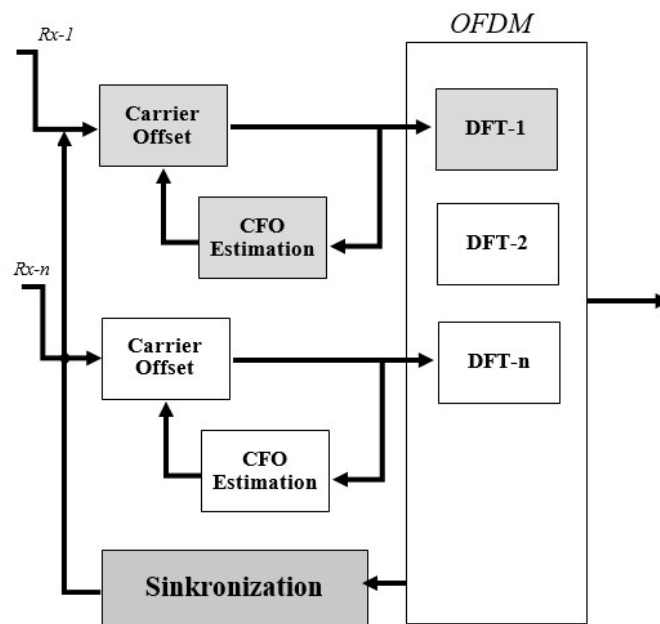
Flowchart	Deskripsi Functions
 <p>Start</p>	<p>Input Variables menggunakan data utama: <math>M \times N</math> Antenna, Mod Orde, dan N-Bit streams. <math>M \times N</math> akan bervariasi yang masing-masing menunjukkan jumlah antenna Tx (M) dan Rx (N) pada BTS. Mod Orde adalah orde yang digunakan dalam modulasi m-ary QPSK. N-Bit stream menunjukkan standar jumlah bit data yang digunakan. Satuan bit-data dalam Gbps.</p>
 <p>Input Variables: <math>M \times N</math> Antenna Mod Orde N-Bit streams</p>	<p>Setup PHY dan Cell-ID meliputi proses identifikasi <i>physicl layer</i> BTS. Proses ini akan menghasilkan <i>number of resources blocks</i> dan <i>cell-specific reference signal ports</i></p>
 <p>Setup PHY dan Cell-ID</p>	<p>Setup DL-SCH Setting meliputi Transport/Physical channel settings bagi DL-SCH and PDSCH. Proses ini juga meliputi Cell-wide Settings.</p>
 <p>Setup DL-SCH Setting</p>	<p>OFDM meliputi modulasi <i>m-ary</i> QPSK <i>subcarrier setting</i>, dan <i>sharing frequency set</i></p>
 <p>OFDM</p>	<p>RF-unpconverter merupakan paket digital block yang mencakup koneksi transmitter Tx-Rx</p>
 <p>RF-upconverters</p>	<p>Sinkronisasi <i>carrier frequency offset</i> (CFO) dan <i>Noise &amp; Interferensi Reduction</i></p>
 <p>Synchronize ?</p> <p>No</p>	<p>Hasil simulasi akan membandingkan nilai <math>E_b/N_0</math> dan BER pada tiga skema yaitu ZF, MMSE, ML.</p>
 <p>Output Variables: <math>E_b/N_0</math> BER(ZF,MMZE,ML)</p>	<p>Hasil simulasi akan membandingkan nilai <math>E_b/N_0</math> dan BER pada tiga skema yaitu ZF, MMSE, ML.</p>
 <p>Stop</p>	



Gambar 12 menunjukkan skenario metode CFO *estimation* sehingga sinkronisasi OFDM struktur MIMO sebagaimana pada Gambar 11 dapat dilaksanakan. Dalam tahapan simulasi pemodelannya, metode yang digunakan menggunakan analisis untuk pengkajian pada:

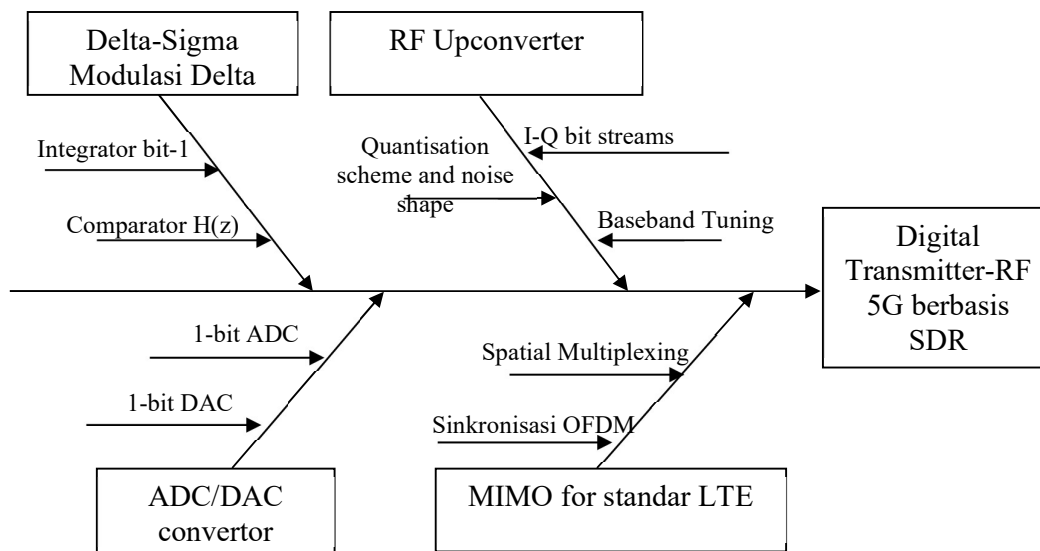
- ✓ Pemodelan *estimation techniques* untuk CFO
- ✓ Sinkronisasi OFDM bagi *frequency sharing* sistem standar 5G

Terdapat tiga parameter yang digunakan dalam perbandingan hasil skenario ini yaitu: *non-linear interference cancellation* yakni *Zero-Forcing (ZF)* dan *Minimum-Mean-Square-Error (MMSE)*, dan tipe kinerja pada penerimaan Rx-optimal atau disebut *Maximum-Likelihood (ML)*.



Gambar 12. Skenario pemodelan sinkronisasi OFDM metode CFO estimation.

*Fishbone* pada Gambar 13 menunjukkan skema MIMO dengan standar LTE yang terdiri atas dua bagian konsentrasi yaitu *spatial multiplexing* dan sinkronisasi OFDM. Skema ini merupakan bagian penting pada pemodelan transmitter-RF digital yang merupakan tujuan transformasi evolusi pada teknologi mobile seluler. Standar 4G-LTE masih menjadi bagian penting dalam menyelenggarakan akses teknologi mobile broadband dan kestabilan 5G. Model transmitter-RF berupa *digital-upconverter* ini memiliki manfaat dalam menstabilkan kinerja pada perangkat transmitter telekomunikasi karena sistem ini dapat mengadopsi kebutuhan dan konsistensi teknologi nirkabel 5G.



Gambar 13. Fishbone alur penelitian.

Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP) menjadikan pengembangan broadband 5G sebagai bagian dari Rencana Strategis Penelitian (RENSTRA) PNUP 2016-2020 bidang ICT. Salah satu riset unggulan dan menjadi satu dari lima isu strategis dalam RENSTRA-PNUP 2016-2020 adalah ICT bidang telekomunikasi (Isu Strategis no 5 dan Isu Prioritas no 9). Usulan penelitian yang dilakukan berkesesuaian dengan RENSTRA-PNUP sebagaimana terlihat pada rangkuman Tabel 3 berikut ini.

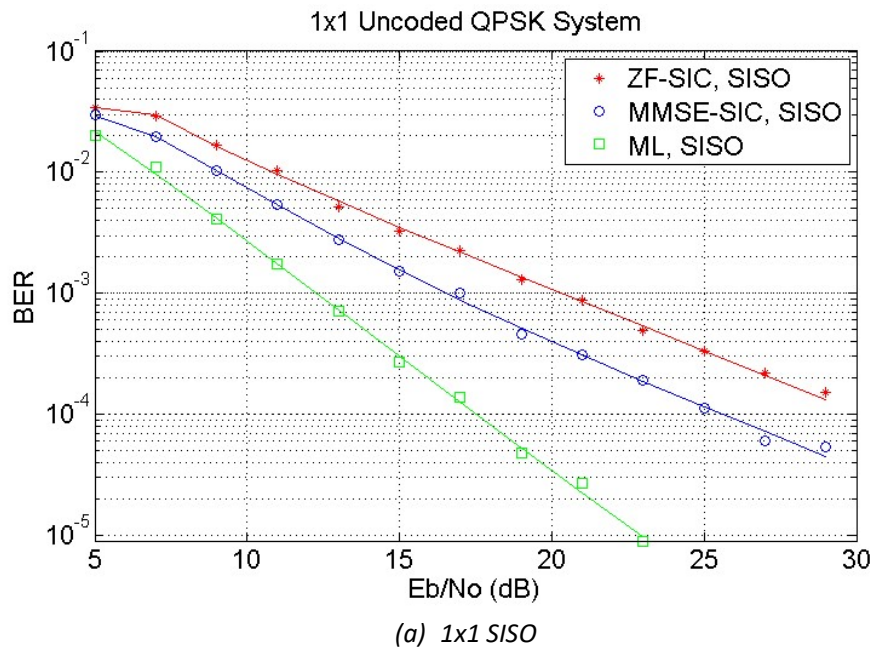
Tabel 3. Kesesuaian RENSTRA-PNUP dalam Isu Priortitas dan Usulan Topik Riset

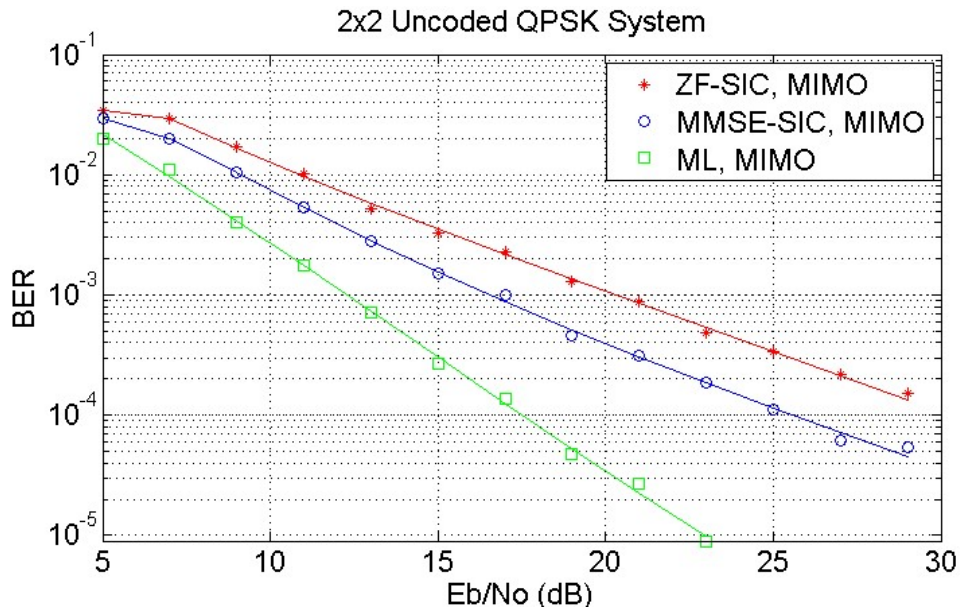
Isu Strategis Nasional-Wilayah	Isu Prioritas	Solusi Persoalan Prioritas	Topik riset	Kegiatan Penelitian
Optimasi transmisi data untuk peningkatan QoS	Diversifikasi media transmisi dalam upaya meningkatkan kualitas data berkecepatan tinggi dengan kapasitas besar	Analisis dan evaluasi performansi sistem transmisi data & informasi	Design arsitektur transmitter digital wireless penunjang Broadband 5G	Analisis sistem traffic dan througput pada performansi sistem transmisi data & informasi
				Pemanfaatan digitalisasi data network menuju sistem pengoperasian yang lebih optimal
				Desain and aplikasi sistem komunikasi seluler masa depan berbasis digital LTE, G4 dan future 5G

## BAB 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

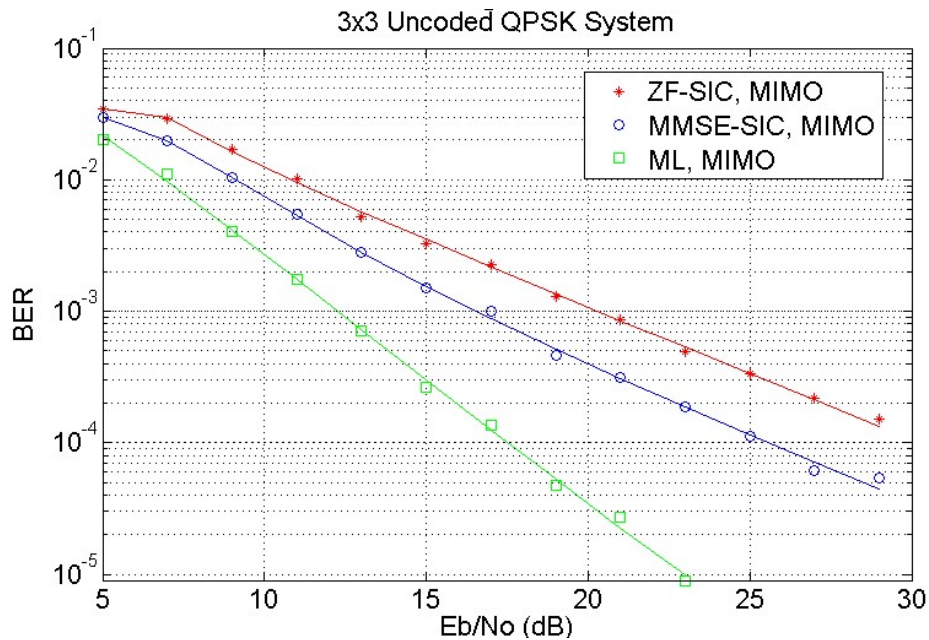
Teknik sinkronisasi *Carrier Frequency Offset* (CFO) menggunakan metode multiplexing spasial operasi SISO dan MIMO dilaksanakan dengan membagi aliran data menjadi sub-aliran yang bebas (independen), dimana masing-masing dihubungkan dengan satu untuk setiap antenna pengirim yang digunakan. Konsep skema ini memberikan keuntungan multiplexing sehingga tidak memerlukan ortogonisasi eksplisit. Melalui Teknik ini, system sinkronisasinya membutuhkan teknik decoding (demodulasi) yang kuat di penerima. Pada data termodulasi QPSK, input Rayleigh fading pada masing-masing Tx-Rx tetap saling independen. Sedangkan pada sisi penerima Rx, telah di set saluran dengan umpan balik (feedback) ke pemancar, dengan demikian sistem proses sinkronisasi mudah dilaksanakan.

Selain itu, sama halnya pada konsep spatial multiplexing, metode penelitian ini juga menggunakan dua parameter sebagai perbandingan yaitu *non-linear interference cancellation* yakni *Zero-Forcing* (ZF) dan *Minimum-Mean-Square-Error* (MMSE). Dengan kedua parameter ini, dapat diperlihatkan hasil kinerja pada penerimaan Rx-optimal atau yang disebut Maximum-Likelihood (ML). Hasil menunjukkan bahwa sinkronisasi CFO pada SISO dan MIMO tidak berdampak pada ML. Atau dengan kata lain, baik pada SISO dan MIMO maka CFO dapat dilaksanakan dengan mudah dan tidak memperhatikan lagi proses tuning atau persyaratan apakah insfrastrukturnya SISO atau MIMO.





(b) 2x2 MIMO

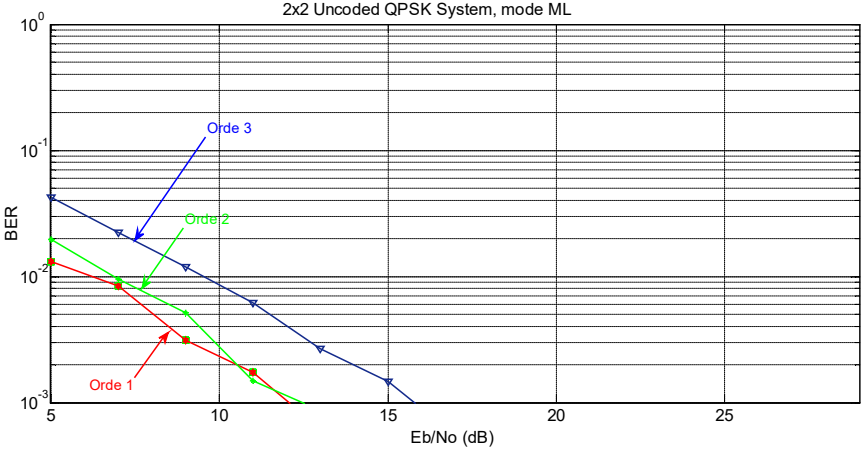


(c) 3x3 MIMO

Gambar 13. Kinerja BER Rx dengan perbandingan tiga skenario: 1x1 SISO (a), 2x2 MIMO (b) dan 3x3 MIMO (c)

Dari hasil pada Gambar 13 menunjukkan bahwa kinerja Rx-ML adalah yang terbaik, diikuti selanjutnya oleh Rx-MMSE-SIC dan Rx- ZF-SIC. Secara eksponensial,

Rx-ML linear terhadap jumlah antenna yang digunakan sedangkan bagi Rx-MMSE-SIC dan Rx- ZF-SIC masih senantiasa terpengaruh dengan interferensi cancellation. Ketiga skenario di atas menggunakan orde modulasi 2.



Gambar 14. Kinerja BER Rx-optimum ML versus Eb/No terhadap penggunaan order modulasi QPSK yang digunakan

Pada kurva Gambar 14 menunjukkan kinerja BER Rx-optimum ML versus Eb/No terhadap penggunaan variasi modulasi orde QPSK yang digunakan. Terdapat 3 jenis modulasi orde yang diperbandingkan yaitu orde 1, orde 2, dan orde 3. Hasil menunjukkan level orde 1 menunjukkan kestabilan dengan level BER yang kecil linear terhadap besaran Eb/No. Sedangkan pada Gambar 6 menunjukkan kinerja BER Rx-optimum ML versus Eb/No terhadap penggunaan jumlah antenna penerima (MxN). Melalui teknik spatial multiplexing ini menunjukkan bahwa MIMO dengan tingkat MxN yang lebih banyak menunjukkan level BER yang kecil dibandingkan SISO, namun keduanya tetap stabil dalam pelaksanaan sinkronisasi *Carrier Frequency Offset* (CFO), sebagaimana yang diuraikan sebelumnya.

## BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

- Teknik sinkronisasi *Carrier Frequency Offset* (CFO) menggunakan metode multiplexing spasial operasi SISO dan MIMO dapat dilakukan.
- kinerja BER Rx-optimum Maximum-Likelihood (ML) versus  $E_b/N_0$  terhadap penggunaan jumlah antena penerima (MxN) menunjukkan bahwa MIMO dengan tingkat MxN yang lebih banyak menunjukkan level BER yang kecil dibandingkan SISO, namun keduanya tetap stabil dalam pelaksanaan sinkronisasi CFO.

### 6.2 Saran

- a. Dapat dilakukan penelitian lanjutan tentang konsep tunability pada struktur MIMO sehingga kompleksitas algoritma makin mudah bagi konsep noise dan interferensi cancellation.
- b. Pemodelan ini membutuhkan unit computer dan stabilitas RAM baik dan dilengkapi dengan build ini MATLAB software yang terupdate.



## DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_ HCDC: High capacity digital communications laboratory, University of Alberta. History of MIMO. [Akses Online, 12 Februari 2021]: <http://www.ece.ualberta.ca/~hcdc/mimohistory.html>
- Gupta, B., dan Saini, D. S (2011). BER analysis of space-frequency block coded MIMO-OFDM systems using different equalizers in quasi-static mobile radio channel. Prosiding IEEE *International Conference on Communication Systems and Network Technologies*, hal. pp. 520-524.
- Ian F.Akyildiz, David M. Gutierrez-Estevez, dan Elias Chavarria Reyes (2010). The evolution to 4G cellular systems: LTE-Advanced. *Physical Communication Journal*, Vol. 3, Issue 4, hal. 217-244.
- Ji, H.S. Park, J. Yeo, Y. Kim, J. Lee dan B. Shim (2018). Ultra-Reliable and Low-Latency Communications in 5G Downlink: Physical Layer Aspects, *IEEE Wireless Communications Journal*, vol. 25, no. 3, hal. 124-130, doi: 10.1109/MWC.2018.1700294.
- Kuai, Xiaoyan, dkk (2019). Structured Turbo Compressed Sensing for Downlink Massive MIMO-OFDM Channel Estimation. *IEEE Transactions on Wireless Communications* 18.8, hal 3813-3826.
- Singh, Arun Kumar, Neelam Srivastava, dan Saurabh Dixit (2020). Optimizing Resource Allocation of MIMO-OFDM in 4G and Beyond Systems. *Advances in VLSI, Communication, and Signal Processing*. Springer, Singapore. Hal 241-249.
- Sirmayanti. S dan Lidemar Halide (2016)**. Pemodelan Single-Input Single-Output (SISO) Berbasis OFDM-Cooperative. *Jurnal Elekrika Jurusan Teknik Elektro PNUP*. Vol. 2 Edisi November 2016, hal. 34-40.
- Sirmayanti. S dan Ichsan Mahjud (2017)**. Spectrum Analysis with Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Input Signal. Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika, hal. 252-257, ISBN. 978-602-18168-2-0 SNTEI2017\_TEL02, November 2017.
- Sirmayanti. S dan Ichsan Mahjud (2019)**. Optimalisasi Operasi Mimo Dengan Teknik Spatial Multiplexing Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M 2019) PNUP, hal.103-108, ISBN. 978-602-60766-7-0, November 2019.
- Sklar, B. (2002) *Digital Communications: Fundamentals and Applications 2/E*, Prentice Hall.
- Tarokh V., Seshadri N., dan Calderbank A. R (1998). Space-time codes for high data rate wireless communication: Performance criterion and code construction. *IEEE Transactions on Information Theory*, Vol. 44(2), hal. 744–765.
- Tsoulos, G, Ed (2018). *MIMO System Technology for Wireless Communications*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Zarrinkoub Housman (2014). *Understanding LTE with MATLAB*. John Wiley & Son. UK.

# **LAMPIRAN-LAMPIRAN**

## Lampiran Pemodelan:

Source: CFO\_spatialMux\_v1.m

```
%%Teknik Sinkronisasi Carrier Frequency Offset (CFO) dalam System OFDM
%%untuk Opimasi Implementasi Frequency Sharing 5G
%%team work: Ichsan, Mimsyad, Sirma (2021)

%%keywords:
%%Standar LTE Physical Layer (PHY)
%%Spatial Mux
%%CFO
%%sharingFreq

%%Created: @SIRMA 02April2019
%%Updated: 2May2019
%%version1: 15June2019
%%Modified version1: 6June2021
%%Modified version2: 29July2021
%%File:CFO_spatialMux_v1 .... version will change
%%Create a local random stream to be used by random number generators for
% repeatability.
%%Input sinyal: sin continoustant and not OFDM performance

%% Simulation

% close all
% clc
% clear all

% We start by defining some common simulation parameters
N = 3;          % 2: Number of transmit antennas
M = 3;          % 2: Number of receive antennas
EbNoVec = 2:3:8; % Eb/No in dB
modOrd = 2;     % constellation size = 2^modOrd

%%
% and set up the simulation.

% Create a local random stream to be used by random number generators for
% repeatability.
hStr = RandStream('mt19937ar');

% Create PSK modulator and demodulator System objects
hMod = comm.PSKModulator(...
    'ModulationOrder', 2^modOrd, ...
    'PhaseOffset',    0, ...
    'BitInput',       true);
hDemod = comm.PSKDemodulator( ...
    'ModulationOrder', 2^modOrd, ...
    'PhaseOffset',    0, ...
    'BitOutput',      true);
```

```

% Create error rate calculation System objects for 3 different receivers
hZFBERCalc = comm.ErrorRate;
hMMSEBERCalc = comm.ErrorRate;
hMLBERCalc = comm.ErrorRate;

% Get all bit and symbol combinations for ML receiver
allBits = de2bi(0:2^(modOrd*N)-1, 'left-msb');
allTxSig = reshape(step(hMod, allBits(:)), N, 2^(modOrd*N));

% Pre-allocate variables to store BER results for speed
[BER_ZF, BER_MMSE, BER_ML] = deal(zeros(length(EbNoVec), 3));

%%
% The simulation loop below simultaneously evaluates the BER performance of
% the three receiver schemes for each Eb/No value using the same data and
% channel realization. A short range of Eb/No values are used for
% simulation purposes. Results for a larger range, using the same code, are
% presented later.

% Set up a figure for visualizing BER results
h = gcf; grid on; hold on;
set(gca, 'yscale', 'log', 'xlim', [EbNoVec(1)-0.01, EbNoVec(end)], 'ylim', [1e-3 1]);
xlabel('Eb/No (dB)'); ylabel('BER'); set(h, 'NumberTitle', 'off');
set(h, 'renderer', 'zbuffer'); set(h, 'Name', 'Spatial Multiplexing');
title('2x2 Uncoded QPSK System');

% Loop over selected EbNo points
for idx = 1:length(EbNoVec)
    % Reset error rate calculation System objects
    reset(hZFBERCalc); reset(hMMSEBERCalc); reset(hMLBERCalc);

    % Calculate SNR from EbNo
    snrIndB = EbNoVec(idx) + 10*log10(modOrd);
    snrLinear = 10^(0.1*snrIndB);

    while (BER_ZF(idx, 3) < 1e5) && ((BER_MMSE(idx, 2) < 100) || ...
        (BER_ZF(idx, 2) < 100) || (BER_ML(idx, 2) < 100))
        % Create random bit vector to modulate
        msg = randi(hStr, [0 1], [N*modOrd, 1]);

        % Modulate data
        txSig = step(hMod, msg);

        % Flat Rayleigh fading channel with independent links
        rayleighChan = (randn(hStr, M, N) + 1i*randn(hStr, M, N))/sqrt(2);

        % Add noise to faded data
        rxSig = awgn(rayleighChan*txSig, snrIndB, 0, hStr);

        % ZF-SIC receiver
        r = rxSig; H = rayleighChan; % Assume perfect channel estimation
        % Initialization
        estZF = zeros(N*modOrd, 1); orderVec = 1:N; k = N+1;
        % Start ZF nulling loop

```

```

for n = 1:N
    % Shrink H to remove the effect of the last decoded symbol
    H = H(:, [1:k-1,k+1:end]);
    % Shrink order vector correspondingly
    orderVec = orderVec(1, [1:k-1,k+1:end]);
    % Select the next symbol to be decoded
    G = (H'*H) \ eye(N-n+1); % Same as inv(H'*H), but faster
    [~, k] = min(diag(G)); symNum = orderVec(k);

    % Hard decode the selected symbol
    decBits = step(hDemod, G(k,:) * H' * r);
    estZF(modOrd * (symNum-1) + (1:modOrd)) = decBits;

    % Subtract the effect of the last decoded symbol from r
    if n < N;
        r = r - H(:, k) * step(hMod, decBits);
    end
end

% MMSE-SIC receiver
r = rxSig; H = rayleighChan;
% Initialization
estMMSE = zeros(N*modOrd, 1); orderVec = 1:N; k = N+1;
% Start MMSE nulling loop
for n = 1:N
    H = H(:, [1:k-1,k+1:end]);
    orderVec = orderVec(1, [1:k-1,k+1:end]);
    % Order algorithm (matrix G calculation) is the only difference
    % with the ZF-SIC receiver
    G = (H'*H + ((N-n+1)/snrLinear)*eye(N-n+1)) \ eye(N-n+1);
    [~, k] = min(diag(G)); symNum = orderVec(k);

    decBits = step(hDemod, G(k,:) * H' * r);
    estMMSE(modOrd * (symNum-1) + (1:modOrd)) = decBits;

    if n < N
        r = r - H(:, k) * step(hMod, decBits);
    end
end

% ML receiver
r = rxSig; H = rayleighChan;
[~, k] = min(sum(abs(repmat(r,[1,2^(modOrd*N)])) - H*allTxSig).^2));
estML = allBits(:,k);

% Update BER
BER_ZF( idx, :) = step(hZFBERCalc, msg, estZF);
BER_MMSE(idx, :) = step(hMMSEBERCalc, msg, estMMSE);
BER_ML( idx, :) = step(hMLBERCalc, msg, estML);
end

% Plot results
semilogy(EbNoVec(1:idx), BER_ZF( 1:idx, 1), 'ko', ...
    EbNoVec(1:idx), BER_MMSE(1:idx, 1), 'r*', ...
    EbNoVec(1:idx), BER_ML( 1:idx, 1), 'ms');

```

```

legend('ZF-SIC', 'MMSE-SIC', 'ML');
drawnow;
end

% Draw the lines
semilogy(EbNoVec, BER_ZF( :, 1), 'k-', ...
         EbNoVec, BER_MMSE(:, 1), 'k-', ...
         EbNoVec, BER_ML( :, 1), 'm-');
hold off;

%%
% We observe that the ML receiver is the best in performance followed by
% the MMSE-SIC and ZF-SIC receivers, as also seen in [ <#6 4> ]. In terms
% of receiver complexity, ML grows exponentially with the number of
% transmit antennas while the ZF-SIC and MMSE-SIC are linear receivers
% combined with successive interference cancellation.
%
% Simulation results comparing the three schemes for a larger range of
% Eb/No values are displayed next. These curves allow you to gauge the
% diversity order attained from the slope of the BER curve.

openfig('spatMuxResults.fig')

% 2000, pp. 1072-76.

displayEndOfDemoMessage(mfilename)

```



B. 103

## LAPORAN KARYA ILMIAH HASIL PENELITIAN PERIODE 2019-2022

1. Operasi Adaptive MIMO Melalui Teknik Spatial Multiplexing Bagi Standar LTE Physical Layer (PHY) (2019)  
Penulis: Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM. / Ir. Ichsan Mahjud, M.T
2. Optimasi Distorsi Cancellation Spectrum Mask Pada Infrastruktur Multicarrier Broadband 5G, Tahun-1 (2020)  
Penulis: Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM. / Dr. Eng., Ir. Dewiani, M.T., IPM. / Lidemar Halide, S.T., M.T
3. Optimasi Distorsi Cancellation Spectrum Mask Pada Infrastruktur Multicarrier Broadband 5G, Tahun-2 (2021)  
Penulis: Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM. / Dr. Eng., Ir. Dewiani, M.T., IPM. / Lidemar Halide, S.T., M.T
4. Teknik Sinkronisasi Carrier Frequency Offset (CFO) Dalam System OFDM Untuk Opimasi Implementasi Frequency Sharing 5G (2021)  
Penulis: Ir. Ichsan Mahjud, M.T. / Muhammad Mimsyad, S.T., M.Eng., Ph.D / Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
5. Analisis Best Practice Remote Lab Dalam Pengajaran Mata Kuliah Praktikum Vokasi (2021)  
Penulis: Muhammad Mimsyad, S.T., M.Eng., Ph.D. / Ir. Ichsan Mahjud, M.T. / Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
6. Pengembangan Theories-In-Action Pada Mata Kuliah Kode-3 Pendidikan Vokasi (2022)  
Penulis: Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM. / Muhammad Mimsyad, S.T., M.Eng., Ph.D. / Ir. Ichsan Mahjud, M.T.
7. Disain Dan Realisasi Bandpass Filter (BPF) Berbasis Substrate-Integrated Waveguide (SIW) Pada Frekuensi L-Band Untuk Aplikasi Coastal Radar (2022)  
Penulis: Muhammad Mimsyad, S.T., M.Eng., Ph.D. / Ir. Abdullah Bazergan, M.T. / Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.



**UPT PERPUSTAKAAN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
2022**

BIBIE  
NDANG



B.103

SIRMAYANTI, DKK

LAPORAN KARYA ILMIAH HASIL PEN

B.103

# LAPORAN KARYA ILMIAH HASIL PENELITIAN PERIODE 2019-2022

1. Operasi Adaptive MIMO Melalui Teknik Spatial Multiplexing Bagi Standar LTE Physical Layer (PHY) (2019)  
Penulis: Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM. / Ir. Ichsan Mahjud, M.T
2. Optimasi Distorsi Cancellation Spectrum Mask Pada Infrastruktur Multicarrier Broadband 5G, Tahun-1 (2020)  
Penulis: Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM. / Dr. Eng., Ir. Dewiani, M.T., IPM. / Lidemar Halide, S.T., M.T
3. Optimasi Distorsi Cancellation Spectrum Mask Pada Infrastruktur Multicarrier Broadband 5G, Tahun-2 (2021)  
Penulis: Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM. / Dr. Eng., Ir. Dewiani, M.T., IPM. / Lidemar Halide, S.T., M.T
4. Teknik Sinkronisasi Carrier Frequency Offset (CFO) Dalam System OFDM Untuk Opimasi Implementasi Frequency Sharing 5G (2021)  
Penulis: Ir. Ichsan Mahjud, M.T. / Muhammad Mimsyad, S.T., M.Eng., Ph.D / Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
5. Analisis Best Practice Remote Lab Dalam Pengajaran Mata Kuliah Praktikum Vokasi (2021)  
Penulis: Muhammad Mimsyad, S.T., M.Eng., Ph.D. / Ir. Ichsan Mahjud, M.T. / Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.
6. Pengembangan Theories-In-Action Pada Mata Kuliah Kode-3 Pendidikan Vokasi (2022)  
Penulis: Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM. / Muhammad Mimsyad, S.T., M.Eng., Ph.D. / Ir. Ichsan Mahjud, M.T.
7. Disain Dan Realisasi Bandpass Filter (BPF) Berbasis Substrate-Integrated Waveguide (SIW) Pada Frekuensi L-Band Untuk Aplikasi Coastal Radar (2022)  
Penulis: Muhammad Mimsyad, S.T., M.Eng., Ph.D. / Ir. Abdullah Bazergan, M.T. / Ir. Sirmayanti, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM.

PERPUSTAKAAN B.J. HABIBIE  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

KI:TT19  
SIR  
o  
C.1



UPT PERPUSTAKAAN  
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG  
2022

PERIODE 2019-2022



**LEMBAR**

**HASIL PENILAIAN SEJAWAT SEBIDANG ATAU PEER REVIEW**

**KARYA ILMIAH : HASIL PENELITIAN ATAU HASIL PEMIKIRAN YANG TIDAK DIPUBLIKASIKAN (TERSIMPAN DI PERPUSTAKAAN PERGURUAN TINGGI)\***

Judul Artikel : Teknik Sinkronisasi Carrier Frequency Offset (CFO) dalam system OFDM untuk optimasi implementasi frequency sharing 5G

Jumlah Penulis : 3 (tiga) orang  
 Status Pengusul : ~~penulis pertama~~/Penulis kedua/~~penulis korespondensi~~/penulis anggota \*\*

Identitas Artikel : a. Nama Seminar :  
 b. Nomor ISSN :  
 c. Waktu Penyelenggaraan :  
 d. Penerbit/Penyelenggara : Perpustakaan PNUP  
 e. Tanggal Publikasi : Desember 2021  
 f. DOI artikel (jika ada) :  
 g. Alamat web jurnal :  
 h. Keterangan (opsional) : LAPORAN PENELITIAN PENELITIAN TERAPAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI 2021

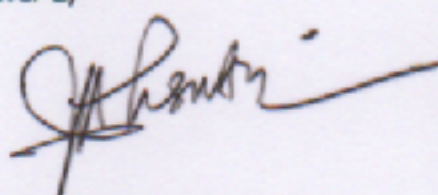
Hasil Penilaian *Peer Review* :

Komponen Yang Dinilai	Nilai Maksimal Artikel			Nilai Akhir Yang Diperoleh
	Internasional /Internasional bereputasi** <input type="checkbox"/>	Nasional Terakreditasi <input type="checkbox"/>	Nasional *** <input type="checkbox"/>	
a. Kelengkapan unsur isi artikel (10%)				10
b. Ruang lingkup dan kedalaman pembahasan (30%)				27
c. Kecukupan dan kemutakhiran data/informasi dan metodologi (30%)				30
d. Kelengkapan unsur dan kualitas terbitan/jurnal (30%)				27
<b>Total = (100%)</b>				
<b>Nilai Pengusul = <math>40\% \times \frac{1}{2} \times 96 =</math></b>				<b>96</b>

**Catatan Reviewer :**

Isi pada bagian pembahasan teknik sinkronisasi CFO sangat sesuai dengan bidang ilmu B3 SIRMA.

Makassar, 21 April 2022  
 Reviewer 2,



**Dr. Ir. Satriani Said Akhmad, M.T.**  
 NIP. 19670904 199303 2 001  
 Unit kerja : Jurusan Teknik Elektro PNUP

\*Dinilai oleh dua Reviewer secara terpisah  
 \*\*coret yang tidak perlu  
 \*\*\*nasional/terindeks di DOAJ, CABI, Copernicus