

Nama Rumpun Ilmu: Teknik Telekomunikasi

**LAPORAN AKHIR**  
**PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI**  
**(FUNDAMENTAL)**



**Operasi Adaptive MIMO melalui Teknik Spatial  
Multiplexing bagi Standar LTE Physical Layer (PHY)**

**TIM PENELITI**

Sirmayanti, S.T., M.Eng, P.hD / 0030037902

(Ketua)

Ir. Ichsan Mahjud, M.T / 0013026407

(Anggota)

Dibiayai oleh DIPA Politeknik Negeri Ujung Pandang,  
Sesuai dengan Surat perjanjian Pelaksanaan Penelitian  
Nomor: 020/PL10.13/PL/2019 Tanggal: 1 April 2019

**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO**  
**PROGRAM STUDI D4 TEKNOLOGI REKAYASA JARINGAN TELEKOMUNIKASI**  
**POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG**  
**NOVEMBER, 2019**



**HALAMAN PENGESAHAN  
PENELITIAN FUNDAMENTAL**

**Judul Penelitian** : **Operasi Adaptive MIMO melalui Teknik Spatial Multiplexing  
bagi Standar LTE Physical Layer (PHY)**

**Kode>Nama Rumpun Ilmu** : 453 / Teknik Telekomunikasi

**Ketua Peneliti:**

a. Nama Lengkap : Sirmayanti, S.T., M.Eng., P.hD  
b. NIDN : 0030037902  
c. Jabatan Fungsional : Lektor  
d. Program Studi : D4 Teknologi Rekayasa Jaringan Telekomunikasi (D4 TRJT)  
e. Nomor HP : (+62) 082 291 298 633  
f. Alamat surel (e-mail) : sirma\_yanti@yahoo.com

**Anggota Peneliti (1)**

a. Nama Lengkap : Ir. Ichsan Mahjud, M.T  
b. NIDN : 0013026407  
c. Perguruan Tinggi : Politeknik Negeri Ujung Pandang

**Lama Penelitian** : 8 bulan

**Biaya Penelitian** : Rp. 8.500.000,-

Makassar. 24 November 2019

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro,

**Dr. Ir. Hafsah Nirwana, M.T**

NIP. 19640405 199003 2 002

Ketua Peneliti,

**Sirmayanti, S.T., M.Eng., P.hD**

NIP. 19790330 200112 2001

Mengetahui,

Rektor, Direktur I PNUP,

**Ahmad Zubair Sultan, S.T., M.T., Ph.D**

NIP. 19740423 199903 1 002

Menyetujui,

Ka. P3M PNUP,

**I. Suryanto, M.Sc., Ph.D**

NIP. 195908261988031002

## RINGKASAN

*Multi-Input Multi-Output* (MIMO) mengaplikasikan penggunaan beberapa antenna pada sisi pemancar serta sisi penerima, dan teknik ini sangat penting untuk mencapai peningkatan kapasitas keseluruhan sistem komunikasi nirkabel. Metode *spatial multiplexing* dalam operasi MIMO adalah pembagian *bit stream* menjadi *multi sub-streams*, atau lebih dikenal dengan konsep transmisi informasi independen dari masing-masing antenna dengan dampak *interference reduction* disetiap proses transceiver. Dalam mencapai efisiensi spectral yang tinggi, performansi MIMO sangat dipengaruhi oleh kombinasi jumlah antena pada pengirim dan penerima dan juga metode/algoritma deteksi MIMO yang digunakan.

Penelitian ini telah bertujuan untuk melaksanakan kajian dan ujicoba aplikasi sistem MIMO berdasarkan standar LTE di lapisan fisik, *LTE Physical Layer* (PHY). Metode yang digunakan adalah melibatkan seluruh processing dalam bit data hingga sampai ke PHY dengan menggunakan operasional *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) penuh, terutama melalui operasi *layer mapping* and *pre-coding*.

Urgensi penelitian adalah untuk pengembangan standar aplikasi LTE pada 5G sebagai representatif dari transformasi evolusi pada teknologi mobile seluler. Selain itu saat ini standar LTE 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.

*Kata kunci: MIMO, spatial multiplexing, LTE, OFDM, PHY.*

## PRAKATA

*Bismillahirrahmaanirrahim.*

Dengan memanjatkan puji syukur atas limpahan segala rahmat kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas anugrahNya dan hidayahNya sehingga penelitian dengan judul ” **Operasi Adaptive MIMO melalui Teknik Spatial Multiplexing bagi Standar LTE Physical Layer (PHY)**” 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, November 2019

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>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Permasalahan yang telah diteliti	1
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>3</b>
2.1 4G LTE	3
2.2 Arsitektur LTE	4
2.3 Teknik Multiplexing	6
2.4 Antena MIMO	8
2.5 Studi pendahuluan yang pernah dilakukan	10
<b>BAB 3. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN</b>	<b>12</b>
3.1 Tujuan Penelitian	12
3.2 Manfaat Penelitian	12
<b>BAB 4. METODE PENELITIAN</b>	<b>13</b>
4.1 Lokasi dan waktu penelitian	13
4.2 Tahapan penelitian	13
<b>BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI</b>	<b>16</b>
<b>BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>19</b>
6.1 Kesimpulan Hasil	19
6.2 Saran	19
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>20</b>

# BAB I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Teknologi komunikasi wireless yang ada saat ini adalah dalam aplikasi teknologi seluler Generasi 4 (4G) walaupun Generasi 5 (5G) kini sudah dipersiapkan implementasinya pada beberapa tahun ke depan. *The 3rd Generation Partnership Project Long Term Evolution* atau 3GPP LTE adalah standar akses data komunikasi nirkabel berkecepatan tinggi dalam teknologi 4G dengan berbasis jaringan GSM/EDGE dan UMTS/HSPA untuk ponsel seluler dan pada perangkat komunikasi mobile lain. LTE memiliki kecepatan unduh hingga 300 Mbps dan unggah hingga 75 Mbps. LTE mulai dikembangkan oleh 3GPP sejak tahun 2004 menggunakan *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) yang mentransmisikan data melalui banyak operator spektrum radio.

Dalam uraian oleh *High Capacity Digital Communications Labs* bahwa teknologi *Multi-Input Multi-Output* (MIMO) telah dikenal sebagai teknik penting untuk mencapai peningkatan kapasitas keseluruhan sistem komunikasi nirkabel. Teknik ini mengaplikasikan penggunaan beberapa antenna pada sisi pemancar serta sisi penerima. Sementara itu teknik *spatial multiplexing* dalam sistem MIMO diwujudkan melalui konsep transmisi informasi independen dari masing-masing antenna, dan dengan melalui teknik ini dapat memberi keuntungan berupa *interference reduction* yakni pengurangan gangguan disetiap proses transceiver. Selain itu, melalui *spatial multiplexing*, maka sistem wireless MIMO akan mencapai efisiensi spectral yang tinggi setelah pembagian *bit stream* menjadi *multi sub-streams*.

## 1.2 Permasalahan yang telah diteliti

Performansi MIMO sendiri dipengaruhi oleh kombinasi jumlah antenna pada pengirim dan penerima dan juga metode/algorithm deteksi MIMO-nya, Tarokh (1998). Untuk bagian atas pada sistem MIMO merupakan kanal sedangkan pada bagian bawah merupakan bagian signal processing dan coding. Komponen RF berada pada kanal karena mempengaruhi *transfer function end-to-end*. Dengan mengetahui sistem MIMO

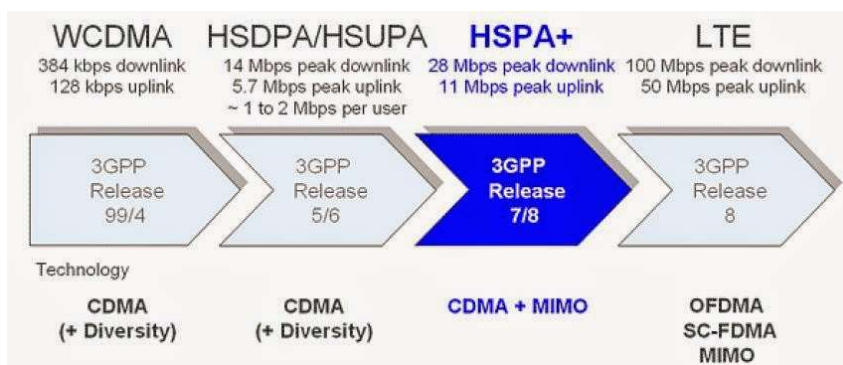
telah dijadikan sebagai rekomendasi untuk peningkatan efektivitas layanan dan keunggulan layanan komunikasi data dan seluler. Teknik *spatial multiplexing* telah diujicobakan melalui sistem MIMO berdasarkan standar LTE dengan operasi *layer mapping* and *pre-coding*, khususnya pada lapisan fisik (physical layer) yang melibatkan seluruh processing dalam bit data hingga sampai ke LTE *Physical Layer* (PHY).

## 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 GSM/EDGE dan 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 seluler. Perkembangan telekomunikasi menurut standar 3GPP terlihat seperti Gambar 1 berikut.



Gambar 1. Standar 3GPP LTE.

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 spectrum yang ditentukan. Hal ini juga merupakan tujuan desain dari LTE yaitu untuk meningkatkan efisiensi spectrum pada jaringan, yang memungkinkan operator untuk menyediakan lebih banyak paket data pada suatu bandwidth. Karakteristik perkembangan teknologi seluler menurut standar 3GPP (Ji, 2018) seperti yang dilihat pada Tabel 1 sebagai berikut:



Tabel 1. Karakteristik Perkembangan Teknologi Seluler.

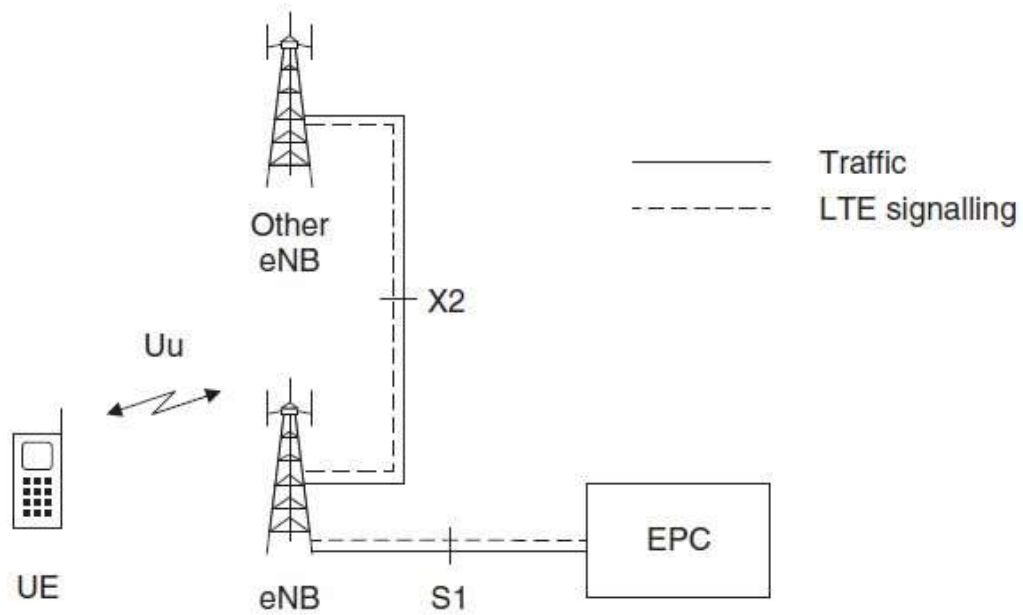
Spesifikasi	WCDMA (UMTS)	HSPA	HSPA+	LTE
Downlink Max Speed (bps)	384 K	14 M	28 M	100 M
Uplink Max Speed (bps)	128 K	5,7 M	11 M	5 M
Latency-RTT	150 ms	100 ms	50 ms	-10 ms
3GPP Release	Rel 99/4	Rel 5/6	Rel 7	Rel 8
Access Methodology	CDMA	CDMA	CDMA	OFMA/SC-FDMA

## 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

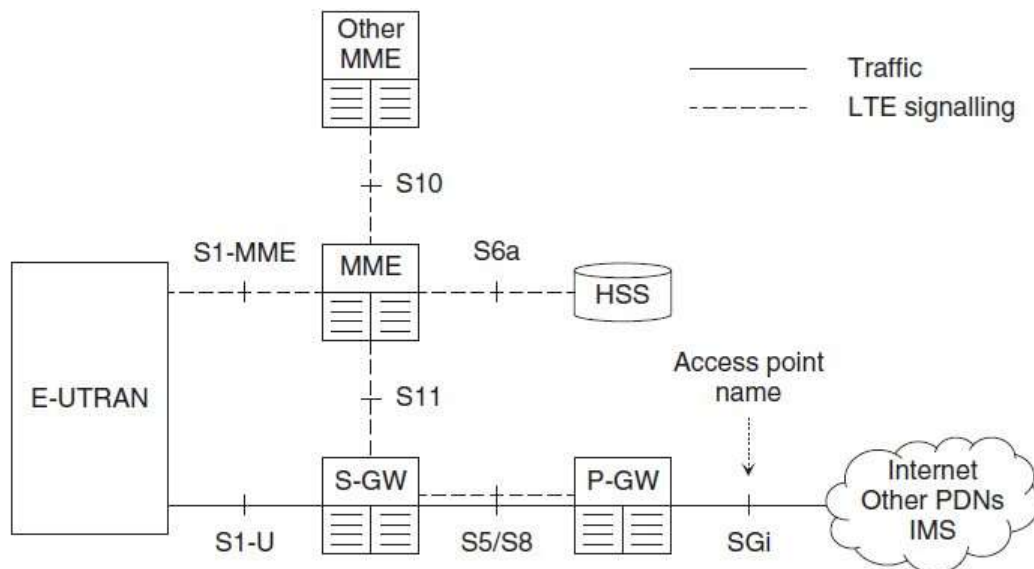
E-UTRAN atau *Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network* berfungsi untuk menghubungkan antara mobile dan *Evolved Packet Core* (EPC). E-UTRAN terdiri dari satu komponen yakni *evolved Node B* (eNB). Pada Gambar 2, jika kita melihat pada teknologi sebelumnya (3G), di bagian ini terdiri dari dua komponen 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.



Gambar 2. Arsitektur E-UTRAN.

### 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.

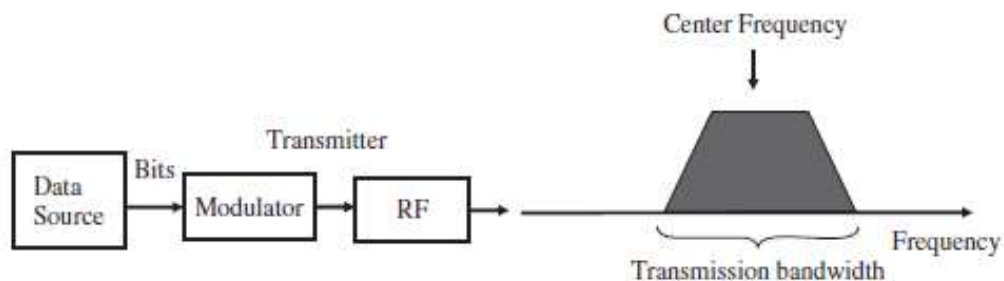


Gambar 3. Komponen EPC.

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.

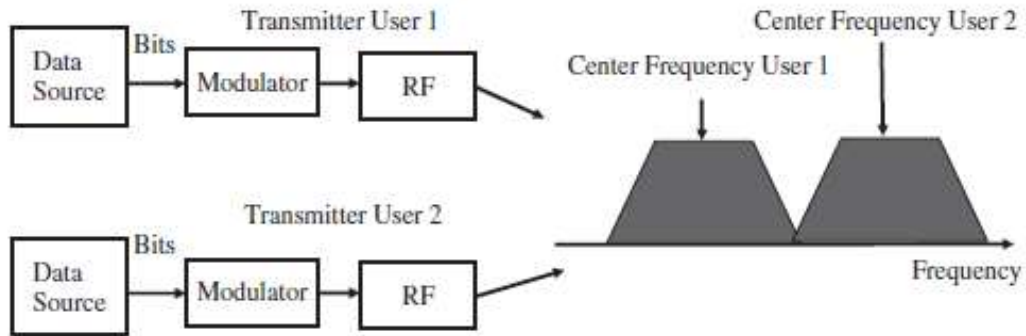
### 2.3. Teknik Multiplexing

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. 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.



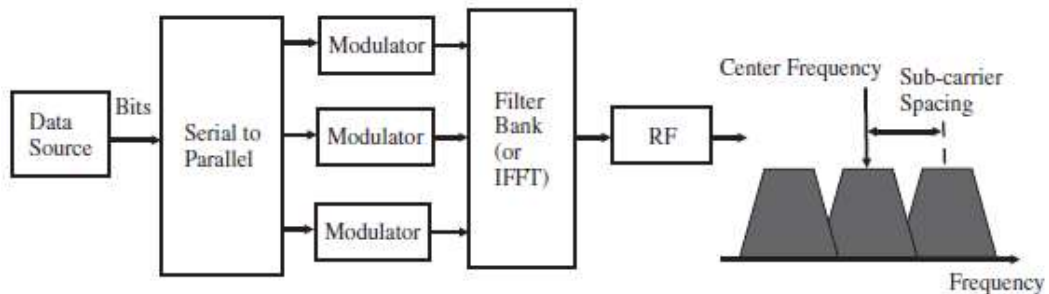
Gambar 4. SC-FDMA.

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.

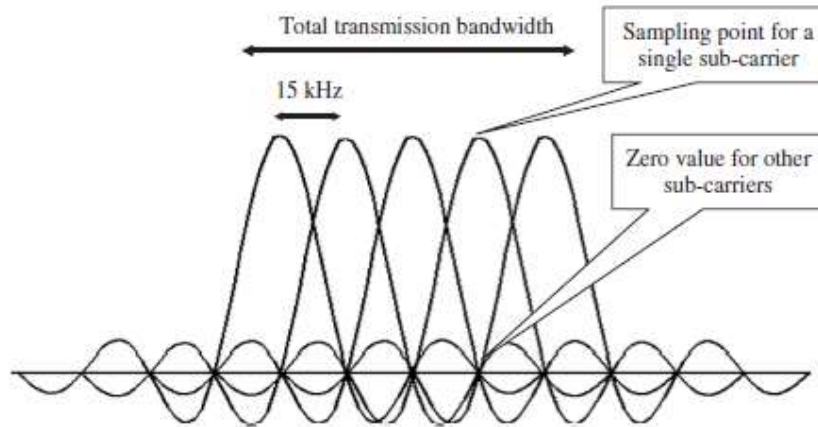
Penggunaan prinsip multi-carrier ditunjukkan pada Gambar 6, dimana data dibagi pada sub-carrier yang berbeda dari satu pemancar. Filter bank dipasang sebagai solusi praktisnya dan biasanya diganti dengan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) dimana jumlah subcarrier banyak.



Gambar 6. Prinsip Multicarrier.

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.

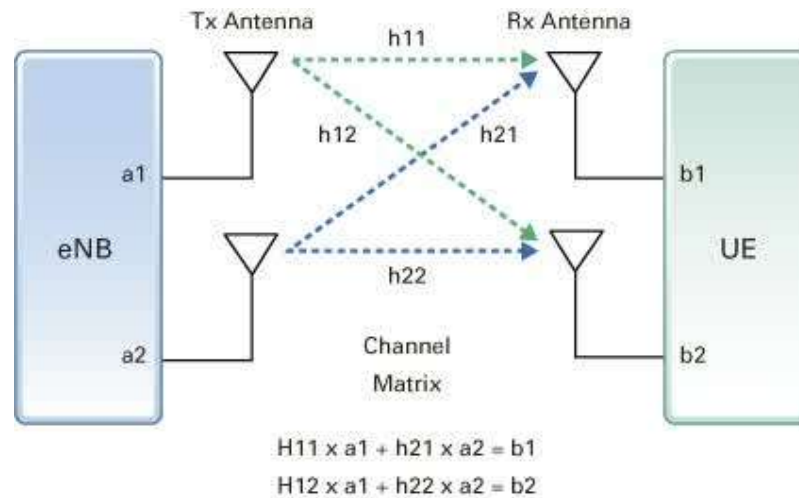
## 2.4 Antena MIMO

Sistem *multiple-input multiple-output* (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

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*

*Pre-coding* 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 antena 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 antena yang berbeda tetap menggunakan frekuensi yang sama. Jika sinyal yang datang pada receiver, pada beberapa antena 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.

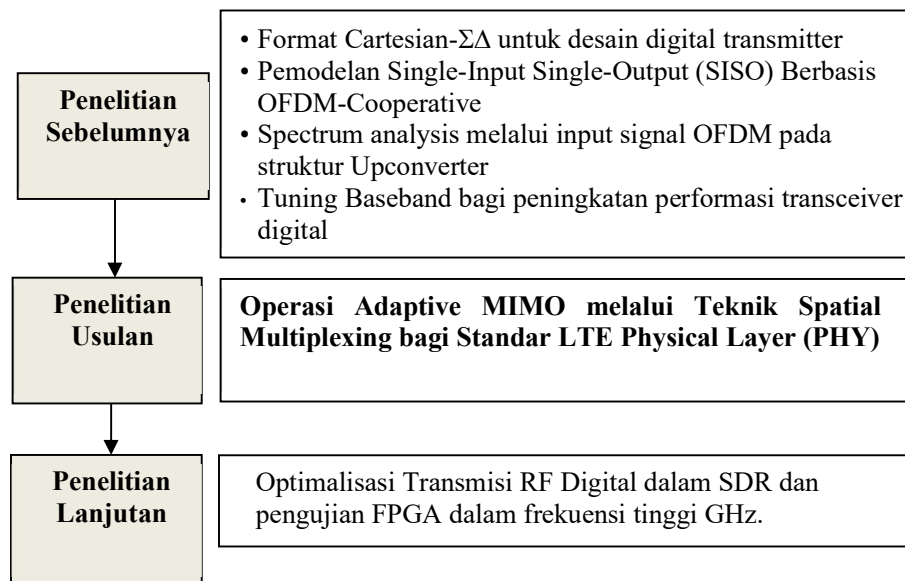
## 2.5 Studi pendahuluan yang pernah dilakukan

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 pemancar-penerima (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 maka perlu mempertimbangkan 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 pada hasil pengkajian 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 (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 ber-bandwidth besar seperti pada OFDM. Kelemahan OFDM adalah 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 bahwa 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.

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



*Gambar 9. Road map penelitian.*

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

### **3.1 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk:

- a. Mempelajari pemodelan operasi MIMO dengan teknik spatial multiplexing
- b. Mengkaji sistem standar MIMO sesuai dengan standar LTE *Physical Layer* (PHY)

### **3.2 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini 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.

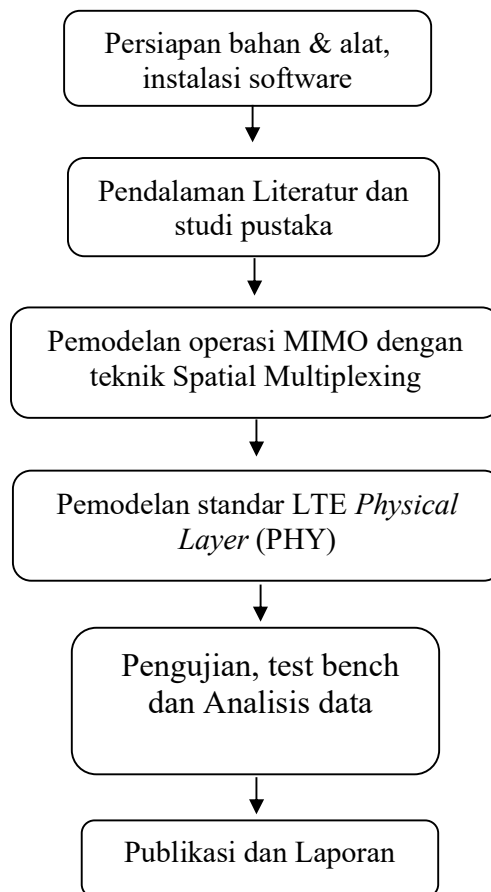
Hasil penelitian ini dapat bermanfaat pada pemodelan digitalisasi transmitter digital yang lebih optimal, terbaru dan diaplikasikan dalam sistem telekomunikasi wireless masa depan. Hasil penelitian ini akan memberikan sumbangan kontribusi ilmu pengetahuan berupa operasi MIMO, teknik *spatial multiplexing*, dan PHY.

## BAB III. METODE PENELITIAN

### 3.1 Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian telah dilaksanakan di Laboratorium Sistem Komunikasi dan Data (Siskomdat) Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang. Waktu pelaksanaan dilakukan selama 8 bulan (April – November) tahun 2019.

### 3.2 Tahapan penelitian



Gambar 10. Urutan pekerjaan pada usulan penelitian.

Penelitian ini telah dilaksanakan melalui percobaan simulasi menggunakan software Matlab. Proses pembangkitan sinyal dan pemodelan scenario sesuai pada Gambar 11 dilakukan keseluruhannya dengan software, hal ini mengingat untuk kemudahan melakukan simulasi dengan beragam variable input dibandingkan dengan pengukuran langsung menggunakan alat yang masih memiliki keterbatasan spesifikasi.



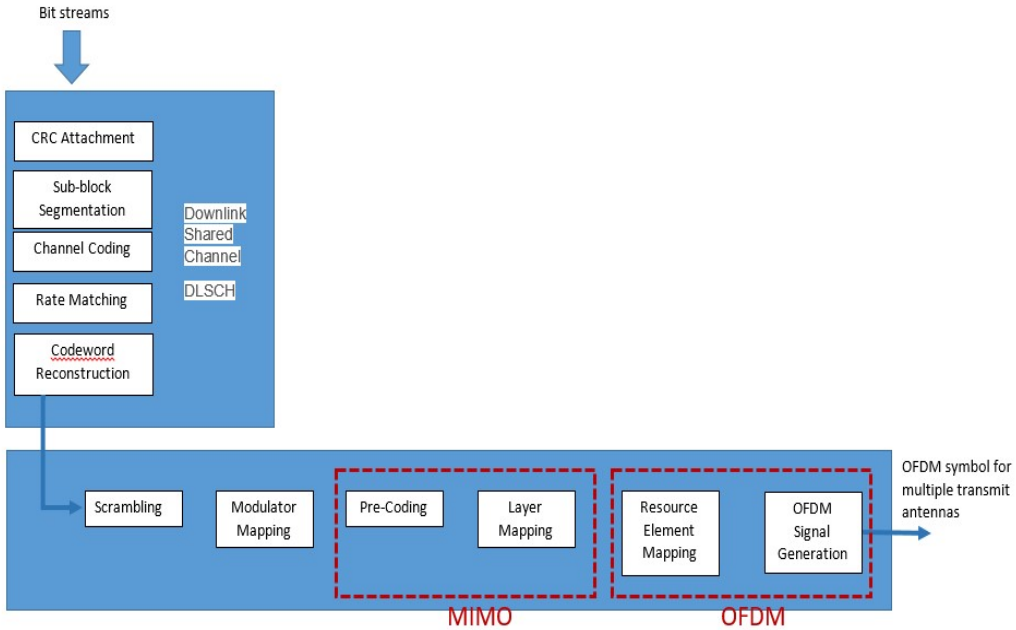
Spesifikasi input signal dan spectrum analyser yang dibutuhkan adalah mencapai pada frekuensi tinggi GHz, sementara peralatan di lab yang tersedia belum memadai. Kebutuhan software yang telah digunakan harus dilengkapi dengan beberapa Tool box seperti sistem DSP dan Communication tools. Urutan pengerjaan melalui Matlab telah dikerjakan melalui penulisan coding (Matlab Code) dan Mtlab Simulink.

Langkah-langkah kerja penelitian meliputi persiapan dan pengadaan bahan & alat, pengerjaan simulasi dan analisis data serta membuat laporan. Persiapan meliputi pengadaan bahan & alat dan pendalaman literature. Pengerjaan simulasi penulisan code pemograman dan simulasi pemodelan. Tahap akhir meliputi evaluasi dan laporan tertulis. Laporan ini dapat tertuang dlam bentuk draft tulisan karya ilmiah dan laporan penelitian. Adapun urutan pekerjaan dapat dilihat pada bagan Gambar 10.

Dalam tahapan simulasi pemodelannya, metode yang digunakan telah menggunakan analisis untuk pengkajian pada:

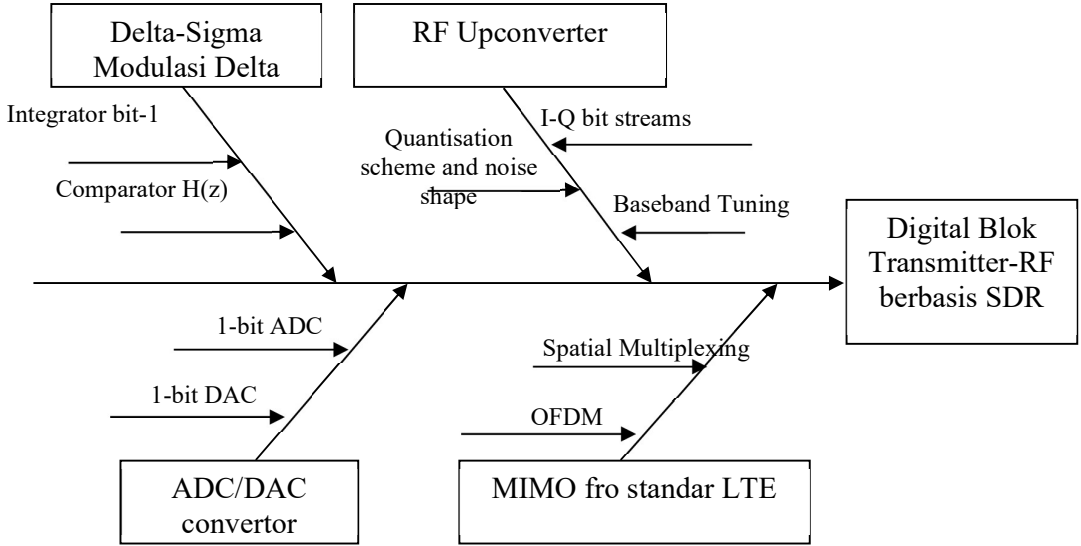
- ✓ Operasi MIMO dengan teknik spatial multiplexing
- ✓ Standar MIMO sesuai dengan standar LTE *Physical Layer* (PHY)

Sebagaimana yang diusulkan, metode penelitian ini berdasarkan blok dasar sistem MIMO pada standar PHY sebagaimana terlihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Skenario pemodelan Layer Fisik pada standar Transmitter LTE.

Skenario skema pemodelan Layer Fisik pada standar Transmitter LTE dikerjakan sesuai dengan *Fish Bone* pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Fishbone alur penelitian.

## BAB 5. HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

Skema multiplexing spasial operasi MIMO dilaksanakan dengan membagi aliran data menjadi sub-aliran yang bebas (independen), dimana masing-masing dihubungkan dengan satu untuk setiap antena pengirim yang digunakan. Konsep skema ini memberikan keuntungan multiplexing sehingga tidak memerlukan ortogonisasi eksplisit seperti yang diperlukan untuk pengkodean *space-time block coding*.

Teknik Multiplexing spasial juga membutuhkan teknik decoding yang kuat di penerima. Penelitian ini telah menggunakan sistem MIMO 2x2 dengan dua antena pengirim dan dua antena penerima. Pada data termodulasi QPSK, kami menggunakan input Rayleigh fading pada masing-masing Tx-Rx dan tetap saling independen. Di ujung penerima Rx, terdapat setting saluran tanpa umpan balik (feedback) ke pemancar, sehingga sistem multiplexing spasial ini disebut pula dengan system open-loop spasial.

Selain itu, dua parameter yang digunakan dalam perbandingan hasil skenario ini adalah *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 disebut Maximum-Likelihood (ML).

Berikut adalah alortima Matlab-code yang digunakan. Terlampir tampilan bahasa coding lengkap pada lampiran.

```
%%Operasi Adaptive MIMO melalui Teknik Spatial Multiplexing bagi
%%Standar LTE Physical Layer (PHY)
%%Created: @SIRMA 02April2019
%%Updated: 2May2019
%%Lastversion: 15June2019
%%File:LTE_PHY.m
%%Create a local random stream to be used by random number generators for
% repeatability.
%%Input sinyal: sin continoustant and not OFDM performance

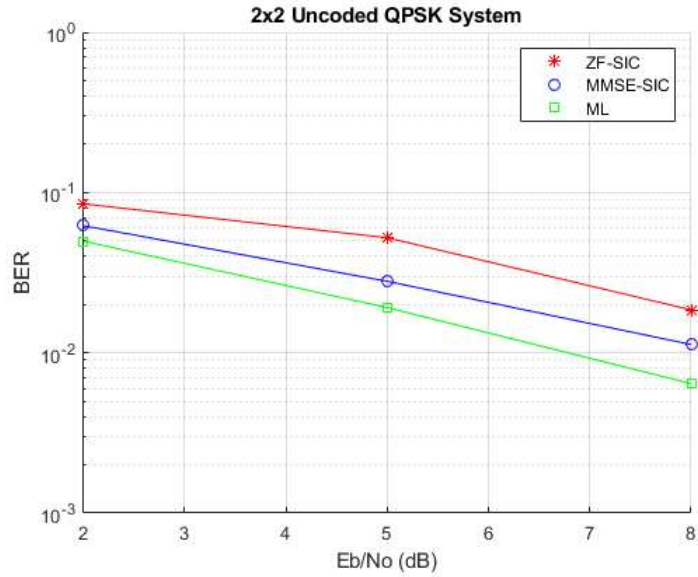
stream = RandStream('mt19937ar');

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

% Create error rate calculation System objects for 3 different receivers
zfBERCalc = comm.ErrorRate;
mmseBERCalc = comm.ErrorRate;
mlBERCalc = comm.ErrorRate;

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

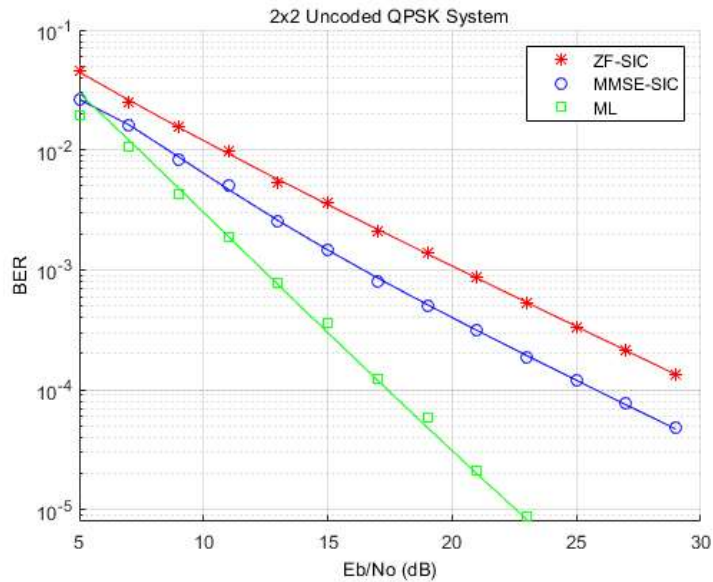
% Pre-allocate variables to store BER results for speed
[BER_ZF, BER_MMSE, BER_ML] = deal(zeros(length(EbNoVec), 3));
The simulation loop below simultaneously evaluates the BER performance of the three receiver schemes for each Eb/No value using the
same data and channel realization. A short range of Eb/No values are used for simulation purposes. Results for a larger range, using
the same code, are presented later.
```



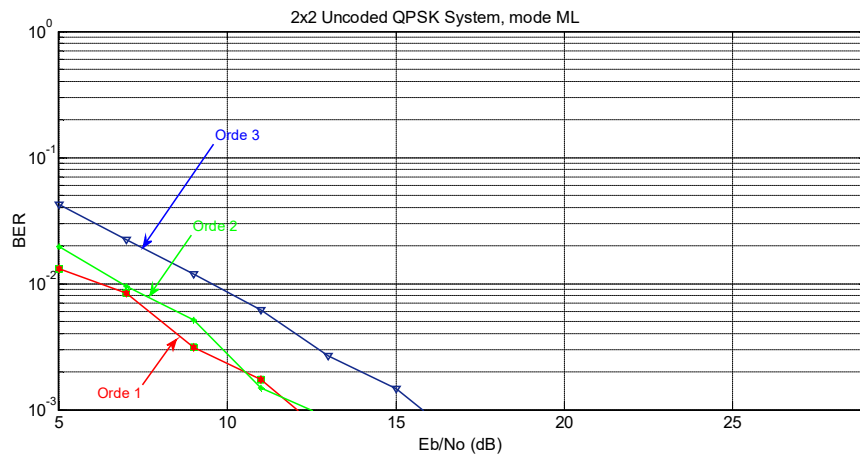
Gambar 13. Kinerja BER Rx dengan perbandingan tiga skenario

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 antena yang digunakan sedangkan bagi Rx-MMSE-SIC dan Rx- ZF-SIC masih senantiasa terpengaruh dengan interferensi cancellation.

Gambar 14 berikut adalah perbandingan kurva BER pada ketiga parameter diatas dengan terhadap nilai Eb/No. Pada kurva nampak menunjukkan peluang penggunaan antenna yang lebih besar baik atau tanpa *channel estimation*.

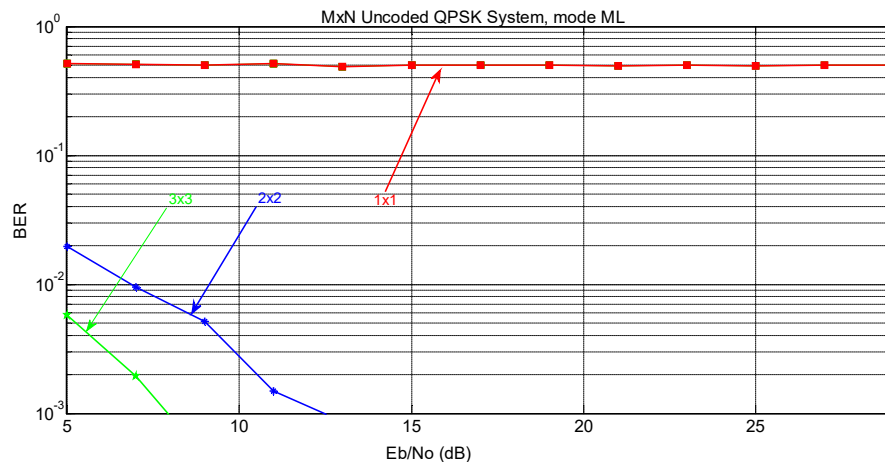


Gambar 14. Kinerja BER Rx versus Eb/No terhadap penggunaan jumlah anatena penerima.



Gambar 15. Kinerja BER Rx-optimum ML versus  $E_b/N_0$  terhadap penggunaan order modulasi QPSK yang digunakan

Gambar 15 dan Gambar 16 berikut adalah masing-masing perbandingan kurva BER pada optimasi ML dengan terhadap nilai  $E_b/N_0$ . Pada kurva Gambar 5 menunjukkan kinerja BER Rx-optimum ML versus  $E_b/N_0$  terhadap penggunaan 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  $E_b/N_0$ . Sedangkan pada Gambar 6 menunjukkan kinerja BER Rx-optimum ML versus  $E_b/N_0$  terhadap penggunaan jumlah antena penerima ( $M \times N$ ). Melalui teknik spatial multiplexing ini menunjukkan bahwa MIMO dengan tingkat  $M \times N$  yang lebih banyak menunjukkan level BER yang kecil dibandingkan SISO.



Gambar 16. Kinerja BER Rx-optimum ML versus  $E_b/N_0$  terhadap penggunaan jumlah antena  $M \times N$  ( $M$ -Tx Antenna,  $N$ -Rx Antenna).



## BAB 6. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1 Kesimpulan

- a. 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, performasi 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.
- b. Standar MIMO sesuai dengan standar LTE *Physical Layer* (PHY)  
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 *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (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.

### 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. <http://www.ece.ualberta.ca/~hcdc/mimohistory.html> [Akses Online, 12 Februari 2019].
- H. Ji, 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.
- 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.
- Sirmayanti**, S., Nuraeni Umar, Lidemar Halide, Sulaeman, (2016). Pemodelan Single-Input Single-Output (SISO) Berbasis OFDM-Cooperative. Jurnal ElektriKA Jurusan Teknik Elektro PNUP. Vol. 2 Edisi November 2016, hal. 34-40.
- Sirmayanti**, S., Farchia Ulfiah, dan Airin Dewi Utami Thamrin, (2017). Spectrum Analysis with Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) Input Signal. Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika. ISBN. 978-602-18168-2-0 SNTEI2017\_TEL02, hal. 252-257.
- 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.
- Zarrinkoub Houman. 2014. Understanding LTE with MATLAB. John Wiley & Son. UK.

# **LAMPIRAN-LAMPIRAN**

## Lampiran Pemodelan Operasi MIMO dengan teknik spatial multiplexing

```

%%Operasi Adaptive MIMO melalui Teknik Spatial Multiplexing bagi
%%Standar LTE Physical Layer (PHY)
%%Created: @SIMA 02April2019
%%Updated: 2May2019
%%Lastversion: 15June2019
%%File:LTE_PHY.m
%%DeltaMod-DSMod1
%%Create a local random stream to be used by random number generators for
%%repeatability.
%%Input sinyal: sin continuous and not OFDM performance

stream = RandStream('mc19937ar');
|
% Create PSK modulator and demodulator System objects
pskModulator = comm.PSKModulator(...
    'ModulationOrder', 2*modOrd, ...
    'PhaseOffset', 0, ...
    'BitInput', true);
pskDemodulator = comm.PSKDemodulator(...
    'ModulationOrder', 2*modOrd, ...
    'PhaseOffset', 0, ...
    'BitOutput', true);

% Create error rate calculation System objects for 3 different receivers
zfBERCalc = comm.ErrorRate;
mmseBERCalc = comm.ErrorRate;
mlBERCalc = comm.ErrorRate;

% Loop over selected EbNo points
for idx = 1:length(EbNoVec)
    % Reset error rate calculation System objects
    reset(zfBERCalc);
    reset(mmseBERCalc);
    reset(mlBERCalc);

    % Calculate SNR from EbNo for each independent transmission link
    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(stream, [0 1], [N*modOrd, 1]);

        % Modulate data
        txSig = pskModulator(msg);

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

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

% 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 = pskDemodulator(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) * pskModulator(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 = pskDemodulator(G(k,:)' * H' * r);
    estMMSE(modOrd * (symNum-1) + (1:modOrd)) = decBits;

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

```



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 : Operasi Adaptive MIMO melalui teknik spatial multiplexing bagi standar LTE Physical Layer (PHY)

Jumlah Penulis : 2 (dua) orang

Status Pengusul : **penulis pertama**/Penulis-kedua/penulis-korespondensi \*\*

Identitas Artikel : a. Nama Seminar :  
 b. Nomor ISSN :  
 c. Waktu Penyelenggaraan :  
 d. Penerbit/Penyelenggara : Perpustakaan PNUP  
 e. Tanggal Publikasi : Nov-19  
 f. DOI artikel (jika ada) :  
 g. Alamat web jurnal :  
 h. Keterangan (opsional) : LAPORAN AKHIR PENELITIAN DASAR UNGGULAN PERGURUAN TINGGI PNUP 2019

Hasil Penilaian Peer Review :

Komponen Yang Dinilai	Nilai Maksimal Artikel			Nilai Akhir Yang Diperoleh
	Internasional /Internasiona l bereputasi** <input type="checkbox"/>	Nasional Terakreditasi <input type="checkbox"/>	Nasional *** <input checked="" type="checkbox"/>	
a. Kelengkapan unsur isi artikel (10%)			10	10
b. Ruang lingkup dan kedalaman pembahasan (30%)			27	27
c. Kecukupan dan kemutahiran data/informasi dan metodologi (30%)			28	28
d. Kelengkapan unsur dan kualitas terbitan/jurnal (30%)			25	25
<b>Total = (100%)</b>			<b>90</b>	<b>90</b>
<b>Nilai Pengusul = <math>90 \times 60\% =</math></b>				

Catatan Reviewer :

Sesuai bidang keahlian.

Makassar, 2 Ags 2021  
 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



**LEMBAR**  
**HASIL PENILAIAN SEJAWAT SEBIDANG ATAU PEER REVIEW**  
**KARYA ILMIAH: LAPORAN PENELITIAN YANG TIDAK DIPUBLIKASIKAN\***

Judul laporan : Operasi Adaptive MIMO melalui Teknik Spatial Multiplexing bagi Standar LTE Physical Layer (PHY)

Penulis laporan : Sirmayanti, Ichsan Mahjud

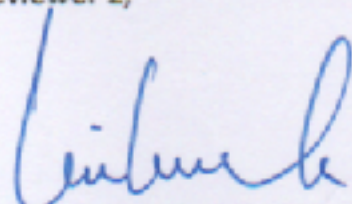
Identitas laporan : a. Tahun terbit : 2019  
 b. Penyandang Dana : DIPA PNUP  
 c. Jumlah halaman : 22 halaman

Hasil Penilaian Peer Review :

No.	Komponen yang dinilai	Nilai Maksimum Laporan Penelitian	Nilai yang diberikan penilai (NP)
a.	Kelengkapan unsur isi laporan (10%) (Mencakup prakata, daftar isi, bab/bagian, daftar Pustaka, lembar pengesahan, dan kelengkapan lain)	0,2	0,2
b.	Ruang lingkup dan kedalaman pembahasan (40%) (Memiliki relevansi dengan bidang keilmuan, melakukan analisis, eksplorasi, dan elaborasi terhadap masalah yang dibahas)	0,8	0,75
c.	Kecukupan dan kemuktahiran data/informasi dan metodologi (40%) (Mengungkap konsep dan mengkaji fenomena muktahir yang didukung data hasil penelitian, menggunakan kajian akademik ilmiah, bahasa yang mudah dipahami, serta didukung dengan pustaka yang relevan).	0,8	0,75
d.	Kebermanfaatan (10%) (Memberikan manfaat bagi kemajuan ilmu dan solusi bagi masalah yang dihadapi masyarakat)	0,2	0,15
Total = (100%)		2	1,85
Nilai Pengusul: <b>1,85</b>			
Catatan Penilai artikel oleh Reviewer: Isi laporan lengkap dan relevan dengan bidang penugasan pengusul, analisis dan pembahasan cukup. Metode dan Data hasil penelitian cukup muktahir. Masih terdapat pustaka rujukan yang sudah kadaluarsa (lebih dari 10 tahun saat laporan terbit).			

Makassar, 11 September 2021

Reviewer 2,



**lin Karmila Yusri, SST. MEng. PhD.**

NIP. 19760403 200212 2 001

Unit Kerja: Jurusan Teknik Elektro PNUP