

# Penerapan Algoritma SAGE pada Pengukuran Kanal Indoor Menggunakan SDR-USRP

Musayyanah\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya; Raya Kedung Baruk No.98,  
8721731/8710218.

e-mail: \*<sup>1</sup>musayyanah@stikom.edu

## Abstract

*Cooperative Wireless Communications forming MIMO array of virtual communication systems, which can improve the speed of data transmission, the speed is affected by channel conditions, that required the technique of channel analysis. The channel can be identified by knowing the characteristics of the physical parameters of the channel, like delay, angle, and amplitude complex. Detection of the physical parameters, from measurement of indoor or outdoor channel should use some methods with high accuracy, such as Space Alternate Generalized Expectation Maximization (SAGE). In this paper, we discuss the application of SAGE, to detect the angle parameters consists of Direction of Arrival (DoA) and the Direction of Departure (DoD), uses a communication device, Software Define Radio (SDR) such as Universal Software Radio Peripheral (USRP) that can detect three signals from measuring the indoor channel. The results of SAGE are compared with the results of Ray Tracing, where the average error for DoD detection was 36.3% while the DoA approximately 29.3%*

**Keywords**—SAGE, SDR, USRP, DoA, DoD, Kooperatif, MIMO, Ray Tracing

## Abstrak

*Komunikasi Kooperatif Nirkabel membentuk system komunikasi virtual array MIMO, yang dapat meningkatkan kecepatan pentransmisian data, kecepatan tersebut dipengaruhi oleh kondisikanal, oleh sebab itu dibutuhkan analisis kondisi kanal. Kondisi suatu kanal dapat diidentifikasi dengan mengetahui karakteristik parameter fisik kanal, yaitu delay, sudut, dan amplitude kompleks. Deteksi parameter fisik kanal dari pengukuran kanal indoor maupun outdoor menggunakan metode dengan tingkat akurasi tinggi, seperti Space Alternating Generalized EM (SAGE). Penelitian ini mengimplementasikan SAGE untuk mendeteksi parameter sudut yang terdiri dari Direction of Arrival (DoA) dan Direction of Departure (DoD) menggunakan perangkat komunikasi Software Define Radio (SDR), yaitu Universal Software Radio Peripheral (USRP) yang dapat mendeteksi tiga sinyal dari pengukuran kanal indoor. Hasil SAGE divalidasi terhadap hasil Ray Tracing, dimana rata-rata kesalahan untuk deteksi DoD adalah 36.3% sedangkan DoA sekitar 29.3 %.*

**Kata kunci**— SAGE, SDR, USRP, DoA, DoD, Kooperatif, MIMO, Ray Tracing

## 1. PENDAHULUAN

Proses komunikasi nirkabel yang menggunakan antena omnidireksional sebagai antena tunggal, memanfaatkan antena pengguna lain sebagai mitra, yang dikenal dengan Komunikasi Kooperatif. Komunikasi Kooperatif membentuk virtual array pada pemancar dan penerima, sehingga meskipun menggunakan satu antena, pengguna dapat melakukan komunikasi dengan laju data tinggi seperti sistem komunikasi pada *Multiple Input Multiple Output* (MIMO).

Pemodelan kanal kooperatif MIMO telah dilakukan oleh [1]. Analisis kanal kooperatif MIMO berkaitan dengan karakteristik kondisi kanal. Kondisi kanal tersebut dapat digambarkan

dari parameter fisik kanal seperti delay, sudut yang terdiri dari *Direction of Arrival* (DoA) dan *Direction of Departure* (DoD) , serta amplitudo kompleks.

Parameter kanal fisik didapatkan dari pengukuran kanal secara [2], yang menggunakan *Virtual Network Analyzer* (VNA) dan bentuk geometri antena array berbentuk kubus, proses pengolahan datanya dalam domain frekuensi. Pengukuran sintetis ini dianggap memiliki keterbatasan yaitu hanya bisa dilakukan pada lingkungan statis sehingga membutuhkan waktu yang lama. Selain itu, dibutuhkan suatu metode untuk mendapatkan parameter kanal fisik tersebut.

Salah satu metode yang digunakan untuk mendapatkan parameter fisik kanal adalah metode *Deterministic Parametric Estimation* (DPE) [3]. Contoh dari DPE adalah *Expectation Maximization* (EM), namun EM terlalu kompleks sehingga membutuhkan proses komputasi yang besar dan tingkat akurasi dalam estimasi parameter rendah. Kelemahan tersebut diperbaiki dengan muncul metode baru yaitu *Space Alternating Generalized EM* (SAGE).

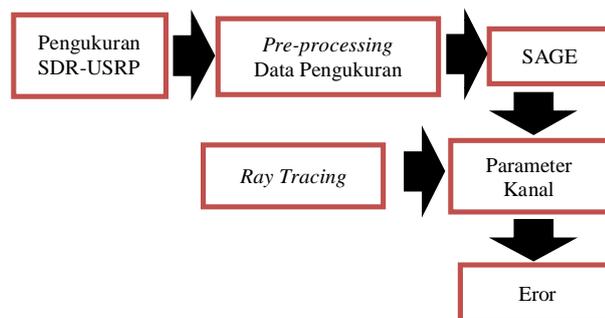
SAGE telah dibuktikan mempunyai kelebihan dibandingkan dengan metode lain, salah satunya adalah SAGE dapat diterapkan pada sebarang bentuk geometri antena dan dapat mendeteksi sinyal dari kanal *multipath*. SAGE merupakan metode yang mempunyai tingkat konvergensi tinggi untuk mendapatkan parameter fisik kanal [4]. Selain itu SAGE telah dibuktikan mempunyai kinerja yang baik dalam mengestimasi parameter kanal secara berurutan tanpa memperhatikan urutan dari parameter tersebut [5].

Selain pengujian kinerja dari metode SAGE yang dilakukan secara simulasi, dapat pula dilakukan dengan pengukuran kanal secara *real time*, seperti yang tersampaikan pada makalah ini atau yang disebut pengukuran dalam domain waktu. Pengukuran kanal *indoor* maupun *outdoor*, yang menggunakan perangkat *Software Define Radio* (SDR) yaitu *Wireless Open Access Reseach Platform* (WARP), dimana pengolahan datanya dalam domain waktu. WARP memiliki keterbatasan jika digunakan sebagai analisis kondisi kanal, hal ini dikarenakan resolusi temporal alat tersebut besar yaitu 400 ns, Hal ini menyebabkan sinyal yang berdekatan tidak terdeteksi dengan baik [6]. Untuk mengatasi hal tersebut, maka pada makalah ini, menggunakan perangkat *Universal Software Radio Peripheral* (USRP), dimana perangkat ini mempunyai resolusi temporal yang lebih baik yaitu sekitar 60ns.

Penelitian ini membahas penerapan SAGE dalam mendeteksi parameter kanal *indoor* Hall Gedung Baru-Politeknik Elektronika Negeri Surabaya. Hasil penerapan tersebut divalidasi oleh *Ray Tracing*. *Ray Tracing* merupakan suatu teori yang mendefinisikan posisi pemancar, penerima dan semua kemungkinan lintasan yang diperhitungkan secara geometris sesuai ukuran lokasi pengukuran [7].

## 2. METODE PENELITIAN

Tahapan untuk mendapatkan parameter fisik kanal dari hasil pengukuran ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahap untuk Mendapatkan Parameter Fisik

Berdasarkan blok diagram alur penelitian, berikut penjelasan tentang setiap komponen dari blok tersebut.

2.1 SDR (Software Define Radio) – USRP (Universal Software Radio Peripheral)

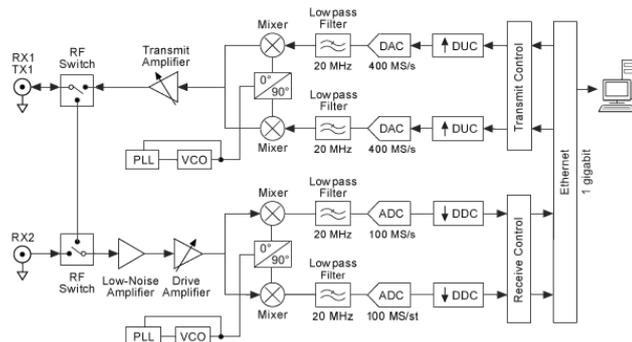
Salah satu perangkat keras pengolahan sinyal digital disebut *Software Define Radio* (SDR). SDR merupakan perangkat komunikasi nirkabel yang dapat deprogram ulang dengan mode dan pita frekuensi yang diatur pada perangkat lunak [8]. Salah satu perangkat SDR yang digunakan pada makalah ini adalah *Universal Software Radio Peripheral* (USRP). USRP didukung oleh beberapa perangkat lunak sebagai antarmuka. Perangkat lunak tersebut adalah LabVIEW, Matlab/Simulink, dan GNU Radio.

USRP terdiri dari *motherboard* dan *daughterboard*. Motherboard dari USRP merupakan FPGA yang bekerja di rentang frekuensi 0Hz – 6 GHz. Motherboard ini berfungsi sebagai *Digital Up Converter* (DUC) dan *Digital Down Converter* (DDC), selain itu motherboard ini juga dapat mengubah sinyal analog ke digital (ADC) maupun mengubah sinyal digital ke analog (DAC). Sedangkan *daughterboard* dari USRP sebagai *RF front end* yang digunakan untuk menentukan rentang frekuensi kerja radio, sebagai filter, *mixer* dan amplifier. Seri USRP yang digunakan pada penelitian ini adalah NI-2922 yang merupakan produk dari *Ettus Research*, yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perangkat USRP Ni-2922

Siklus pengiriman pada USRP melewati beberapa proses yang dimulai dari penyamplingan pada sinyal *baseband* IF yang dilakukan oleh ADC, kemudian FPGA mengatur *clock rate* untuk proses penyamplingan tersebut, kemudian dilanjutkan dengan proses desimasi oleh beberapa filter. Setelah desimasi data dikirimkan ke *host* PC penerima. Blok diagram dari USRP ditunjukkan pada Gambar 3.



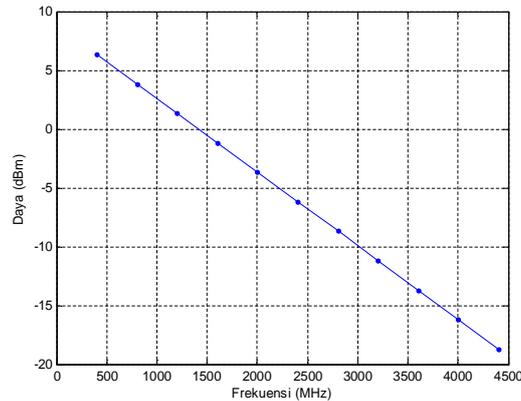
Gambar 3. Blok Diagram USRP NI-2922 [9]

Spesifikasi dari USRP NI2922 disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi USRP NI2922

Parameter	Value
Range frekuensi	400 MHz – 4.4 GHz
Switch adj TX frekuensi step	1 KHz
Max power output	15 dBm – 20 dBm
Gain power output TX	0 dB – 31,5 dB
Switch adj power output step	1 dB
Instantaneous Real Time Bandwidth	20 MHz (16 bit samples)
	40 MHz (8 bit samples)
DAC	2 channel, 400 MS/s, 16 bit
ADC	2 channel, 100 MS/s, 14 bit
Max power input	0 dBm
Noise Figure	5 – 7 dB

Sebelum melakukan pengukuran kanal pada frekuensi 2.4 GHz, maka langkah pertama adalah mengetahui daya pancar dari USRP NI-2922. Daya pancar USRP NI-2922 menurun pada frekuensi kerja yang semakin tinggi, seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Regresi Linear Daya Pancar USRP NI2922 (Gain 0 dB) [10].

## 2.2 Pre-Processing Data Pengukuran

Sistem Pengukuran dalam domain waktu menggunakan kode *Pseudo Noise* (PN) *Sequence*, dimana proses pengiriman dan penerimaan kode dilakukan dengan konsep *Time Division Multiplexing Access* (TDMA). Konsep tersebut dilakukan dengan memanfaatkan penggiliran waktu antara kode yang dikirim pada waktu pertama oleh pengirim pertama ke penerima pertama dan kedua serta kode yang dikirim pada waktu kedua. Data yang diterima seperti pada persamaan (1),

$$y(t) = [y_{11}y_{12}y_{21}y_{22}] \quad (1)$$

dengan,

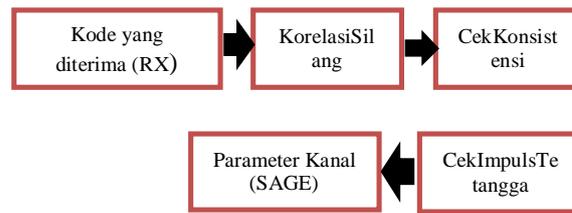
- $y(t)$  : sinyal yang diterima dengan
- $y_{11}$  : data dari pemancar satu ke penerima satu
- $y_{12}$  : data dari pemancar satu ke penerima kedua
- $y_{21}$  : data dari pemancar dua ke penerima pertama
- $y_{22}$  : data dari pemancar kedua ke penerima kedua.

Berdasarkan konsep TDMA, data yang diterima disimpan dalam TDMS (media penyimpanan pada *front end* Labview) sesuai pada tabel di bawah ini, urutan penyimpanan data tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Urutan Penyimpanan Data Pengukuran

Waktu Transmit	PosisiTx	Posisi Rx	Nama File
1	A	A	Y11.txt
		B	Y21.txt
2	B	A	Y12.txt
		B	Y22.txt

Posisi A dan B menunjukkan posisi dari antenna pemancar dan penerima, setelah data yang diterima sesuai dengan penamaan nama file, langkah berikutnya melakukan *pre-processing* data untuk mendapatkan parameter kanal sebagai berikut,



Gambar 5. *Pre-Processing* Data Pengukuran

Berdasarkan blok diagram pada Gambar 5, pengukuran parameter kanal didapatkan dari hasil korelasi silang antara kode yang dikirim dengan kode yang diterima yang disebut *Respon Impuls* dalam bentuk imajiner. Korelasi silang ditunjukkan pada persamaan (2). Korelasi silang merepresentasikan bentuk respon impuls, yang digunakan untuk menentukan karakteristik kanal. Namun pada makalah ini tidak membahas karakteristik kanal, melainkan membahas parameter fisik dari skenario kanal tertentu, yang didapatkan dari SAGE, sehingga makalah ini menampilkan *respon impuls* dari suatu kanal untuk mengetahui posisi sinyal yang asli. Data yang diolah selanjutnya bukan data hasil korelasi dari kode yang diterima, melainkan sinyal yang diterima di setiap pengiriman. Sinyal yang diterima ditunjukkan pada persamaan (2).

$$\rho_{yx}(\tau) = \sum_{t=-\infty}^{t=\infty} pn(t).pn(t - \tau).h(t - \tau) \tag{2}$$

dengan,

- $pn(t)$  : input sinyal berupa kode *pn sequence*
- $pn(t - \tau)$  : sinyal input yang telah digeser sejauh ( $\tau$ )
- $h(t - \tau)$  : respon impuls yang digeser sejauh ( $\tau$ )

Respon Impuls yang diolah sebanyak empat data dari kode yang diterima ( $y_{11}y_{12}y_{21}y_{22}$ ). Setiap Respon Impuls selanjutnya difilter guna menghilangkan noise dengan menggunakan metode Sousa meliputi proses *threshold*, cek konsistensi impuls, dan cek impuls tetangga. [1]. Output dari proses ini diperoleh nilai *excess delay* dari impuls-impuls maksimum (puncak). Nilai *excess delay* ini selanjutnya digunakan sebagai inputan bagi algoritma SAGE untuk mengestimasi parameter kanal lainnya seperti DoD, DoA, dan amplitudo kompleks. [11]

### 2.3 Space Alternating Generalized Expectation Maximisation

SAGE merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mendapatkan parameter kanal yaitu delay, DoA (Direction of Arrival), DoD (Direction of Departure) dan Amplitudo kompleks. SAGE merupakan salah satu metode yang akurat untuk memisahkan sinyal asli dengan sinyal pantulan, dimana SAGE dapat mendeteksi sinyal dengan baik pada kondisi kanal yang memungkinkan terjadi banyaknya pantulan atau dengan kata lain banyak penghalang. Hal

ini telah dibuktikan oleh [5] yang menganalisa kinerja SAGE. Selain itu, SAGE dapat digunakan pada sebarang antenna, artinya dapat diterapkan pada bentuk geometri array antenna. Oleh sebab itulah penelitian ini menggunakan konsep antenna array *linier* dengan jarak antara array antenna sebesar  $\frac{\lambda}{2}$ . Jarak ini mengurangi terjadinya *mutual coupling* yang disebabkan oleh tegangan di satu antenna akibat arus yang berdekatan. [12].

Data yang telah diolah dijadikan sebagai inputan pada SAGE, untuk mendapatkan parameter sudut. Kemudian data tersebut akan melalui proses *Expectation Step* (E-Step) dan *Maximization Step* (M-Step). Proses E-Step pada persamaan (3). [5]

$$x_l(t; \widehat{\boldsymbol{\theta}}'_{l'}) = y(t) - \sum_{\ell'=1, \ell' \neq l}^L s(t; \widehat{\boldsymbol{\theta}}'_{\ell'}) \quad (3)$$

dengan,

$y(t)$  : sinyal yang diterima  
 $s(t; \widehat{\boldsymbol{\theta}}'_{l'})$  : komponen sinyal lintasan jamak ke  $l'$   
 $\widehat{\boldsymbol{\theta}}'$  : himpunan parameter kanal

$$\widehat{\boldsymbol{\theta}}' : \{\widehat{\zeta}_{2,l}'', \widehat{\zeta}_{1,l}'', \widehat{\tau}_{l'}''\}$$

Proses M-Step pada persamaan (3), dimana proses ini mendeteksi parameter DoA, DoD, dan delay.

### 2.3.1 Persamaan Parameter DoA ( $\widehat{\zeta}_{2,l}''$ )

$$\widehat{\zeta}_{2,l}'' = \underset{\zeta_{2,l}}{\arg \max} \{z_l(\zeta_{2,l}, \widehat{\zeta}_{1,l}', \widehat{\tau}_{l'}'; \widehat{\mathbf{x}}_l(k; \widehat{\boldsymbol{\theta}}'_l))\} \quad (4)$$

$$z_l(\zeta_{2,l}) = \underset{\zeta_{2,l}}{\arg \max} \left\{ \sum_{m=1}^M \left| \sum_{k=1}^K \mathbf{c}_2(\Omega_{2,l})^H \widehat{\mathbf{x}}_{l,m,k}(k; \widehat{\boldsymbol{\theta}}'_l) \right| \right\}$$

dengan,

$\widehat{\zeta}_{1,l}'$  : inisialisasi parameter DoD  
 $\widehat{\tau}_{1,l}$  : inisialisasi parameter delay  
 $\widehat{\mathbf{x}}_l(k; \widehat{\boldsymbol{\theta}}'_l)$  : output E-step (dimensi N x K)  
 $\mathbf{c}_2(\Omega_{2,l})$  : *steering vector* DOA (N x 180\*360)  
M : jumlah antenna penerima  
K : sampel pengamatan

### 2.3.2 Persamaan Parameter DoD ( $\widehat{\zeta}_{1,l}''$ )

$$\widehat{\zeta}_{1,l}'' = \underset{\zeta_{1,l}}{\arg \max} \{z_l(\zeta_{1,l}, \widehat{\zeta}_{2,l}'', \widehat{\tau}_{l'}'; \widehat{\mathbf{x}}_l(k; \widehat{\boldsymbol{\theta}}'_l))\} \quad (5)$$

$$z_l(\zeta_{1,l}, \widehat{\zeta}_{2,l}'', \widehat{\tau}_{l'}'; \widehat{\mathbf{x}}_l(k; \widehat{\boldsymbol{\theta}}'_l)) = \underset{\zeta_{1,l}}{\arg \max} \left\{ \sum_{n=1}^N \left| \sum_{k=1}^K \mathbf{c}_2(\Omega_{2,l})^H \widehat{\mathbf{x}}_{l,n,k}(k; \widehat{\boldsymbol{\theta}}'_l) \mathbf{c}_1^*(\Omega_1) \right| \right\}$$

dengan,

$\mathbf{c}_2(\Omega_{2,l})^H$  : *Steering vector* dari sudut DoA yang sudah terupdate (N x 1), operator H menunjukkan *transpose conjugate*.

$\mathbf{c}_1^*(\Omega_1)$  : Matriks *steering vector* DoD (M x (180\*360)), operator \* menunjukkan *conjugate*.

2.3.3 Persamaan Deteksi Delay ( $\widehat{\tau}_l''$ )

$$\widehat{\tau}_l'' = \underset{\tau_l}{\arg \max} \{z_l(\widehat{\zeta}_{1,l}'', \widehat{\zeta}_{2,l}'', \tau_l; \widehat{x}_l(k; \widehat{\theta}'_l))\} \quad (6)$$

$$z_l(\tau_l, \widehat{\zeta}_{2,l}'', \widehat{\zeta}_{1,l}''; \widehat{x}_l(k; \widehat{\theta}'_l)) = \underset{\tau_l}{\arg \max} \sum_{k=1}^K \left| \sum_{m,n=1}^{M,N} \mathbf{c}_2(\Omega_{2,l})^H \widehat{x}_{l,m,n,k}(k; \widehat{\theta}'_l) \mathbf{c}_1^*(\Omega_{1,l}) \mathbf{pn}(k - \tau_l) \right|$$

dengan,

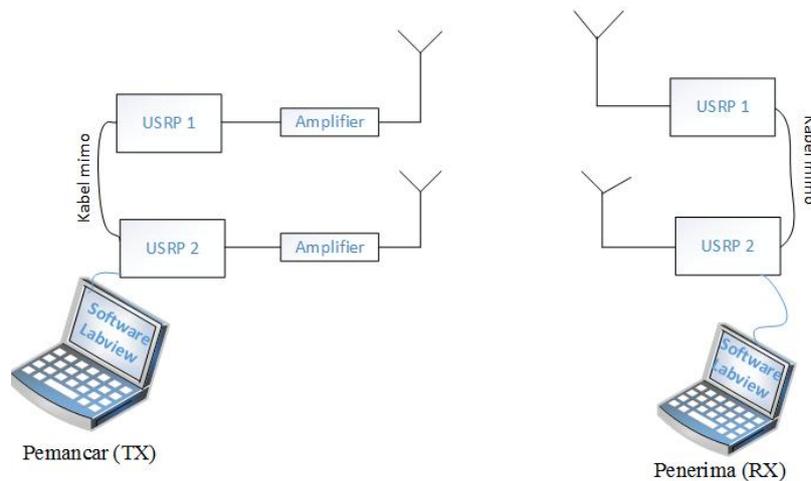
$\mathbf{c}_1^*(\Omega_{1,l})$  : Steering vector dari sudut DoD yang sudah terupdate (M x 1),

$\mathbf{c}_2(\Omega_{2,l})^H$  : Steering vector dari sudut DoA yang sudah terupdate (N x 1)

$\mathbf{pn}(t - \tau_l)$  : Deretan pn sekuen yang terdelay  $\tau_l$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran ditunjukkan pada Gambar 6, dimana terdiri dari 2 pemancar dan 2 penerima yang terhubung dengan masing-masing komputer sebagai kontrol dalam menentukan panjang kode yang akan dikirim, sampling setiap chip, sampling setiap frame, dan IQ Rate. Parameter inputan tersebut terdapat pada Front End dari Labview yang sudah terpasang pada laptop pengirim dan laptop penerima, untuk pentransmisian kode.



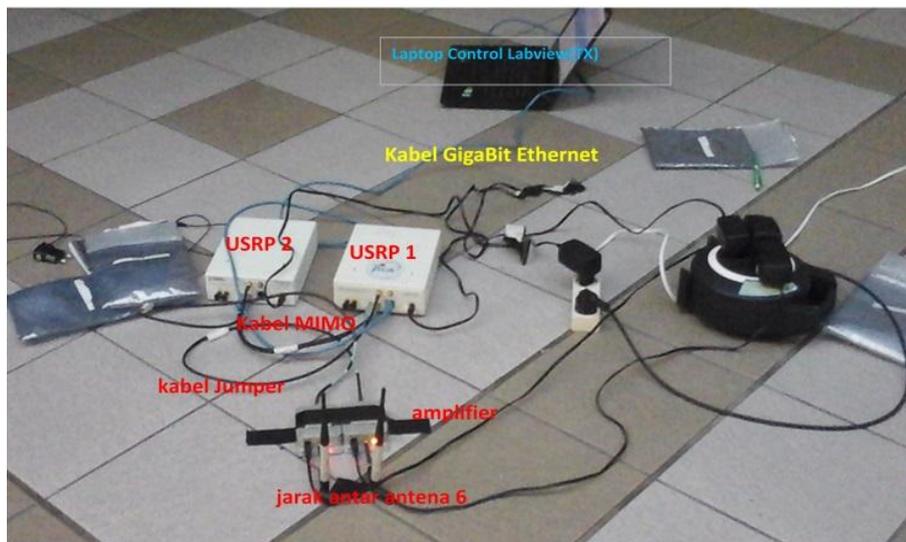
Gambar 6. Pengukuran TX dan RX

Pengukuran kanal indoor dilakukan pada frekuensi 2,4 GHz di ruang Hall Gedung Baru Politeknik Elektronika Surabaya terlihat pada Gambar 7, lokasi tersebut mendukung kondisi pengukuran, karena bentuk lokasi persegi panjang yang memudahkan pemakalah untuk melakukan validasi Ray Tracing, terdapat penghalang tembok beton mendukung terjadinya pantulan sinyal, dan beberapa tiang penyangga gedung.



Gambar 7. Lokasi Pengukuran - Hall PENS

Instalasi perangkat terdiri dari 2 USRP beserta antenna di bagian pemancar dan 2 USRP di bagian penerima, Kedua USRP tersebut dihubungkan oleh kabel MIMO, dan USRP dihubungkan dengan kabel *Giga Ethernet*. Instalasi pengukuran terlihat pada Gambar 8,



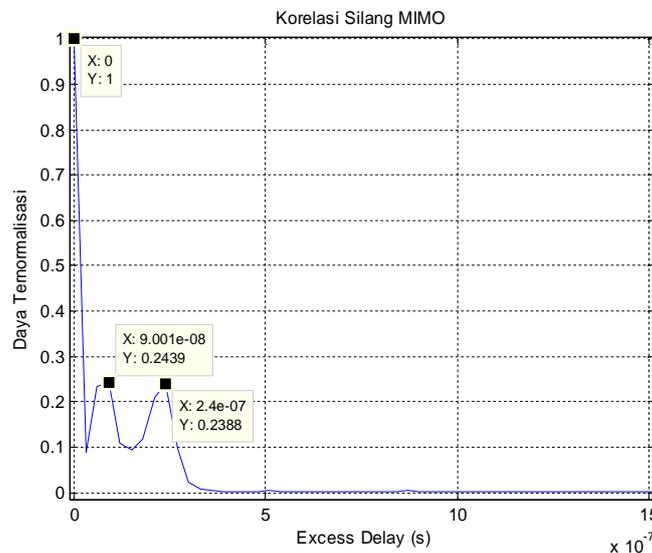
Gambar 8. Instalasi Perangkat Pengukuran Kanal Indoor

Pengukuran diawali dengan mengatur parameter input pada USRP, ditunjukkan pada Tabel 2. Pengecekan data yang diterima adalah dengan menampilkan respon impuls yang terlihat pada gambar 10, dari gambar tersebut, sinyal yang mempunyai nilai daya tertinggi diasumsikan nilai dari sinyal LOS (bukan sinyal *multipath*), dimana nilai tersebut digeser ke titik nol (*excess delay*) seperti pada gambar. Penggeseran tersebut dilakukan karena perangkat USRP pada TX dan RX selama penransmisian tidak sinkron oleh sebab itulah pengukurannya menggunakan konsep TDMA. Hal ini berpengaruh terhadap pendeteksian parameter delay. Berikut respon impuls dari hasil pengukuran setelah dilakukan pengecekan konsistensi dengan metode Sousa.

Tabel 3. Parameter Setup Pengukuran

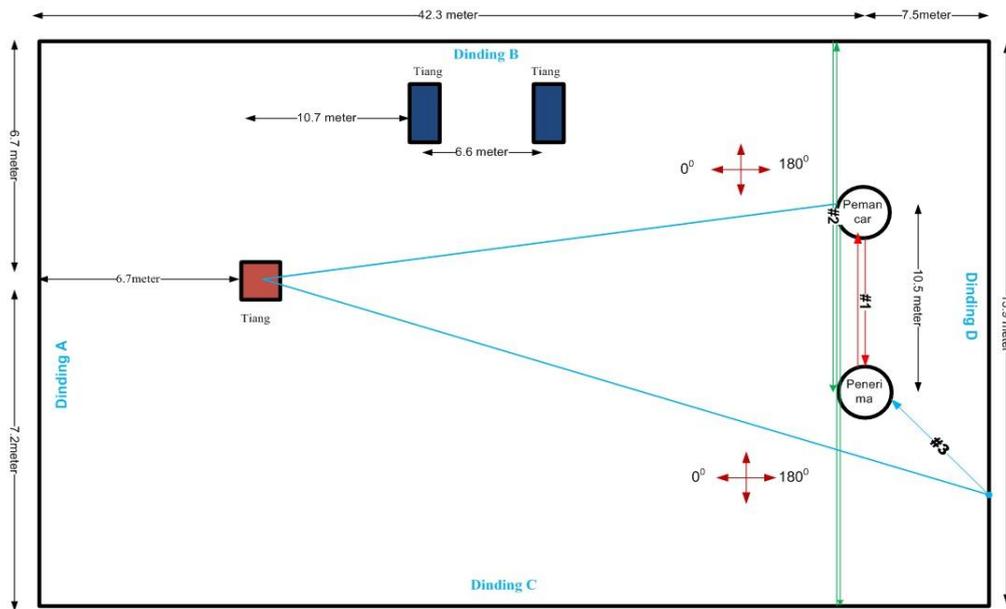
Frekuensi	2450 MHz
DayaTerima USRP	0 dBm : ( - 100dBm)
Gain Transmit Amplifier	17 dB
Sample width	8 bit
Gain internal USRP	31.5 dB
DayaPancar USRP	20 dBm
Orde PN	8
Jumlah Sample	510
IQ Rate	33 MHz
Chiprate	16,5MS/s
Tc(periode chip)	60ns
Resolusi Temporal Sounder	60ns ( $\geq T_c$ )
PanjangResponMaksimal	15300 ns
Tinggi Antena	20 cm
JenisAntena	Monopole Omnidirectional
FrekuensiAntena	2.4 -2.48 GHz

USRP hanya bisa mendeteksi tiga sinyal sesuai dengan hasil kroskorelasi, hal ini dikarenakan resolusi temporal dari USRP 60 ns. Hasil Kroskorelasi digunakan untuk mendapatkan nilai parameter delay, dimana delay 0 ns hanya untuk sinyal LOS, delay 90 ns untuk sinyal *multipath* pertama, delay 240 ns untuk sinyal *multipath* kedua. Sedangkan untuk mendapatkan parameter DoA dan DoD, diproses dengan SAGE dengan menginputkan nilai-nilai delay tersebut.



Gambar 9. Hasil Kroskorelasi Silang Data yang Diterima

Parameter DoA dan DoD yang didapatkan dari SAGE, disajikan pada tabel III dan IV, untuk menguji kebenarann parameter sudut (DoA dan DoD) yang didapat dari SAGE, maka perlu dilakukan validasi *Ray Tracing*, yang menggambarkan posisi antena penerima dan pemancar, ukuran ruangan, dan kemungkinan sinyal *multipath* yang terjadi. *Ray Tracing* lokasi pengukuran ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 10. *Ray Tracing* pada Hall Gedung Baru PENS

Berdasarkan hasil *Ray Tracing*, terdapat tiga sinyal yang terdeteksi dari lintasan yaitu Sinyal LOS yang didapatkan dari transmisi langsung tanpa pantulan dimana jarak Pengirim dan Penerima dihitung 10.5 meter (pada *Ray Tracing* diberi keterangan lintasan #1). Sinyal kedua didapatkan dari pantulan dari dinding C ke dinding B dihitung dengan jarak 38.3 meter (keterangan lintasan #2). Sinyal ketiga merupakan hasil pantulan dari tiang ke dinding D dihitung dengan jarak 85.25 meter (keterangan #3). Validasi *Ray Tracing* pada makalah ini hanya untuk parameter sudut, sedangkan delay dan amplitudo didapatkan dari hasil korelasi sinyal yang dikirim dengan sinyal yang diterima. Hasil deteksi parameter sudut dengan SAGE dan *Ray Tracing* disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4 di bawah ini,

Perbandingan hasil deteksi parameter DoA dan DoD pada SAGE terhadap *Ray Tracing*, menunjukkan error yang besar, hal ini dikarenakan resolusi dari perangkat USRP kurang mendukung, sehingga banyak sinyal *multipath* yang tidak terdeteksi, dikarenakan sinyal yang saling berdekatan tertumpuk, sehingga sulit SAGE untuk mendeteksi sinyal tersebut. Selain itu, terdapat sumber sinyal yang datang dari perangkat wifi yang lain, sehingga memungkinkan mengganggu hasil pengukuran seperti hasil estimasi sudut DoD pada lintasan #3. Faktor yang lainnya adalah pola radiasi antenna *linier* atau *human error* selama pengukuran dilakukan, seperti kurang teliti dalam memposisikan jarak antar kedua antenna.

Tabel 4. Deteksi Parameter DoA

Lintasan (m)	Hasil SAGE ( $^{\circ}$ )	Hasil Ray Tracing ( $^{\circ}$ )	Error (%)
#1(LOS) 10,5	125	90	28
#2 (C,B) 38,3	119	90	24
#3 (Tiang,D) 85.25	127	173	36
Rata-rata Error (%)			29.3%

Tabel 5. Deteksi Parameter DoD

Lintasan (m)	Hasil SAGE ( $^{\circ}$ )	Hasil Ray Tracing ( $^{\circ}$ )	Error (%)
#1 (LOS) 10.5	99	90	9
#2 (C,B) 38,3	109	90	17
#3 (Tiang,D) 85.25	44	7.1	83
Rata-rata Error (%)			36.3%

Pada Lintasan #1 dan #2, hasil estimasi parameter DoD lebih baik dibandingkan dengan estimasi parameter DoA, hal ini dikarenakan sifat dari SAGE, dimana SAGE lebih baik dalam mendeteksi sudut sinyal berangkat dibandingkan sudut sinyal yang diterima [5].

#### 4. KESIMPULAN

Tingkat akurasi implementasi SAGE dalam mendeteksi parameter sudut pada pengukuran kanal indoor menggunakan USRP masih rendah, yaitu 29.3% untuk deteksi DoA dan 36.3% untuk deteksi DoD, dikarenakan resolusi temporal dari perangkat tidak dapat mendeteksi sinyal *multipath* dengan baik, sehingga hal ini menyebabkan analisis kondisi suatu kanal indoor kurang dapat dilakukan dengan baik, namun hal ini dapat ditingkat dengan menambahkan metode pengiriman data yang lain dengan konsep MIMO.

#### 5. SARAN

Penelitian ini menerapkan konsep TDMA untuk sinkronisasi antara TX dan RX, sehingga konsep Komunikasi Array MIMO belum maksimal, sehingga untuk penelitian selanjutnya perlu ditambahkan metode khusus berupa tambahan perangkat yang dapat mensinkronisasikan TX dan RX pada USRP, salah satunya GSPO.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Pemakalah mengucapkan terimakasih kepada pihak Politeknik Elektronika Negeri Surabaya (PENS), karena telah mengizinkan untuk melakukan pengukuran kanal indoor pada Hall Gedung Baru PENS.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Handayani, P. 2013, *Spatial-Temporal Double-Directional Indoor Radio Channel for Cooperative Multi-Antenna Communication Systems*, Disertasi Doktor Program Studi Teknik Elektro.
- [2] Handayani, P, Gamantyo, P. Yasdinul, H. 2010, *Evaluasi Sistem Pengukuran Kanal Radio Dua Arah Dalam Gedung pada Pita 2,5 GHz Menggunakan Antena Larik 3 Dimensi*,

- 
- Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi*, Vol.15, Diakses Tanggal 1 Juni 2010.
- [3] Fleury, H.B. 2002, "*High Resolution Channel Parameter Estimation for MIMO Applications Using The SAGE Algorithm*", IEEE International Zurich Seminar on Broadband Communications.
- [4] Bernard, Fleury. 1999, "*Channel Parameter Estimation in Mobile Radio Environments Using The SAGE Algorithm*", IEEE Journal On Selected Areas On Communication, Vol.17, pp.434-450, March 1999.
- [5] Musayyanah, P. Handayani, G. Hendrantoro, P. Hari Mukti 2016, "*Performance Analysis of The SAGE Algorithm: Changing The Update Procedure*", Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), International Seminar, pp 237-242.
- [6] Frendiana, Viving, 2014, *Pengukuran Respon Impuls Kanal Radio MIMO 2x2 pada Frekuensi 2,4 GHz Menggunakan WARP (Wireless Open Access Research Platform)*, Tesis, ITS.
- [7] Molisch, A, 2011, *Wireless Communication Second Edition*, Wiley IEEE, California, USA.
- [8] Reed, J.H. 2002, "*Software Radio: A Modern Approach to Radio Engineering*", Prentice Hall, New Jersey.
- [9] USRP NI2922 Block Diagram. *National Instruments*, [http://zone.ni.com/reference/enXX/help/373380B-01/usrphelp/2922\\_block\\_diagram](http://zone.ni.com/reference/enXX/help/373380B-01/usrphelp/2922_block_diagram). Diakses Tanggal 01 Desember 2015.
- [10] Anggraeni, M.E., 2015, *Analisis Karakteristik Penghambur Lokasi di Sekitar Relay pada Kanal MIMO Multi-Hop*, Tesis Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [11] Martianda Erste, P. Handayani, G. Hendrantoro, 2016, "*Double Directional Outdoor MIMO Channel Measurement at 2,4 GHz using SDR*", Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), International Seminar, pp 255-260.
- [12] Kevin, Jones, Olivia Levy, 2017, *Perancangan Antena MIMO 2x2 Array Rectanguler Patch dengan U-Slot untuk Aplikasi 5 G*, Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Vol. 6, No.1.
-