

**PENGUJIAN KINERJA SISTEM MIMO PADA RADAR
PENEMBUS DINDING**

*PERFORMANCE TESTING OF MIMO SYSTEM ON THROUGH
WALL RADAR (TWR)*

TUGAS AKHIR

Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
Program Studi Strata 1 Teknik Telekomunikasi


Disusun oleh :

DEDYA FITRINISAAPRAYUNANTI

1101154459



**FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS TELKOM
BANDUNG
2019**

	UNIVERSITAS TELKOM	No. Dokumen	
	Jl. Telekomunikasi No. 1 Ters. Buah Batu Bandung 40257	No. Revisi	
	FORMULIR LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	Berlaku efektif	

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

PENGUJIAN KINERJA SISTEM MIMO PADA RADAR PENEMBUS DINDING

PERFORMANCE TESTING OF MIMO SYSTEM ON THROUGH WALL RADAR (TWR)

Telah disetujui dan disahkan sebagai Tugas Akhir

Program Studi Teknik Telekomunikasi

Fakultas Teknik Elektro

Universitas Telkom

Oleh

DEDYA FITRINISAAPRAYUNANTI

1101154459

Bandung, 1 April 2019

Pembimbing I


Pembimbing II

Dr. Aloysius Adya P, S.T, M.T.

NIP : 16770072

Dr. Ir. Yuyu Wahyu, M.T.

NIP : 196202011991031008

	UNIVERSITAS TELKOM	No. Dokumen	
	Jl. Telekomunikasi No. 1 Ters. Buah Batu Bandung 40257	No. Revisi	
	FORMULIR LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	Berlaku efektif	

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Nama : DEDYA FITRINISAAPRAYUNANTI
 NIM : 1101154459
 Alamat : Jl. Kamarung Gg. Empi No. 9-B RT 02 RW 04 Citeureup, Cimahi Utara
 No Telp/Hp : 082218320838
 E-mail : dedyafitri@yahoo.com

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya orisinal saya sendiri, dengan judul:

PENGUJIAN KINERJA SISTEM MIMO PADA RADAR PENEMBUS DINDING

PERFORMANCE TESTING OF MIMO SYSTEM ON THROUGH WALL RADAR (TWR)

Atas pernyataan ini, saya menanggung resiko/sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila di kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap kejujuran akademik atau etika keilmuan dalam karya ini, atau ditemukan bukti yang menunjukkan ketidakaslian karya ini.

Bandung, 21 Mei 2019



Dedy Fitrinisaaprayunanti

1101154459

ABSTRAK

Through-wall Radar (TWR) adalah teknik non-destruktif yang digunakan untuk menentukan target di belakang area yang terhambat secara visual. Masalah umum yang dihadapi oleh sistem ini adalah pantulan benda yang ada di lingkungan. Dalam makalah ini, penulis membahas kinerja yang dihasilkan oleh antena *Multiple Input Multi Output* (MIMO) pada TWR. Antena MIMO bersama dengan *Vector Network Analyzer* (VNA) sebagai generator gelombang digunakan untuk melakukan beberapa pemindaian dan kemudian menggabungkannya menjadi hasil citra grafik dari target. MATLAB digunakan untuk mentransformasikan gelombang frekuensi yang dihasilkan oleh VNA menjadi *Time Domain* sehingga bisa menghasilkan *output* berbentuk impuls.

MIMO-Radar yang akan diterapkan pada *Through Wall Radar* memberikan keuntungan dalam mendeteksi objek yang berada di balik dinding. Dengan keakuratan hasil deteksi objek akan membuat kinerja pada sistem *Through Wall Radar* (TWR) semakin maksimal.

Eksperimen ini dilakukan dengan membandingkan matriks citra hasil pendeteksian berupa gambar B-Scan yang didapat oleh antena *Single Input Single Output* (SISO) dengan *Multiple Input Multi Output* (MIMO), sehingga mendapatkan hasil maksimal dari objek yang sudah dipantulkan oleh gelombang.

Kata Kunci : *Through-wall Radar*, *Single Input Single Output* (SISO), *Multiple Input Multi Output* (MIMO)

ABSTRACT

Through-wall Radar (TWR) is a non-destructive technique that is used to determine targets behind visually obstructed areas. A common problem caused by this system is the reflection of objects in the environment. In this paper, the author discusses the performance produced by the Multiple Input Multi Output (MIMO) antenna in TWR. MIMO antenna together with Vector Network Analyzer (VNA) as a wave generator that is used to perform multiple scans and then combine them into the graphical display of the target. MATLAB is used to translate frequency waves generated by VNA into Time Domains so that they can produce output in the form of impulses.

The MIMO-Radar that will be applied to the Radar Wall provides a backup in supporting the necessary objects behind the wall. With the accuracy of the object detection results will produce performance on the system Through the Wall Radar (TWR) the maximum.

This experiment is carried out by comparing the image matrix of the B-Scan image detection results obtained by Single Input Single Output (SISO) antennas with using Multiple Input Multi Output (MIMO). The results get maximum results from objects that have been reflected by waves.

Keywords : *Through-wall Radar, Single Input Single Output (SISO), Multiple Input Multi Output (MIMO)*

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirobbilalamin, segala puji serta syukur kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **Pengujian Kinerja Sistem MIMO pada Radar Penembus Dinding** dengan tepat waktu. Penulis menyusun Tugas Akhir ini untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan tahap sarjana pada Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Hal ini diakibatkan keterbatasan yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, untuk memperbaiki pada Tugas Akhir ini, saran dan kritik yang sifatnya membangun pada Tugas Akhir ini sangat diharapkan untuk menjadikan hasil karya yang lebih baik lagi.

Dengan segala kerendahan hati, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bisa dikembangkan ke arah yang lebih baik dan bermanfaat bagi para pembaca dan penulis serta bagi dunia pendidikan pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Bandung, 11 Januari 2019

Penulis

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang tulus dan ikhlas kepada semua pihak yang telah membantu pengerjaan Tugas Akhir ini

1. Allah SWT atas segala petunjuk, bimbingan, berkah dan curahan Rahmat-Nya yang tidak terhingga, penulis sungguh mengakui kebesaran dan kuasa-Nya.
2. Rasulullah Muhammad SAW yang menjadi panutan penulis dalam menghadapi kehidupan ini.
3. Kedua orang tua yaitu Ir. Pramudji Sugeng Widodo sebagai bapak dari penulis yang tidak hentinya memberikan motivasi kepada penulis dan Drg. Zuniati Pauzianah sebagai ibu dari penulis yang senantiasa selalu menemani penulis disetiap saatnya.
4. Widya Noorputrayunanto S.M, S.MBA sebagai kakak dari penulis yang selalu membantu disetiap mendapat kesulitan.
5. Bapak Dr. Aloysius Adya P, S.T, M.T. selaku Pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, kritikan, saran, motivasi dan pelajaran hidup selama membimbing penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Bapak Dr. Ir. Yuyu Wahyu, M.T. selaku Pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan, arahan, masukan, kritikan, saran, motivasi dan pelajaran hidup selama membimbing penulis menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Ibu Trasma Yunita S.T., M.T. selaku Dosen Wali TT-39-04 terimakasih atas segala arahan dalam menempuh studi di Telkom University.
8. Seluruh Dosen dan Staff Telkom University yang telah membantu selama menempuh Pendidikan di Telkom University.
9. Seluruh Staff LIPI P2ET yang senantiasa membantu penulis melakukan eksperimen yang dilakukan
10. Keluarga pertama TT-39-04 di Telkom University yang telah membantu dan memberikan semangat dan motivasi.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIMAKASIH.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR ISTILAH	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan dan Manfaat.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Metode Penelitian.....	3
BAB II KONSEP DASAR.....	4
2.1 RADAR	4
2.2 Through Wall Radar (TWR)	5
2.3 Multiple Input Multiple Output (MIMO)	6
2.4 MIMO-RADAR	7
2.4.1 Formulasi Masalah pada Sistem MIMO-Radar	9
2.4.2 Metode Pengolahan Sinyal pada Sistem MIMO Radar	10

2.5	<i>Vector Network Analyzer</i>	12
2.6	Permodelan Sistem RADAR pada <i>Vector Network Analyzer</i>	14
BAB III MODEL SISTEM DAN PERANCANGAN		16
3.1	Perancangan Eksperimen	16
3.1.1	Rancangan Konfigurasi MIMO-RADAR	17
3.1.2	Perancangan Konfigurasi MIMO TWR.....	18
3.1.3	Perancangan Eksperimen MIMO <i>Through Wall Radar</i> (TWR).....	18
3.2	Design Sistem Eksperimen.....	19
3.2.1	Perancangan Sistem VNA.....	19
3.2.2	Perancangan Sistem Pengolahan Sinyal.....	20
3.2.3	Pengambilan Data Eksperimen	21
3.3	Perangkat yang digunakan.....	23
BAB IV HASIL DAN ANALISIS.....		25
4.1.1	Konfigurasi sistem MIMO 2x2 pada TWR.....	25
4.1.2	Hasil Pengambilan Data dan analisis pada Sistem SISO	29
4.1.3	Hasil Pengambilan Data dan analisis untuk Sistem MIMO.....	31
4.1.4	Analisis Hasil antara sistem SISO dengan sistem MIMO 2x2	33
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		37
DAFTAR PUSTAKA		38
LAMPIRAN.....		40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Prinsip Dasar Radar	4
Gambar 2.2 Prinsip Dasar TWR.....	5
Gambar 2.3 Prinsip kerja MIMO 2x2.....	6
Gambar 2.4 a) MIMO Radar versus b) <i>Phase Array</i> Radar	8
Gambar 2.5 Sinyal yang dipancarkan dan diterima pada MIMO-Radar	9
Gambar 2.6 Konfigurasi antena MIMO-Radar	11
Gambar 2.7 Virtual Array MIMO-Radar	11
Gambar 2.8 Ilustrasi MIMO-Radar dengan konsep virtual array MIMO	11
Gambar 2.9 Pengoprasian Konvolusi sinyal sistem MIMO 2x2	12
Gambar 2.11 <i>Two Port Network</i>	12
Gambar 2.11 <i>Two Port Network</i>	13
Gambar 2.12 Permodelan Sistem MIMO pada VNA.....	14
Gambar 2.13 Model Hubungan Antara sinyal pamcar dengan sinyal terima.....	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Eksperimen.....	16
Gambar 3.2 Konfigurasi Antena MIMO	17
Gambar 3.3 Konfigurasi MIMO-RADAR	17
Gambar 3.4 Konfigurasi MIMO pada TWR	18
Gambar 3.5 Setup Eksperimen MIMO TWR.....	18
Gambar 3.6 Permodelan proses <i>B-scan</i> pada sistem SISO	21
Gambar 3.7 Permodelan pada sistem MIMO 2x2	22
Gambar 3.8 Objek yang digunakan	23
Gambar 3.9 VNA Anritsu MS46322A.....	23
Gambar 3.10 Antena yang digunakan	24
Gambar 4.1 Konfigurasi sistem MIMO 2x2 TWR pada VNA	25

Gambar 4.2 a) Grafik sinyal pantul tanpa filter b) Grafik sinyal pantul dengan filter	26
Gambar 4.3 Identifikasi Sinyal pantul yang di dapat	26
Gambar 4.4 a) Sinyal Pantul pada jarak Objek 44cm ; b) sinyal Pantul pada jarak objek 60 cm; c)Sinyal Pantul pada jarak objek 1 m	27
Gambar 4.5 Pergerakan sinyal pantul pada objek	27
Gambar 4.6 a) SISO setelah digeser pada titik X_3 b) SISO setelah digeser pada titik titik X_5	28
Gambar 4.7 a)B-Scan pada sistem SISO; b)Pantulan Dinding; c)Pantulan Objek	28
Gambar 4.8 a) Antena TX_1 dan Antena RX_1 b) Antena TX_1 dan Antena RX_2 c) Antena TX_2 dan Antena RX_1 d) Antena TX_2 dan Antena RX_2	29
Gambar 4.9 a)Hasil B-Scan sistem MIMO 2x2 metode <i>combining</i> b)Pantulan dinding; c) Pantulan pada objek	30
Gambar 4.10 a)Hasil B-Scan sistem MIMO 2x2 metode <i>convolusi</i> b)Pantulan dinding; c) Pantulan pada objek	31
Gambar 4.11 a) Sistem SISO; b) MIMO <i>combining</i> ; c) MIMO <i>convolution</i>	32
Gambar 4.12 Hasil amplitudo sinyal pada objek untuk sistem a) SISO; b) MIMO <i>combining</i> ; c) MIMO <i>convolution</i>	33

DAFTAR ISTILAH

Bandwidth	: Rentang frekuensi kerja antena, dimana antena dapat bekerja efektif agar dapat menerima dan memancarkan gelombang elektromagnetik
VNA	: Vector Network Analyzer, instrumen populer yang digunakan secara luas dalam teknik pengukuran dalam sistem telekomunikasi.
MATLAB	: Matrix Laboratory, program yang menggunakan setiap data menggunakan dasar matriks.
<i>Phased Array</i>	: sebuah susunan dari antena dengan fase sinyal relatif masing-masing antena bervariasi sedemikian rupa sehingga pola radiasi efektif susunan diperkuat dalam arah yang diinginkan dan ditekan dalam arah yang tidak diinginkan.
<i>Antena Received</i>	: Antena penerima
<i>Antena Transmitter</i>	: Antena Pengirim
Bandwidth	: Rentang frekuensi kerja antena, dimana antena dapat bekerja efektif agar dapat menerima dan memancarkan gelombang elektromagnetik
<i>Ultrawideband</i>	: Antena yang memiliki rentang frekuensi yang cukup lebar.
Vivaldi	: Sebuah struktur pada antena

DAFTAR SINGKATAN

VNA	: Vector Network Analyzer
TWR	: <i>Through Wall Radar</i>
RADAR	: <i>Radio Detecting and Ranging</i>
MATLAB	: <i>Matrix Laboratory</i>
MIMO	: <i>Multiple Input Multiple Output</i>

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Hasil Deteksi	28
--------------------------------------	----

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu aplikasi radar yaitu, *Through Wall Radar (TWR)*. *Through Wall Radar (TWR)* adalah suatu alat pencitra gelombang elektromagnetik untuk mengetahui keberadaan suatu objek dibalik dinding atau untuk mendeteksi objek yang tidak dapat terlihat secara visual. Radar jenis ini biasa digunakan untuk kebutuhan militer, mendeteksi keberadaan korban pasca bencana yang tertutup oleh reruntuhan, pencarian korban pada suatu ruangan saat kebakaran, penyanderaan dan sebagainya[10].

Salah satu teknologi dalam bidang komunikasi adalah *Multiple Input Multiple Output (MIMO)*. Sistem antena MIMO ini bertujuan 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. MIMO dapat meningkatkan kinerja pada sistem radar yaitu dapat memperjelas resolusi hasil deteksi[1].

Penerapan sistem MIMO pada *Through Wall Radar (TWR)* berpotensi meningkatkan hasil deteksi yang lebih baik dan lebih jelas. Penyatuan data antar antena dapat memperkaya hasil yang didapat[2][3]. Pemakaian MIMO pada *Through Wall Radar (TWR)* bertujuan untuk meningkatkan sensitifitas keberadaan pada objek.

Permasalahan yang diangkat pada tugas akhir kali ini adalah peningkatan hasil deteksi pada sistem MIMO-RADAR untuk pendeteksi objek yang berada di balik dinding atau biasa disebut *Through Wall Radar (TWR)*. Analisis eksperimen perlu dilakukan karena bertujuan untuk membuktikan bahwa adanya peningkatan untuk mendeteksi dan memperjelas keberadaan objek. Hasil analisa disajikan dengan menggunakan hasil citra gambar *B-Scan* agar memperjelas hasil yang akan di dapat dan lebih mempertegas perbedaan antara antena MIMO dengan SISO.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan MIMO pada *Through Wall Radar (TWR)* pada sejumlah referensi disebutkan mampu meningkatkan hasil deteksi namun demikian pengujian eksperimen perlu dilakukan untuk memberikan gambaran lebih aktual terkait penggunaan metode ini pada *Through Wall Radar* suatu metode eksperimen *Through Wall Radar* yang mengakomodir metode MIMO diperlukan dalam mengkaji dan mengembangkan konsep MIMO pada *Through Wall Radar*.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan :

Melakukan pengujian eksperimental laboratorium *Through Wall Radar* (TWR) dengan sistem MIMO dan membandingkan hasil eksperimental sistem MIMO dengan sistem SISO.

Manfaat :

Manfaat pada penelitian kali ini yaitu tersedianya rujukan terhadap model eksperimen laboratorium untuk radar MIMO khususnya pada *Through Wall Radar*-MIMO.

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup pembahasan dalam Tugas Akhir ini meliputi:

1. Pengujian dilakukan secara eksperimental laboratorium dengan setup antena MIMO pada model sistem *Through Wall Radar (TWR)*.
2. Peningkatan kinerja diidentifikasi dengan membandingkan hasil deteksi menggunakan antena Single Input Single Output atau SISO dengan antena MIMO.
3. Antena yang digunakan adalah antena vivaldi yang bekerja pada frekuensi 1GHz - 10 GHz
4. Sistem radar *Through Wall Radar (TWR)* dimodelkan dengan VNA Anritsu MS46322A
5. Pengolahan akhir data radar menggunakan MATLAB dan menghasilkan citra gambar berupa *B-Scan*.
6. Objek dimodelkan dengan sebuah plat besi yang memiliki hasil pantulan yang sangat baik

1.5 Metode Penelitian

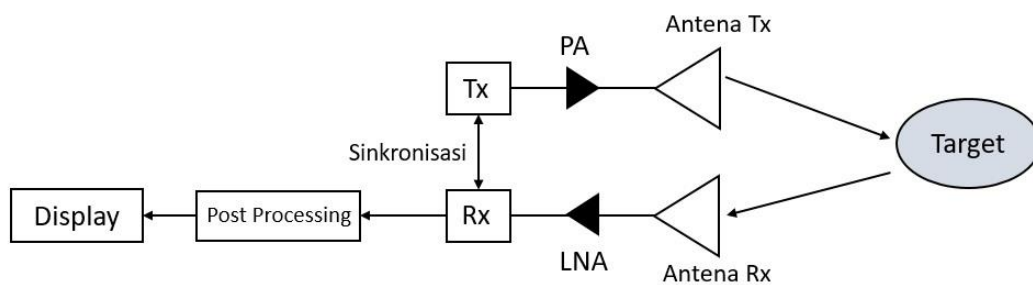
Metode penelitian yang digunakan dalam penyusunan Tugas Akhir ini meliputi:

1. Studi literatur tentang pengujian kinerja sistem radar MIMO untuk pendeteksi objek dibalik dinding atau *Through Wall Radar (TWR)* yang bertujuan untuk meningkatkan hasil yang lebih baik dari antena yang biasa digunakan pada *Through Wall Radar (TWR)*.
2. Merancang skema eksperimen laboratorium untuk pengujian meliputi :
 - Memodelkan radar dengan VNA Anritsu MS46322A
 - Melakukan pengaturan antena MIMO
 - Memodelkan objek/target
 - Metode pengolahan data radar menggunakan MATLAB
 - Menghasilkan data dengan hasil citra gambar *B-Scan*.
3. Melakukan setup eksperimen dan melakukan pengolahan data untuk sejumlah skenario.

BAB II KONSEP DASAR

2.1 RADAR

Radio Detection and Ranging atau biasa disingkat sebagai RADAR. Radar adalah sistem elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi, merasakan, dan menemukan objek dalam waktu dan suasana yang ditentukan. Sistem radar ini bekerja dengan cara mentransmisikan gelombang elektromagnetik dan mendeteksi sinyal yang dipantulkan^[4]. Cara kerja RADAR yaitudengan memancarkan gelombang elektromagnetik ke arah objek dan mendeteksi pantulan dari objek tersebut, untuk diproses sedemikian rupa sehingga menampilkan data informasi pada objek yang sedang diamati^[10]. Prinsip dasar dari Radar hampir sama dengan refleksi gelombang suara. Radar mengedarkan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi suatu objek.



Gambar 2.1 Prinsip Dasar Radar

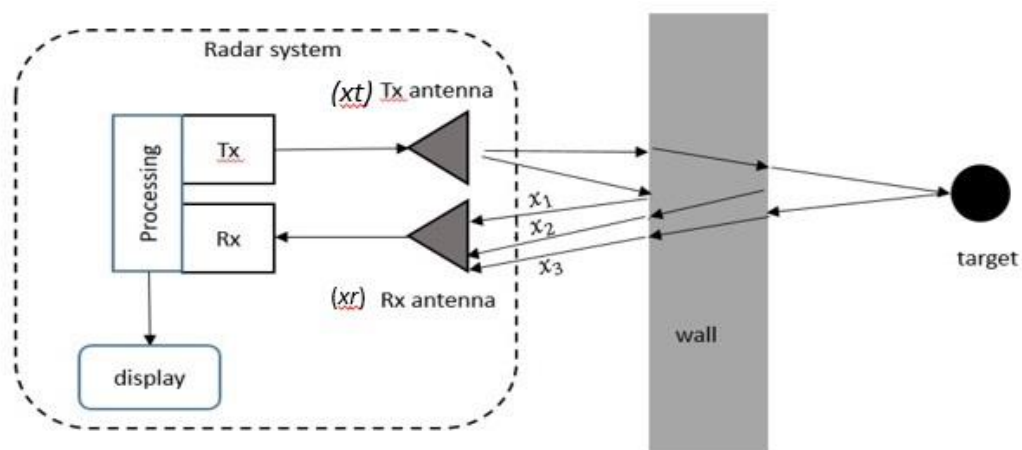
Pada **Gambar 2.1** menggambarkan prinsip dasar pada antenna, dengan sebagai antenna *Transmitter* (Tx) atau biasa disebut sebagai antenna pemancar dan antenna *Receiver* (Rx) atau bisa disebut sebagai antenna penerima. Pemancar akan menghasilkan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan ke segala arah dan kemudian gelombang akan terpantul kembali dan sebagian akan kembali ke arah radar. Gelombang pantul kemudian diterima oleh bagian penerima, Berdasarkan gelombang pantuk tersebut informasi tentang objek dapat diperoleh dan di tampilkan pada bagian *display* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.1**

RADAR mempunyai lima komponen utama yang tersusun dalam :

1. *Transmitter*, adapun komponen *transmitter* tersusun dari *Waveform Generator*, *Oscillator*, dan *Amplifier*.
2. Antena yaitu suatu transformator gelombang elektromagnetik ke ruang bebas dan begitu juga sebaliknya.
3. *Receiver* yaitu terdiri dari *oscillator*, *amplifier Low Noise Amplifier*, dan *filter*.
4. Pengolahan sinyal, pada bagian komponen ini berfungsi untuk pengolahan sinyal sehingga sinyal yang dipancarkan dan yang diterima oleh RADAR dapat diolah atau dibaca oleh manusia.
5. Yang terakhir adalah pada bagian tampilan, bagian ini berfungsi sebagian tampilan yang di dapat oleh antar muka dari RADAR. Salah satu contohnya adalah target.

2.2 Through Wall Radar (TWR)

Through Wall Radar (TWR) adalah alat pencitra gelombang yang baik untuk membaca objek yang tertutup oleh berbagai struktur dinding (batu bata, beton, beton bertulang, papan kayu, plastikboard). Memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk menembus bahan dinding bangunan. Pemetaan ruangan dapat dibaca dari setiap antena, dan direkonstruksi menggunakan data dari antena penerima. TWR sering digunakan pada kegiatan Militer[10].



Gambar 2.2 Prinsip kerja *Through Wall Radar*.

Pada **Gambar 2.2**, menunjukkan prinsip kerja *Through Wall Radar (TWR)*, gelombang elektromagnetik dikirimkan pada transmitter (Tx) lalu disebar dan menghasilkan beberapa pantulan yaitu pantulan pada lapisan dinding pertama (x_1), pantulan gelombang pada lapisan dinding kedua (x_2), dan pantulan gelombang yang diteruskan ke target/objek lalu diterima oleh antena *Receiver* (x_3) dan diproses agar bisa dianalisis. Pada (x_r) dituliskan sebagai hasil pengumpulan signal received yang dihasilkan oleh *Through Wall Radar (TWR)*. Adapun persamaanya bias dituliskan pada persamaan (2.1).

$$x_r = x_1 + x_2 + x_3 \quad (2.1)$$

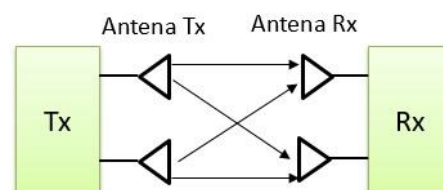
Tujuan dibuatnya radar jenis ini untuk mengekstrak karakteristik fisik dari suatu keadaan melalui penghamburan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh TWR^{[4][5]}.

Pada TWR digunakan 2 antena dengan kegunaan yang berbeda-beda. Antena pertama sebagai antena pengirim atau sebagai antena Transmitter (Tx) dan antena kedua sebagai antena penerima atau sebagai antena Receiver (Rx). TWR harus memiliki sifat *Ultrawide Band* dimana *bandwidth* yang dimiliki cukup lebar agar pendeteksian yang dilakukan lebih akurat.

2.3 Multiple Input Multiple Output (MIMO)

MIMO atau bisa disebut *Multiple Input Multiple Output* merupakan perkembangan sistem komunikasi sebelumnya^[12]. MIMO adalah penggunaan lebih dari satu antena pada pemancar dan penerima untuk meningkatkan kapasitas kanal tanpa meningkatkan daya dan bandwidht.

Multiple Input Multiple Output atau biasa disebut sebagai MIMO adalah salah satu sistem antena dengan memperbanyak jumlah antena sama banyak pada antena pengirim (*Transmitter*) dan pada antena penerima (*Receiver*)^[1]. Misalnya, MIMO 2x2 yang mengartikan adanya 2 antena pada antena pengirim dan 2 antena penerima.



Gambar 2.3 Prinsip Kerja MIMO 2x2

Pada **Gambar 2.3** menerangkan prinsip kerja MIMO 2x2 bahwa MIMO mempunyai 2 antena *Transmitter* (Tx) dan 2 antena *Receiver* (Rx). Antena *Receiver* menerima semua gelombang yang dikirim oleh masing-masing antena *Transmitter* seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.3**, antena Tx₁ memancarkan gelombang dan diterima oleh Antena Rx₁ dan Antena Rx₂, begitu juga yang terjadi dengan sinyal yang dikirimkan oleh Antena Tx₂.

Pada sistem MIMO terdapat 2 jenis teknik yaitu :

1. *Spatial Diversity*

Teknik ini bekerja dengan mengurangi fading dari tiap sinyal untuk meningkatkan nilai SNR. Konsep dari teknik *Spatial Diversity* adalah mengirimkan tiruan atau replika sinyal melalui beberapa antena.

Teknik ini digunakan pada MIMO-Radar^[6].

2. *Spatial Multiplexing*

Spatial Multiplexing tidak untuk memperkuat transmisi, melainkan teknik ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas data. Dengan cara mengirimkan secara paralel ke beberapa aliran data dalam waktu yang bersamaan^[6].

2.4 MIMO-RADAR

Multiple Input Multiple Output (MIMO) RADAR adalah perkembangan dari RADAR antena tradisional sebelumnya. MIMO-RADAR bisa dibilang sebagai generalisasi dari konsep radar. MIMO-RADAR mengirimkan gelombang sinyal secara simultan dengan melalui kanal *multipath*^[1]. Adapun keunggulan pada MIMO-RADAR yaitu peningkatan pada akurasi pendeteksian pada target dengan melihat hasil yang didapat oleh Radar.

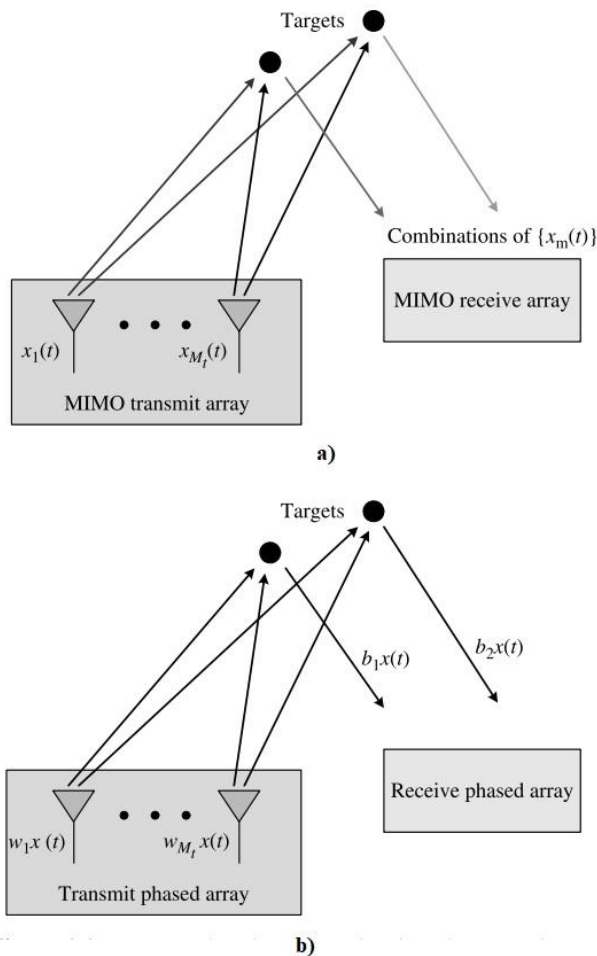
Dua tipe kerja dari MIMO-RADAR diantaranya:

1. *Statistical MIMO-RADAR*^[1]

- a. Jarak antara elemen antena transmitter (Tx) dengan receiver (Rx) terpisah
- b. Respon scattering antar antena bersifat independen

2. *Coherent MIMO-RADAR*^[1]

- a. Jarak antara elemen antena transmitter (Tx) dan receiver (Rx) berdekatan
- b. Respon scattering antar antena saling berpengaruh satu sama lain pada radar



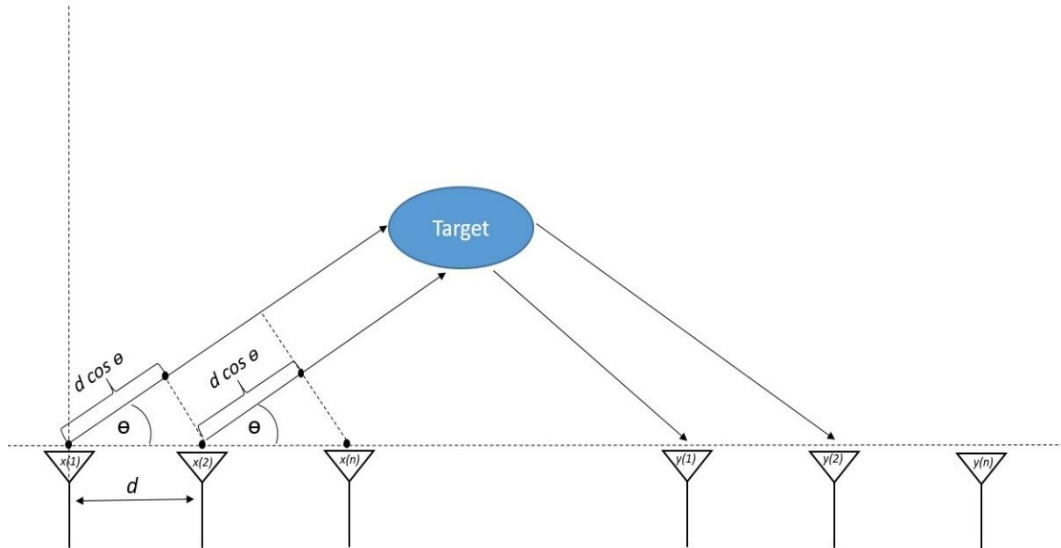
Gambar 2.4 a) MIMO Radar versus b) *Phase Array* Radar

Pada **Gambar 2.4**, menjelaskan adanya perbedaan pada bagian *Receiver*. Pada radar *Phased Array* gelombang sinyal yang dikirimkan dan diterima oleh antenna *Receiver* bersifat individual atau sinyal yang diterima tidak saling mempengaruhi sedangkan antenna *Receiver* pada MIMO-Radar terjadi penyatuan antara sinyal yang telah dikirimkan oleh antenna *Transmitter*^[1]. Pada $x_{M_t}^{(t)}$ menunjukkan sinyal dengan waktu diskrit yang dikirimkan oleh *Transmitter* pada antenna ke- M_t . Pada $x_m^{(t)}$ menjelaskan penyatuan sinyal yang diterima oleh *Receiver* MIMO-Radar. Kumpulan Sinyal terima untuk konsep MIMO-Radar dapat dilihat pada persamaan matriks (2.1)

$$x_m^{(t)} = [x_1^{(t)} \quad x_2^{(t)} \quad x_3^{(t)} \dots x_{M_t}^{(t)}] \quad (2.2)$$

2.4.1 Formulasi Masalah pada Sistem MIMO-Radar

Pada sistem MIMO-Radar terdapat formulasi yang berbeda dengan antenna radar pada umumnya.



Gambar 2.5 Sinyal yang dipancarkan dan diterima pada MIMO-Radar

Pada **Gambar 2.5** dengan mempertimbangkan sistem radar MIMO dengan sinyal untuk antenna pengirim S_t dan S_r untuk sinyal pada antenna penerima. Pada $x(n)$ menunjukkan sinyal basis-waktu diskrit yang ditransmisikan oleh transmit ke- n antenna, (a) menunjukkan parameter lokasi target dengan sudut azimuth dan jangkauannya. Adapun persamaan sinyal transmit yang dapat, ditulis pada persamaan (2.3)

$$S_t = [a(n)] [x(n)]^T \quad (2.3)$$

Dimana $a(n)$ menunjukkan runtutan sinyal yang dipancarkan berdasarkan jumlah antenna $transmitt$ dan $x(n)$ menunjukkan letak antenna pengirim. Adapun persamaan yang didapat pada persamaan (2.4) dan (2.5)

$$[x(n)] = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ \dots \ x_n] \quad (2.4)$$

dan

$$[a(n)] = [1 \ e^{-j\frac{2\pi}{\lambda}d \cos \theta} \ e^{-2j\frac{2\pi}{\lambda}d \cos \theta} \ \dots \ e^{-(n-1)j\frac{2\pi}{\lambda}d \cos \theta}] \quad (2.5)$$

Sedangkan, pada sinyal terima pada antenna penerima dapat ditulis pada persamaan (2.6)

$$St = [b(n)] [y(n)]^T \quad (2.6)$$

Dimana $b(n)$ menunjukkan runtutan matriks sinyal yang dipancarkan berdasarkan jumlah antenna *received* dan $y(n)$ menunjukkan letak antenna pengirim. Adapun persamaan yang didapat pada persamaan (2.7) dan (2.8)

$$[y(n)] = [y_1 \ y_2 \ y_3 \ \dots \ y_n] \quad (2.7)$$

dan

$$[b(n)] = [1 \ e^{j\frac{2\pi}{\lambda}d \cos \theta} \ e^{2j\frac{2\pi}{\lambda}d \cos \theta} \ \dots \ e^{(n-1)j\frac{2\pi}{\lambda}d \cos \theta}] \quad (2.8)$$

2.4.2 Metode Pengolahan Sinyal pada Sistem MIMO Radar

Sinyal adalah besaran yang diamati dalam selang waktu tertentu. Pada pengolahan sinyal untuk sistem MIMO Radar terdapat 2 macam pengolahan yaitu:

1) Metode *Combining*

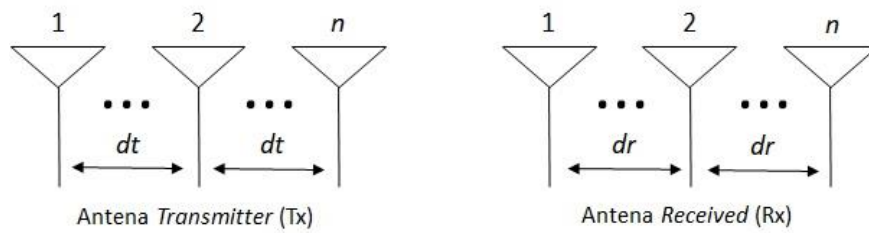
Metode *Combining* adalah menjumlahkan secara langsung semua sinyal *received* (y) yang didapat dari masing-masing antenna dan untuk sistem MIMO 2x2. Dapat dituliskan pada persamaan (2.9)

$$y(n) = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + \dots + y_n \quad (2.9)$$

2) Metode *Convolution*

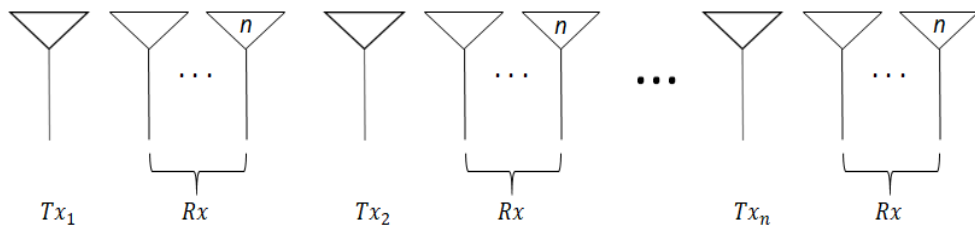
Metode *Convolution* adalah penggabungan dua sinyal untuk membentuk sinyal ketiga. Konvolusi dari dua buah sinyal waktu diskrit, $x[n]$ dan $y[n]$ secara matematis dinyatakan pada persamaan (2.10)

$$h[n]=x[n]*y[n] \quad (2.10)$$



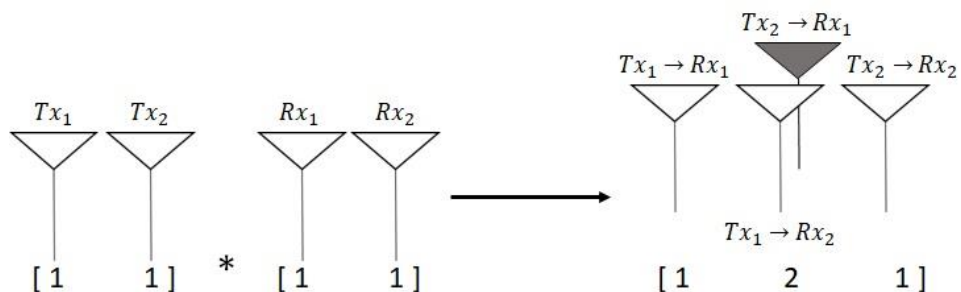
Gambar 2.6 Konfigurasi antenna MIMO-Radar

Pada **Gambar 2.6** menunjukkan urutan konfigurasi MIMO-Radar dengan posisi *colocated* atau jarak antar antenna berdekatan. Pada (dt) menunjukkan jarak antar antenna *transmitter* (tx) dan pada (dr) menunjukkan jarak antar antenna *received* (rx).



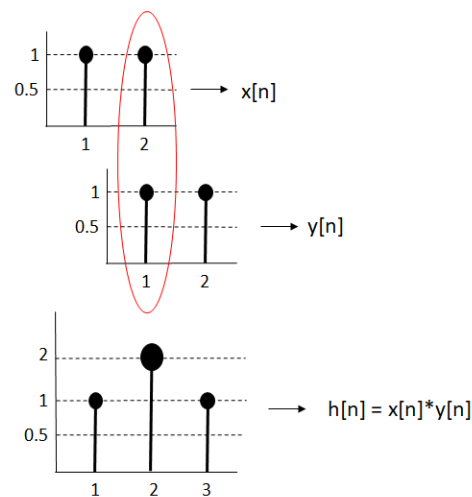
Gambar 2.7 Virtual Array MIMO-Radar

Pada **Gambar 2.7** menunjukkan gambaran prinsip kerja pada sistem antenna MIMO-Radar yaitu setiap antenna *received* menerima semua sinyal yang dikirimkan disetiap antenna *transmitter* yang berbeda. Sehingga, sinyal MIMO dapat dimodelkan sebagai sinyal yang dibangkitkan dari suatu virtual array. Dari model tersebut dapat ditunjukkan bahasa operasi MIMO akan menyebabkan konfigurasi array dengan jumlah dan distribusi arus yang berbeda, sehingga radar seolah memiliki beam yang lebih sempit. Untuk menunjukkan cara kerja *convolution* pada MIMO-Radar dapat dicontohkan sebagai berikut :



Gambar 2.8 Ilustrasi dari MIMO-Radar dengan konsep virtual array

Pada **Gambar 2.8** adalah ilustrasi sistem antenna mimo dengan skema 2x2 dan menggambarkan penyusunan antenna dengan skema antenna yang *colocated* Pada masing-masing antenna mempunyai magnitude distribusi arus sebesar yang yang dituliskan pada **Gambar 2.8**. Pada **Gambar 2.8** menunjukkan bahwa adanya penumpukan sinyal dengan jarak antar antenna yang sama yaitu antara antenna *transmit* 1 (Tx_1) dan antenna *received* 2 (Rx_2) dengan antenna *transmit* 2 (Tx_2) dan antenna *received* 1 (Rx_1).

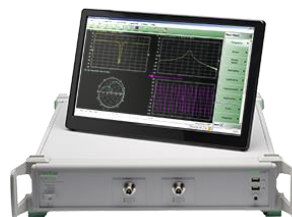


Gambar 2.9 Pengoprasian hasil konvolusi sinyal

Pada **Gambar 2.9** menunjukkan hasil pengoprasian konvolusi pada sinyal yang dihasilkan oleh antenna MIMO 2x2. Dengan mengkonvolusikan kedua sinyal maka terbentuk hasil sinyal baru.

2.5 Vector Network Analyzer

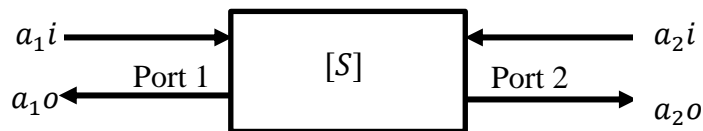
Vector Network Analyzer (VNA) merupakan bentuk analisa jaringan RF (Radio Frequency) yang banyak digunakan untuk aplikasi desain RF. VNA adalah sistem uji untuk kinerja RF dan perangkat gelombang mikro dicirikan dalam *Scattering Parameter* (S-parameter).



Gambar 2.10 Vector Network Analyzer

Pada **Gambar 2.10** adalah bentuk dari *Vector Network Analyzer* (VNA) yang memiliki 2 port dan akan berikan permodelan untuk radar.

S-parameter digunakan pada input dan output pada port untuk suatu sistem. Jika pada VNA hanya terdapat 2 port yang akan digunakan, maka parameter S_{12} dapat diartikan sebagai koefisien yang dikirimkan dari port 2 ke port 1. Jika pada parameter S_{21} dapat diartikan sebagai koefisien yang dikirimkan dari port 1 ke port 2. Kemudian pada parameter S_{11} digambarkan sebagai koefisien sinyal pantul pada port 1, begitu juga pada parameter S_{22} digambarkan sebagai koefisien sinyal pantul pada port 2 atau bisa disebut sebagai *Return Loss* [8][9]. S-parameter dapat digambarkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.11 *Two Port Network*

Pada **Gambar 2.11** menjelaskan kinerja 2 port yang berada di VNA untuk mendapatkan koefisien pantul atau S-parameter yang dihasilkan. Koefisien pantul S_{11} dapat dilihat pada persamaan (2.11) dengan syarat saat port 2 diterminasi dengan beban *match*^[8].

$$S_{11} = \frac{a_{1o}}{a_{1i}} \quad (2.11)$$

Pada Koefisien pantul S_{22} dituliskan pada persamaan (2.12) dengan syarat saat port 1 diterminasi dengan beban *match*[8].

$$S_{22} = \frac{a_{2o}}{a_{2i}} \quad (2.12)$$

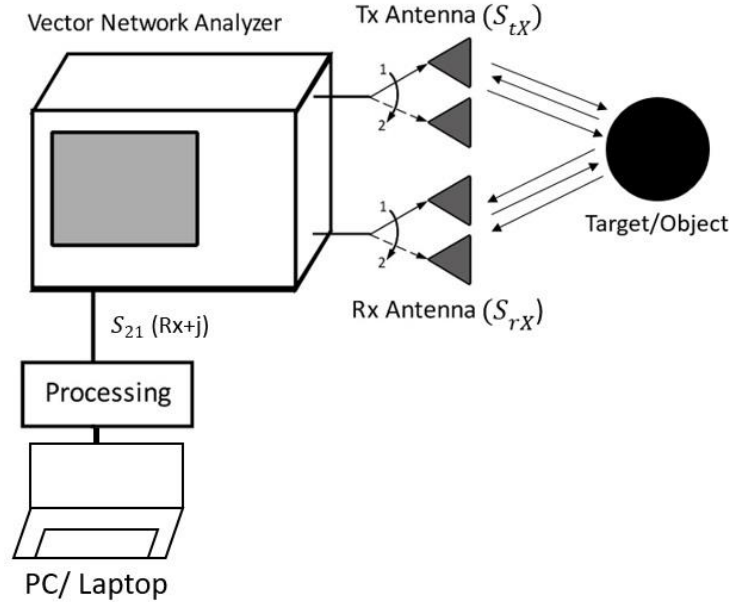
Pada **Gambar 2.11** juga menjelaskan untuk mendapatkan nilai koefisien pantul pada masing-masing port dan dijelaskan pada persamaan (2.13) dan untuk koefisien transmisi digambarkan pada persamaan (2.14).

$$S_{12} = \frac{a_{1o}}{a_{2i}} \quad (2.13)$$

$$S_{21} = \frac{a_{2o}}{a_{1i}} \quad (2.14)$$

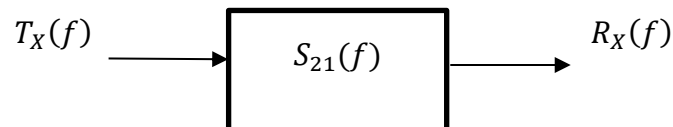
2.6 Permodelan Sistem RADAR pada *Vector Network Analyzer*

Permodelan pada eksperimen kali ini VNA sebagai model sistem RADAR yang digunakan mempunyai 2 port yang sudah ditentukan permodelannya.



Gambar 2.12 Permodelan Sistem MIMO-RADAR pada VNA

Pada **Gambar 2.12** adalah penggambaran sistem MIMO-Radar dengan VNA. Pada port 1 sebagai pemancar (Tx) dan port 2 sebagai penerima (Rx). Hasil pengukuran S_{21} menunjukkan fungsi transfer yang menggambarkan hubungan antara sinyal yang ditransmisikan (S_{tX}) dan sinyal yang diterima (S_{rX}).



Gambar 2.13 Model hubungan antara sinyal pancar dan sinyal terima.

Pada **Gambar 2.13** menjelaskan bahwa hubungan antar sinyal pancar dan sinyal terima sehingga didapat seperti pada persamaan (2.15)

$$R_X(f) = T_X(f)S_{21}(f) \quad (2.15)$$

$R_X(f)$ pada persamaan (2.16) menyatakan hasil spektrum sinyal pantul yang diterima dan $T_X(f)$ sebagai spektrum dari sinyal yang dipancarkan oleh sistem radar.

$$R_X(t) = F^{-1}[R_X(f)] \quad (2.16)$$

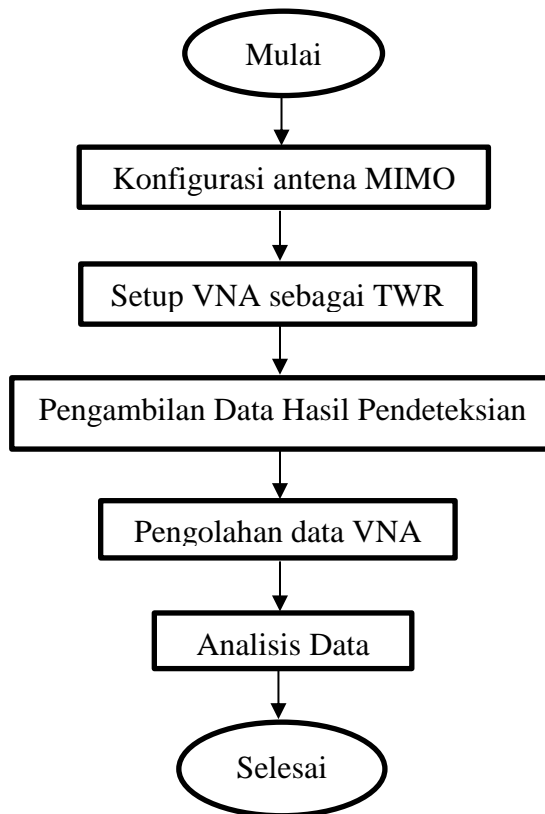
Untuk mengolah atau merekonstruksi dalam bentuk sinyal terima ke kawasan waktu maka dilakukan perhitungan invers transformasi *Fourier* seperti yang dituliskan pada persamaan (2.16).

Sinyal yang sudah di rekonstruksi akan diberikan filter berupa sinyal dengan bentuk pulsa monocycle. Filter digunakan untuk memperjelas pantulan-pantulan sinyal yang sudah diterima oleh antena penerima sehingga lebih mudah untuk dianalisa.

BAB III MODEL SISTEM DAN PERANCANGAN

3.1 Perancangan Eksperimen

Pada rancangan eksperimen untuk sistem MIMO yang akan digunakan pada *Through Wall Radar* (TWR) kali ini menggunakan antena *B-Static*, yaitu dengan menggunakan 2 antena yang dihubungkan pada 2 port VNA. *B-Static* digunakan karena pada eksperimen kali ini membutuhkan data yang berbeda untuk setiap antenanya dan pada eksperimen kali ini kita menggunakan jenis sistem Statistical MIMO-RADAR yang diterapkan pada *Through Wall Radar*.

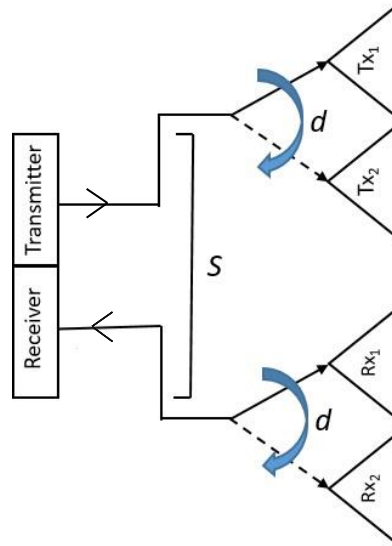


Gambar 3.1 Diagram Alir Eksperimen

Pada diagram alir yang ditunjukkan oleh **Gambar 3.1** menunjukkan langkah-langkah untuk melakukan eksperimen pada MIMO-TWR yang akan dilakukan pada eksperimen kali ini, untuk memperjelas langkah-langkah metode yang akan dilakukan yaitu meliputi Rancangan Konfigurasi MIMO-RADAR,

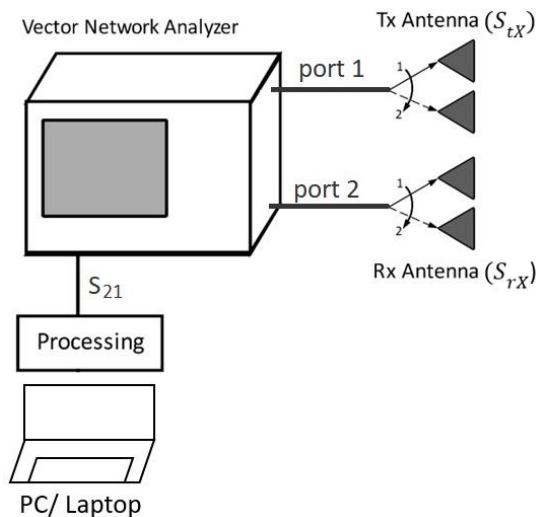
3.1.1 Rancangan Konfigurasi MIMO-RADAR

Pada langkah pertama penelitian kali ini antenna diberikan konfigurasi yang menyerupai sistem pada MIMO. Antena MIMO pada penerima (Tx) dan (Rx) diuji oleh sejumlah konfigurasi yang mempertimbangkan parameter jarak antar elemen (d), jarak antara Tx dan Rx (S) dan dengan jumlah antena (n).



Gambar 3.2 Konfigurasi Antena MIMO

Konfigurasi antena MIMO yang telah didapat lalu diterapkan pada sistem RADAR dengan dihubungkannya antena dengan VNA sehingga mendapatkan rancangan sistem MIMO-RADAR seperti pada **Gambar 3.2**.

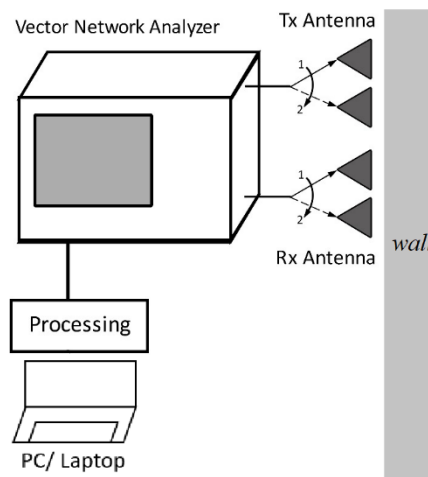


Gambar 3.3 Konfigurasi MIMO-RADAR

Pada **Gambar 3.3**, menjelaskan bawah adanya pergantian port untuk antenna Tx dan Rx yang berbeda dan ditempatkan pada konfigurasi antenna MIMO-RADAR yang sudah ditentukan.

3.1.2 Perancangan Konfigurasi MIMO TWR

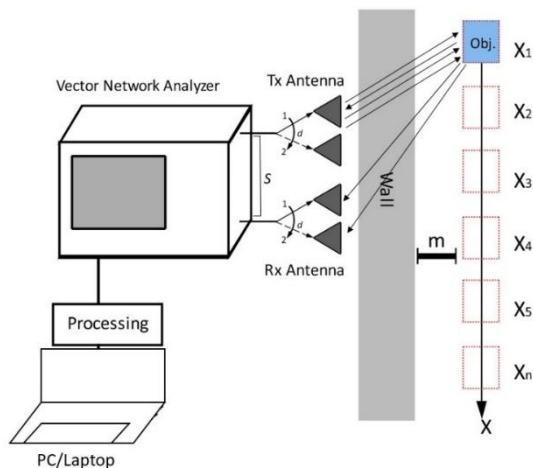
Pada perancangan konfigurasi MIMO untuk *Through Wall Radar* yaitu dengan menetapkan konfigurasi MIMO-RADAR kepada sistem TWR yang telah ditetapkan. Konfigurasi MIMO untuk TWR dapat dilihat pada **Gambar 3.4**



Gambar 3.4 Konfigurasi MIMO pada TWR

3.1.3 Perancangan Eksperimen MIMO *Through Wall Radar* (TWR)

Pada umumnya TWR sebagai radar yang bergerak untuk mendeteksi objek yang berada di balik dinding, tetapi pada eksperimen kali ini dikarenakan tempat untuk melakukan eksperimen tidak memungkinkan adanya pergeseran VNA maka yang dilakukan pergeseran itu adalah objek yang berada di balik dinding.



Gambar 3.5 Setup Eksperimen MIMO TWR

Pada **Gambar 3.5**, Menjelaskan setup eksperimen dengan m sebagai jarak antar dinding dengan objek, X adalah pergeseran yang dilakukan pada dan jarak yang akan ditentukan untuk eksperimen nanti. X_1, X_2, X_3, X_n adalah titik-titik untuk setiap pengambilan data dan dengan jarak yang sudah di tentukan nanti.

Data S_{21} yang sudah diperoleh pada VNA akan dirubah dari frekuensi domain menjadi time domain dengan menggunakan MATLAB untuk mengetahui hasil perbedaan waktu pantul pada setiap pergeseran objek dan pengambilan data yang berbeda dan pada setiap antenna MIMO yaitu antenna Tx_1 dengan Rx_1 , Tx_1 dengan Rx_2 , Tx_2 dengan Rx_1 , Tx_2 dengan Rx_2 . Data diambil sesuai dengan jumlah antenna MIMO yang akan dirancang. Setelah itu, penyusunan data sinyal yang sudah direkonstruksi.

3.2 Design Sistem Eksperimen

Pada design sistem eksperimen MIMO untuk *Through Wall Radar* dilakukan perancangan sistem pengolahan sinyal

3.2.1 Perancangan Sistem VNA

Pada perancangan sistem VNA kali ini, metode digunakan adalah antenna pengirim (Tx) pada port 1 dan penerima (Rx) pada port 2, disambungkan ke VNA (Vector Network Analyzer). VNA akan berperan sebagai pengatur rentang frekuensi kerja yang diinginkan dan sebagai keluaran hasil pantulan yang berupa S-parameter. Prinsip kerja pada penelitian kali ini adalah antenna pengirim (Tx) akan mengirimkan gelombang elektromagnetik ke dinding yang sudah ada. Terdapat beberapa medium yaitu udara, dinding, dan objek. Setiap gelombang elektromagnetik yang dipancarkan akan memberikan pantulan ketika mengenai medium yang berbeda. Pantulan yang terjadi akan ditampilkan oleh VNA sebagai S-parameter dalam bentuk magnitude. Bentuk magnitude tersebut akan diubah menjadi format Polar mode ($R+Jx$). Mode ini diatur untuk mendapatkan nilai Real dan Imaginer dan diubah menjadi bentuk pulsa melalui MATLAB. Pengkategorian dapat dilakukan setelah pulsa didapat. Pada eksperimen kali ini menggunakan sistem MIMO 2x2.

3.2.2 Perancangan Sistem Pengolahan Sinyal

Perancangan Sistem Pengolahan sinyal kali ini menggunakan aplikasi tambahan yang disebut MATLAB. Tahapan sistem pengolahan sinyal pada MATLAB kali ini dibagi beberapa langkah yaitu :

1) Pengambilan Data S_{21} pada VNA

Pada pengambilan data kali ini dipastikan pada VNA bahwa pengambil data S_{21} dalam bentuk format Polar ($R+Jx$) sehingga mendapatkan nilai Real dan Imaginer. Pengambilan data diambil untuk setiap antena Transmit (Tx) dan antena Receiver (Rx) pada sistem MIMO 2x2 yang akan diterapkan. Lalu kita proses kedalam laptop atau PC yang terdapat MATLAB untuk diekstraksi menjadi kawasan Time Domain.

2) Merekonstruksi Data $S_{21}(f)$ pada MATLAB

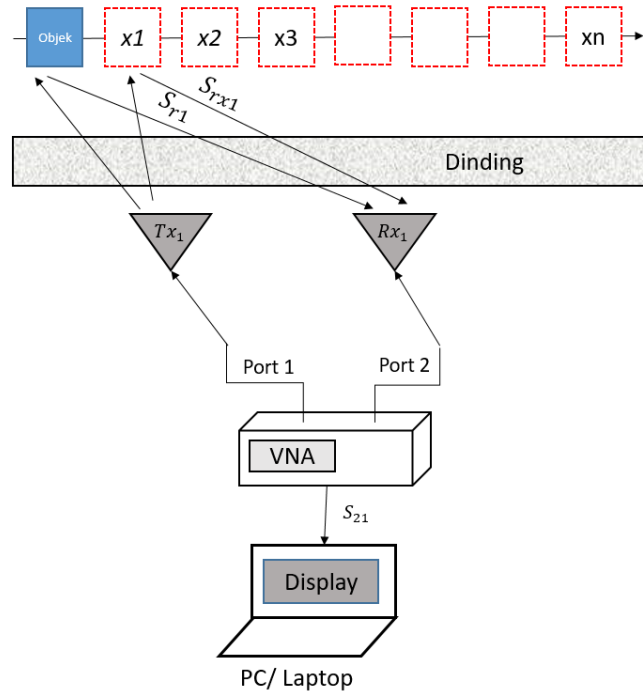
Merekonstruksi data sinyal yang dipancarkan $T_x(f)$ dan sinyal yang diterima $R_x(f)$ oleh VNA berbentuk domain frekuensi lalu diolah menggunakan aplikasi Matlab dengan memasukkan data-data yang didapat sehingga menjadi domain waktu atau dalam bentuk invers transformasi Fourier yang sudah di jelaskan pada persamaan 2.2.

3) Penyusunan Deteksi Sinyal

Pengolahan hasil sinyal terima yang didapatkan oleh VNA, setelah itu dapat diolah dan dilihat respon dari setiap antena pada sistem MIMO yang dirubah menjadi sinyal rekonstruksi. Data sinyal-sinyal yang sudah direkonstruksi disusun dan dikonvolusikan seperti adanya metode pada MIMO-Radar.

3.2.3 Pengambilan Data Eksperimen

Pada eksperimen kali ini sistem antenna yang akan dihasilkan yaitu pada sistem SISO dan sistem MIMO 2x2 yang dimodelkan pada *Through Wall Radar* (TWR).



Gambar 3.6 Permodelan proses *B-scan* pada sistem SISO

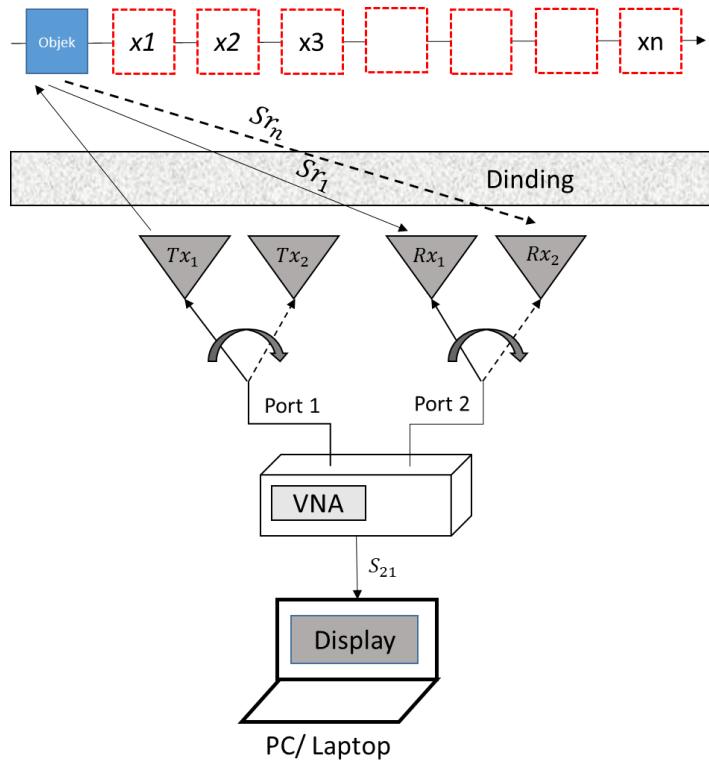
Pada **Gambar 3.6**, menjelaskan tentang proses pengambilan data untuk membentuk citra hasil *B-Scan* pada sistem SISO untuk *Through Wall Radar* (TWR). Display yang akan dikeluarkan yaitu berupa bentuk citra hasil *B-Scan*. Untuk X_1, X_2, X_3, X_n untuk menunjukkan jarak pergeseran objek. Pada S_{rx1} merupakan penggambaran sinyal *receive* lalu pengambilan data S_{21} pada titik pergeseran pertama objek dan S_{rxn} untuk menunjukkan pada titik pergeseran objek ke- x_n . Adapun matriks citra hasil *B-Scan* dapat ditulis pada persamaan (3.1)

$$B_{sc(a \times b)} = [S_{rx1} \quad S_{rx2} \quad S_{rx3} \quad \dots \quad S_{rxn}] \quad (3.1)$$

Pada persamaan 3.1 menunjukkan $B_{sc(a \times b)}$ yaitu sebagai hasil untuk menampilkan matriks citra hasil *B-scan* dengan panjang kolom (a) dan baris (b). Pada eksperimen kali ini kita mempunyai 21 titik pergeseran per-5cm yaitu sejauh 1 m dan pengambilan sample dengan jumlah 2047 yang akan diambil sehingga membentuk matriks B-Scan seperti persamaan (3.2)

$$Bscan_{(21 \times 2047)} = \begin{bmatrix} Srx_{1,1} & \cdots & Srx_{21,1} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ Srx_{1,2047} & \cdots & Srx_{21,2047} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Dalam eksperimen kali ini menghasilkan 2 metode pada sistem MIMO 2x2 yang akan digunakan yaitu metode *Combining* dan metode *Convulasi*.



Gambar 3.7 Permodelan pada sistem MIMO 2x2

Pada **Gambar 3.7**, menjelaskan tentang pengambilan data S_{21} pada sistem MIMO 2x2. Untuk Sr_n menerangkan bahwa sinyal *received* yang didapat pada sinyal *received* ke- n . Dikarnakan pada sistem MIMO 2x2 ini mempunyai 4 hasil sinyal *received* maka akan dibuat 2 metode yaitu :

1) Metode *Combining*

Metode *Combining* adalah menjumlahkan secara langsung semua sinyal *received* (Sr) yang didapat dari masing-masing antenna dan untuk sistem MIMO 2x2. Dapat dituliskan pada persamaan (3.2)

$$Sr(4) = Sr_1 + Sr_2 + Sr_3 + Sr_4 \quad (3.2)$$

2) Metode *Convolution*

Metode *Convolution* yaitu dengan memberikan beban yang sama pada sinyal *received* (S_r) yang didapat dari masing-masing antenna dan mempunyai jarak antar Radar yang sama. Adapun persamaan yang didapat untuk metode *convolution* sinyal pada MIMO 2x2 dapat di tuliskan pada persamaan (3.3)

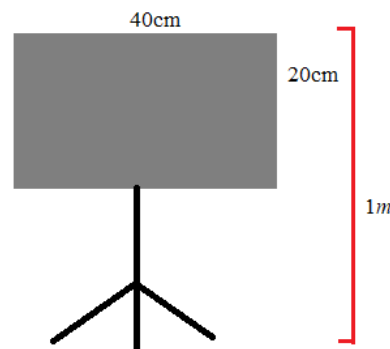
$$S_r(4) = S_{r_1} + 2(S_{r_2} + S_{r_3}) + S_{r_4} \quad (3.3)$$

3.3 Perangkat yang digunakan

Perangkat keras yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu :

1. Objek

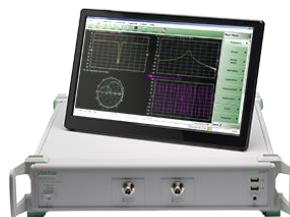
Objek pada penelitian kali ini yang dipilih adalah lempengan besi karena dapat memantulkan gelombang lebih baik daripada medium-medium lainnya. Dengan ukuran lempengan besi yang tercantum pada **Gambar 3.8**



Gambar 3.8 Objek yang digunakan

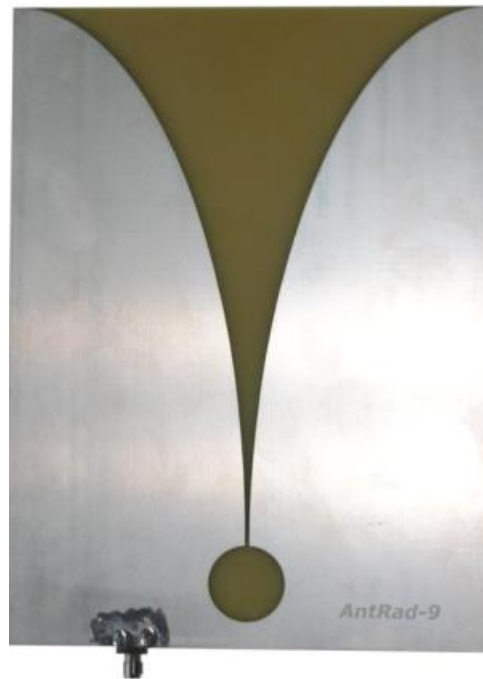
2. *Vector Network Analyzer* (VNA)

Vector Network Analyzer (VNA) digunakan untuk pembangkit sinyal dengan rentang frekuensi yang telah ditentukan.



Gambar 3.9 VNA Anritsu MS46322A

3. Antena Vivaldi



Gambar 3.10 Antena yang digunakan

Pada eksperimen kali ini menggunakan antena yang ditunjukkan pada **Gambar 3.10** yaitu dengan menggunakan 2 buah antena *Ultrawideband* dengan struktur antena *vivaldi* yang bekerja pada frekuensi 1 GHz – 10 GHz.

BAB IV

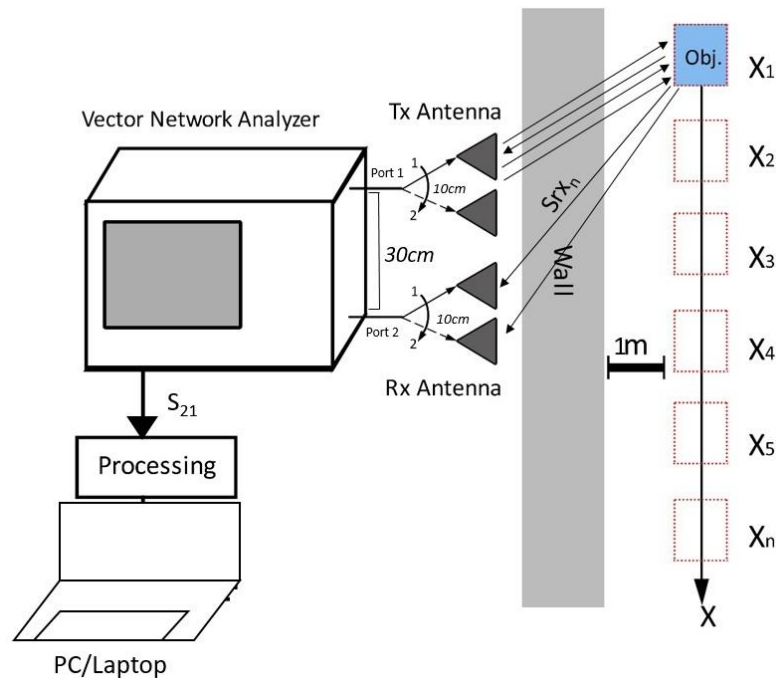
HASIL DAN ANALISIS

4.1 Hasil dan Analisis Eksperimen

Hasil eksperimen kali ini terdiri dari 4 jenis eksperimen yaitu eksperimen untuk menentukan konfigurasi Antena dan jarak objek dibalik dinding, eksperimen pengambilan data untuk Antena SISO-TWR, hasil pengambilan data untuk antena MIMO-TWR dengan masing masing metode MIMO-Radar yang akan diterapkan.

4.1.1 Konfigurasi sistem MIMO 2x2 pada TWR

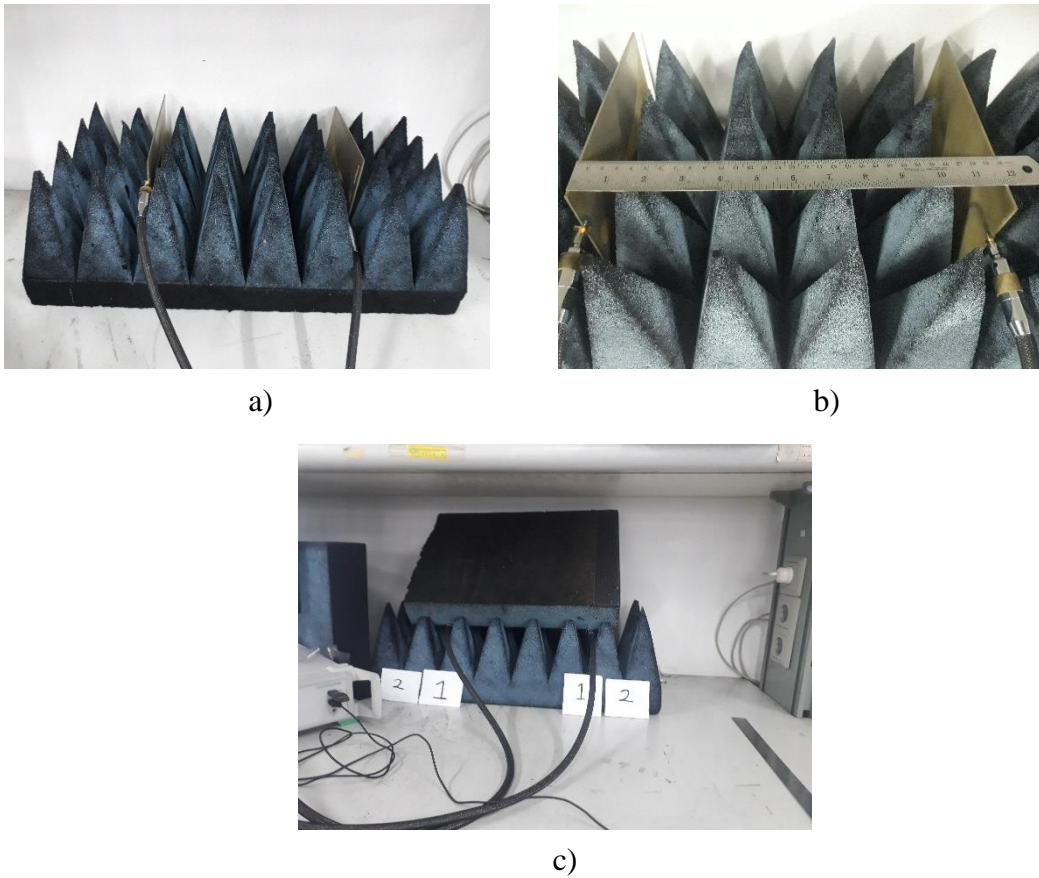
Pada tahap ini untuk mengetahui konfigurasi antena dan jarak objek yang baik digunakan pada eksperimen selanjutnya dengan pengambilan data S_{21} pada VNA dan diolah pada MATLAB.



Gambar 4.1 Konfigurasi sistem MIMO 2x2 TWR pada VNA

Pada **Gambar 4.1**, disebutkan bahwa jarak antar antena MIMO yaitu 10cm, antena Tx dengan antena Rx yaitu 30cm, jarak objek dengan dinding 1 m, proses scanning untuk objek digeser secara vertikal per-5cm sampai dengan 1 m dan VNA diberikan rentang frekuensi dari 1 GHz-10GHz. Sistem MIMO yang di gunakan pada eksperimen kali ini MIMO-TWR 2x2 yang artinya mempunyai 2 antena

Transmitter (Tx) dan 2 antena Receiver (Rx). Untuk S_{rx_n} merupakan sinyal *received* yang akan diproses dan diambil dalam bentuk Real Imaginer pada S_{21}

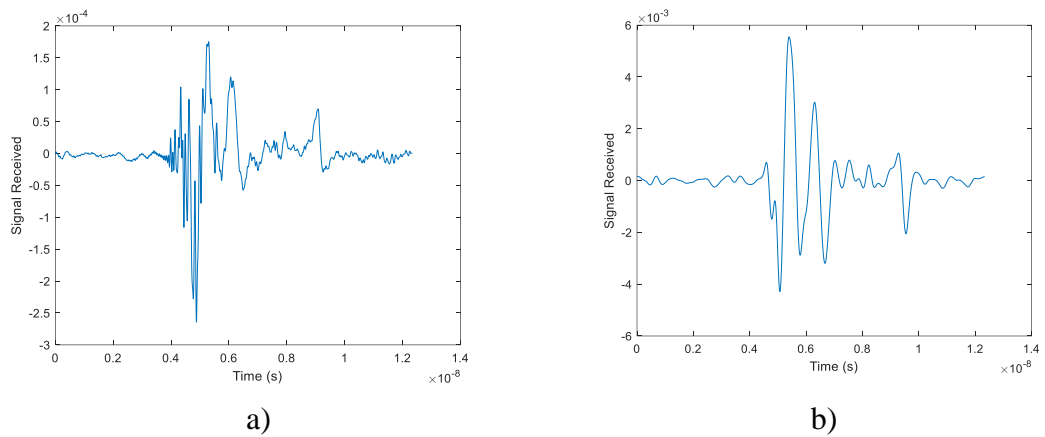


Gambar 4.2 dokumentasi a) Antena dengan absorber b) Jarak antar antena c)

Kadaan MIMO

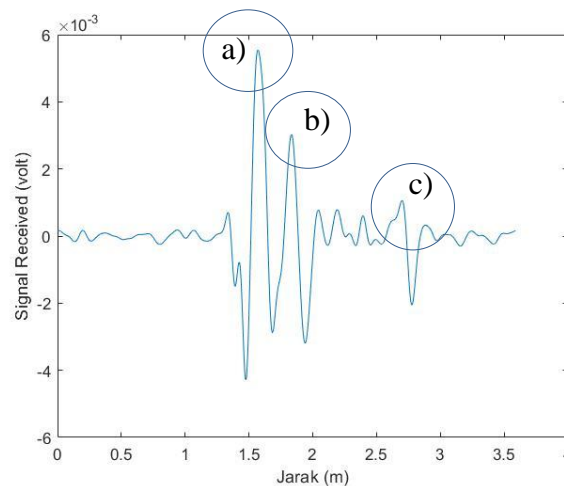
Pada **Gambar 4.2(a)** menunjukkan penempatan antena dengan absorber agar antena tidak berubah dan tidak dipengaruhi oleh benda disekitarnya. Pada **Gambar 4.2(b)** menunjukkan antena ditempatkan pada jarak yang sudah diinginkan yaitu 30cm untuk jarak antara *Receiver* dan *Transmitter* dan 10 cm untuk jarak antar antena MIMO.

Pada eksperimen kali ini dilakukan percobaan pada sistem SISO untuk *Through Wall Radar (TWR)* terlebih dahulu agar mengetahui berfungsi atau tidak Radar yang akan diterapkan pada sistem MIMO nantinya.



Gambar 4.3 a) Grafik sinyal pantul tanpa filter b) Grafik sinyal pantul dengan filter

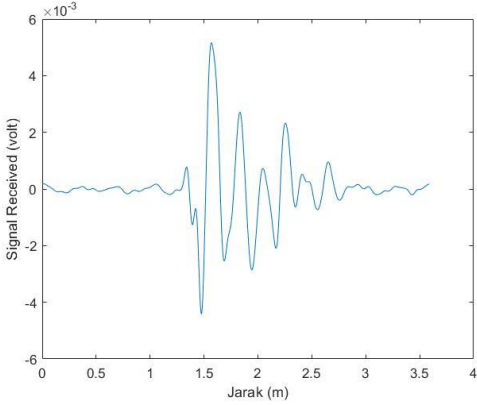
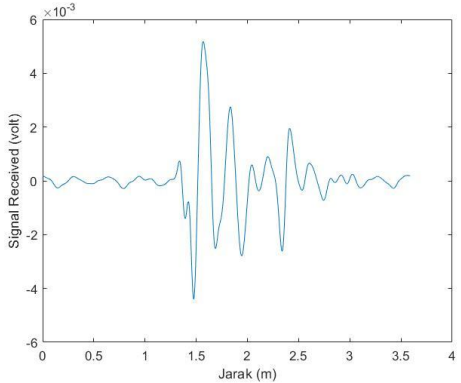
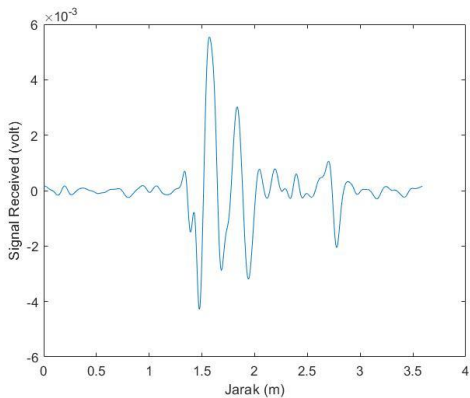
Pada **Gambar 4.3** menunjukkan sinyal yang sudah direkonstruksi dan diberi filter agar hasil analisis lebih akurat. Data yang diambil pada **Gambar 4.3** adalah hasil konfigurasi sederhana pada sistem Radar SISO. Data diperoleh dari S_{21} yang direkonstruksi menjadi grafik sinyal pada kawasan waktu dan hasil yang diperoleh dari **Gambar 4.3** bahwa sinyal diberikan filter agar lebih mudah untuk analisis yang akan dilakukan pada eksperimen ini



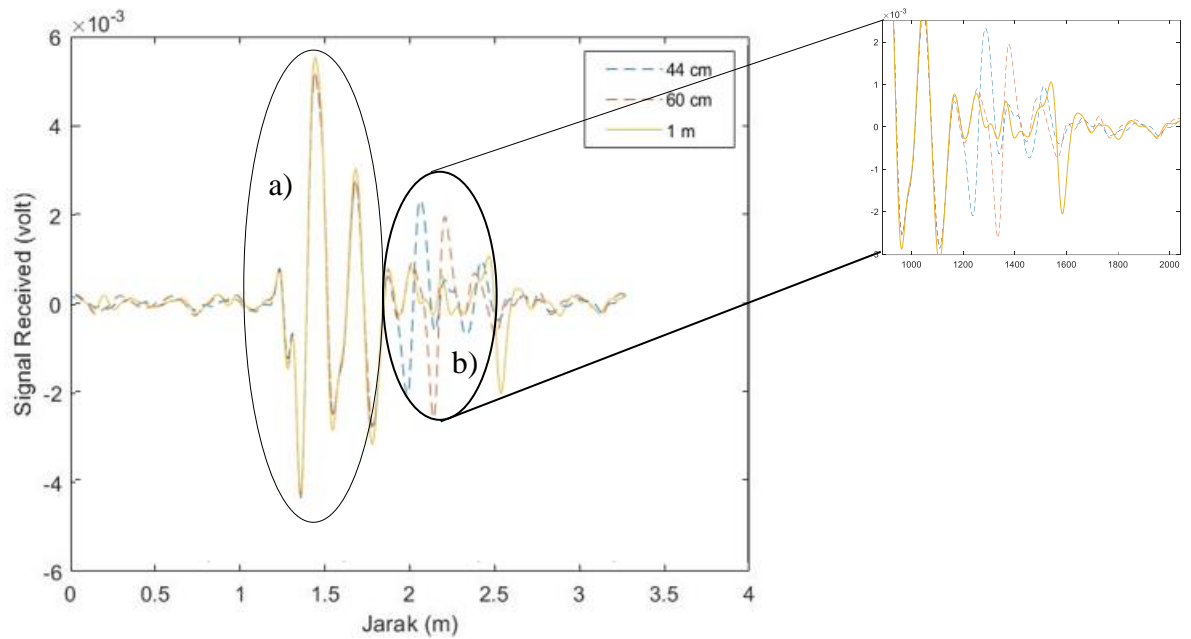
Gambar 4.3 Identifikasi Sinyal pantul yang di dapat

Pada **Gambar 4.3**, adalah hasil analisis yang didapat setelah melakukan eksperimen untuk TWR. Pada titik a) menggambarkan sinyal antenna langsung, b) menggambarkan sinyal pantulan dari dinding, dan c) adalah pantulan dari objek yang berhasil ditangkap oleh Radar.

Tabel 4.1 Hasil Deteksi

No.	Jarak Objek	Hasil Deteksi
1.	44 cm	
2.	60 cm	
3.	1 m	

Untuk mengetahui Radar dapat mendeteksi objek yang berada dibalik dinding, maka dilakukan pengambilan data yang dilakukan pada beberapa jarak antara objek dengan dinding. Pada **Tabel 4.1** merupakan hasil dari pengambilan data pada beberapa titik yaitu pada jarak 44 cm, 60 cm dan 1 m

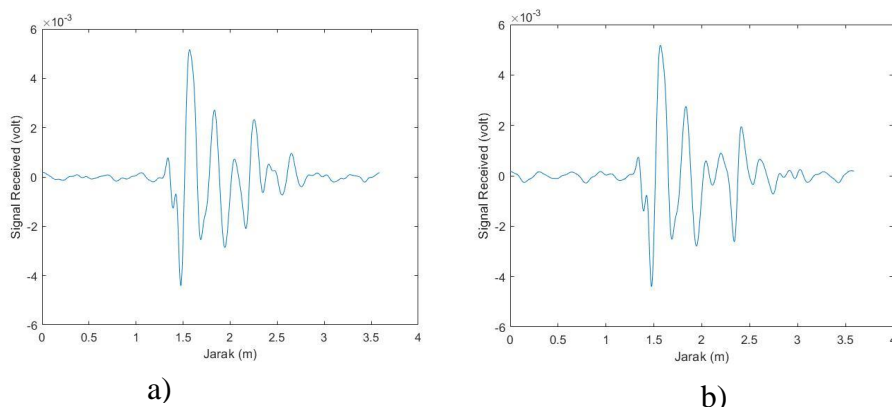


Gambar 4.4 a)Pantulan Lapisan dinding b)Pergerakan sinyal pantul pada objek

Pada **Gambar 4.4(a)** Menunjukkan pantulan dinding untuk setiap lapisan. Pada **Gambar 4.4(b)** Menunjukkan adanya perpindahan sinyal pantul pada objek dan menunjukkan bahwa Radar dapat mendeteksi keberadaan sebuah objek dengan jarak yang sudah di tentukan.

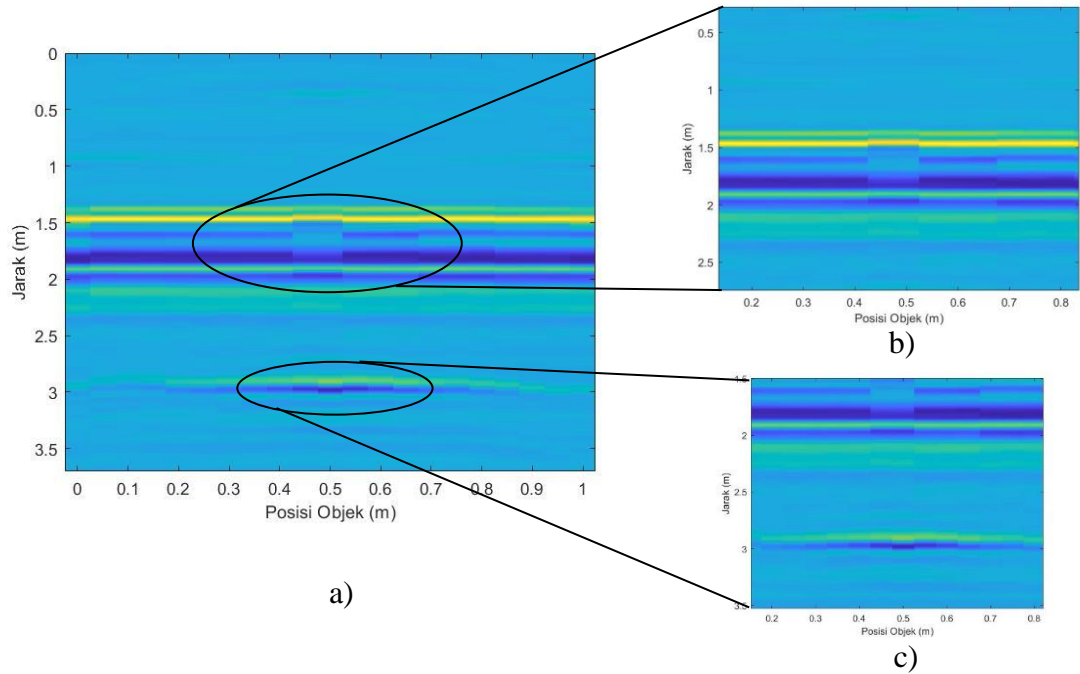
4.1.2 Hasil Pengambilan Data dan analisis pada Sistem SISO

Langkah eksperimen SISO kali ini sebagai bahan pembanding untuk sistem antenna MIMO. Hasil yang diperoleh pada Dengan menyajikan matriks citra hasil pendeteksian berupa gambar *B-Scan*.



Gambar 4.5 a) SISO setelah digeser pada titik X_3 b) SISO setelah digeser pada titik titik X_5

Pada **Gambar 4.5** merupakan salah satu contoh hasil data sinyal yang sudah direkonstruksi menjadi kawasan waktu dengan jarak yang sudah ditentukan, terlihat perbedaan antara dua sinyal pantul yang telah diproses.

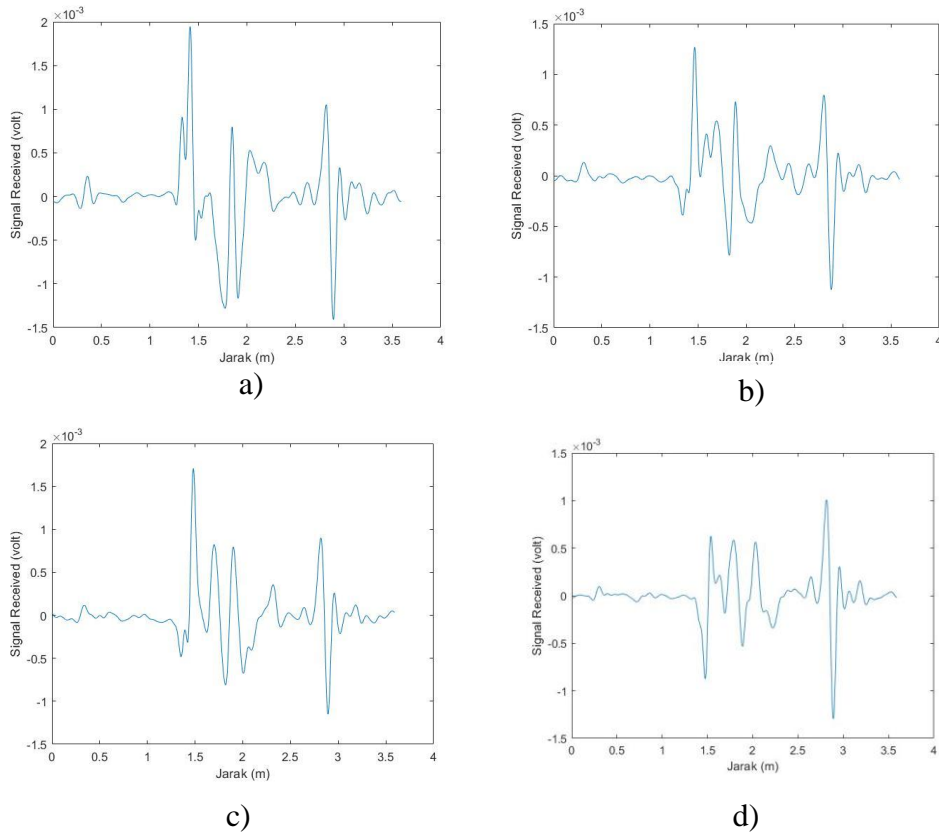


Gambar 4.6 a)B-Scan pada sistem SISO;b) Ketebalan Dinding;c) Pantulan Objek

Pada **Gambar 4.6** adalah matriks citra hasil pendeteksian berupa *B-Scan* merupakan sinyal rekonstruksi yang diruntutkan menurut jarak yang sudah ditentukan yaitu pergeseran per-5cm. Terlihat pada hasil citra gambar yang didapat antenna SISO dapat menangkap adanya objek dibalek dinding.

4.1.3 Hasil Pengambilan Data dan analisis untuk Sistem MIMO

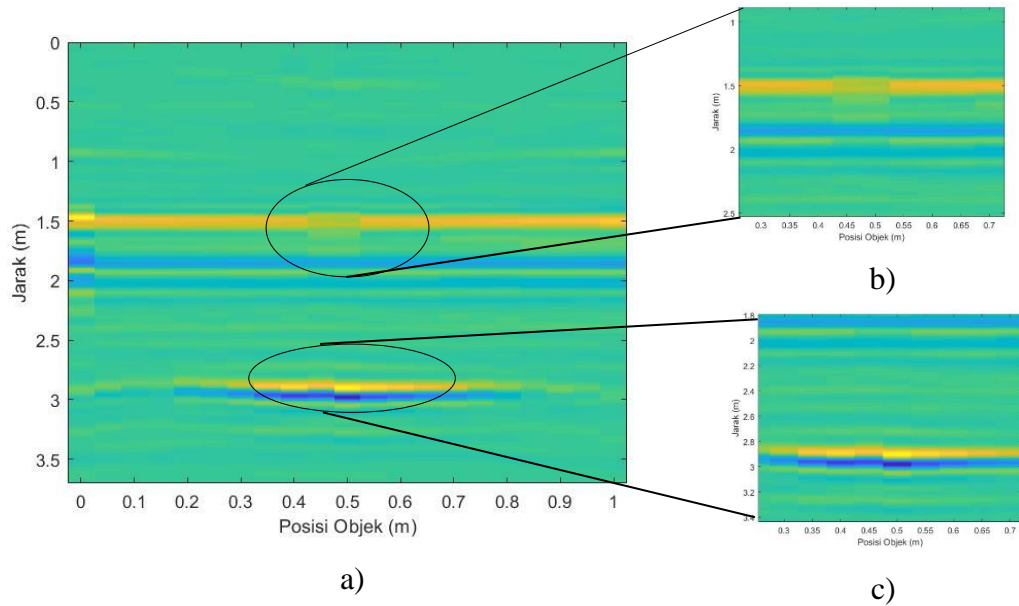
Pada tahap eksperimen akhir kali ini yaitu pengambilan data untuk sistem MIMO sebagai data untuk membuktikan bahwa sistem MIMO mempunyai hasil yang lebih baik dari pada sistem SISO pada umumnya.



Gambar 4.7 a) Antena TX₁ dan Antena RX₁ b) Antena TX₁ dan Antena RX₂ c) Antena TX₂ dan Antena RX₁ d) Antena TX₂ dan Antena RX₂

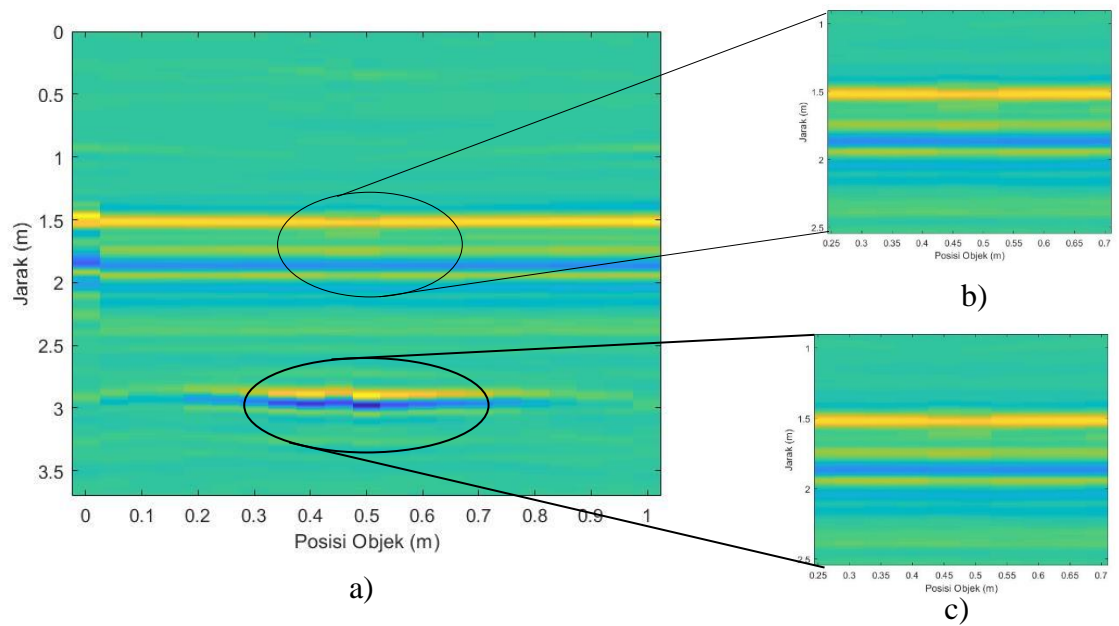
Pada sistem MIMO kali ini mendapatkan 4 sinyal terima seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.7**, karena terdapat 2 antenna transmitter (Tx) dan 2 antenna receiver (Rx) untuk menggambarkan sistem MIMO 2x2. **Gambar 4.7** mengambil data pada salah satu titik yaitu pada titik pergeseran 15 cm dan dapat dilihat perbedaan sinyal pantul yang dihasilkan pada setiap rangkaian antenna.

Hasil citra *B-Scan* sistem MIMO 2x2 didapatkan dari persamaan (4.1) dengan hasil sinyal received yang digeser berdasarkan jarak per-5cm sejauh 1 m (S_{rx}) yang berbeda. MIMO 2x2 mempunyai 4 sinyal *received* yang di peroleh dari setiap titik pergeseran objek dan di distribusikan pada persamaan (3.2) yang menggambarkan metode *combining* dan didistribusikan pada persamaan (3.4) yaitu metode *convolusi*.



Gambar 4.8 a) Hasil B-Scan sistem MIMO 2x2 metode *combining*; (b) Pantulan dinding; c) Pantulan pada objek

Sistem MIMO 2x2 yang dilakukan pada eksperimen kali ini telah mendapatkan hasil seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.8** dengan menggunakan metode *combining*. Pada **Gambar 4.8(b)** menunjukkan pantulan yang dihasilkan oleh dinding dan pada **Gambar 4.8(c)** menunjukkan pantulan yang dihasilkan pada objek.



Gambar 4.9 a) Hasil B-Scan sistem MIMO 2x2 metode *convolusi* b) Pantulan dinding; c) Pantulan pada objek

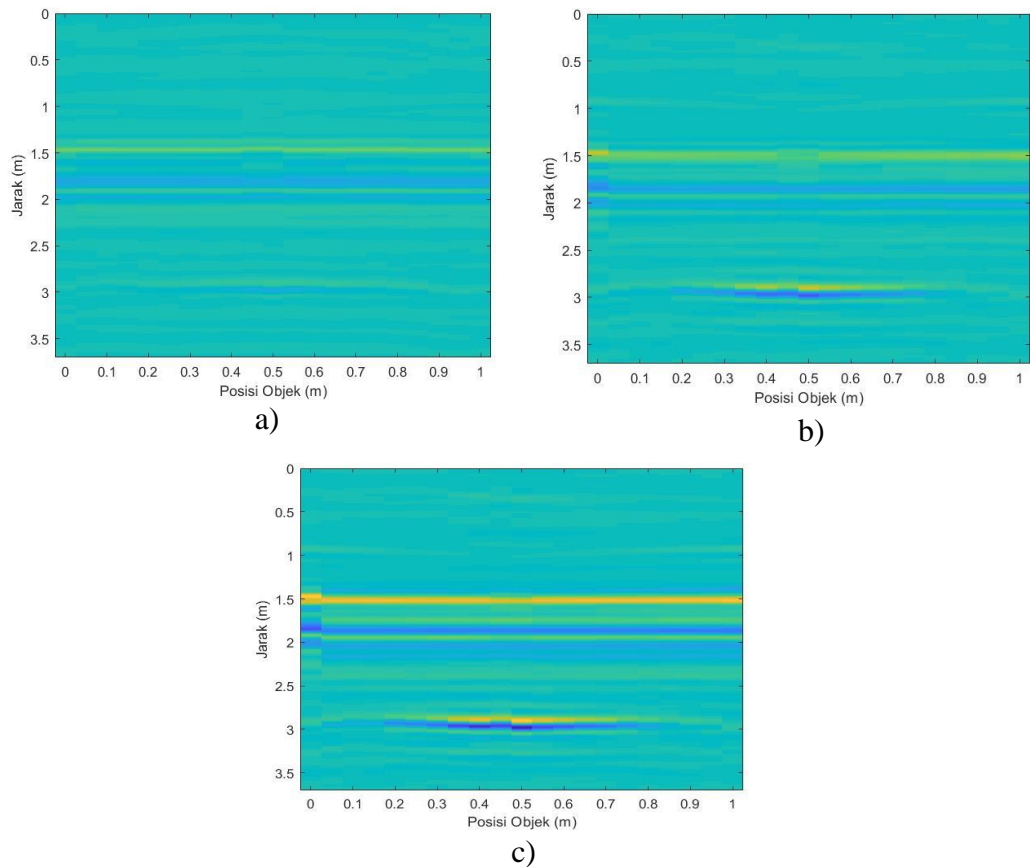
Pada **Gambar 4.9** dengan menggunakan metode *convolusi* untuk Sistem MIMO 2x2 yang dilakukan pada eksperimen kali ini telah mendapatkan hasil image citra hasil B-Scan yang telah diurutkan sesuai pergeseran titik yang dilakukan pada eksperimen.

4.1.4 Analisis Hasil antara sistem SISO dengan sistem MIMO 2x2

Analisis hasil yang akan dilakukan yaitu dengan melihat hasil B-Scan yang telah didapat pada sistem SISO dan sistem MIMO 2x2 yang ditetapkan pada *Through Wall Radar* (TWR) dengan 2 metode yaitu dengan metode *combining* dan metode *convolution*. Analisis kali ini dibagi 3 bagian yaitu :

1) Analisis setelah dinormalisasi

Analisis kali ini hasil citra gambar matriks B-Scan pada sistem SISO, MIMO 2x2 dengan metode *combining*, dan MIMO 2x2 dengan metode *convolution* telah ternormalisasi agar semakin mempertegas analisis yang akan didapat.

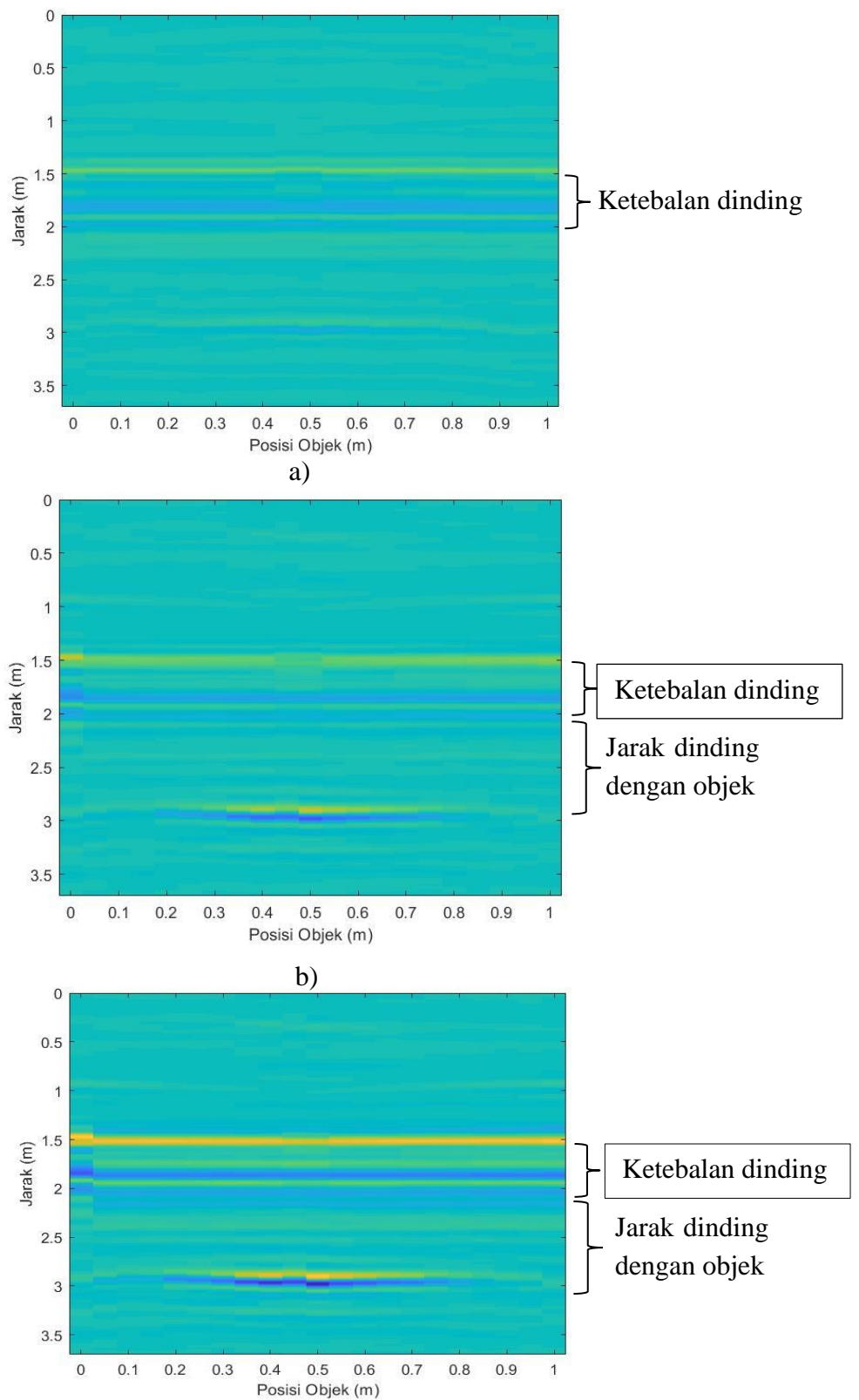


Gambar 4.10 Normalisasi a) Sistem SISO; b) MIMO *combining*; c) MIMO *convolution*

Pada **Gambar 4.10** menunjukkan hasil normalisasi menggunakan sistem MIMO 2x2 dengan metode konvolusi untuk masing-masing sistem yaitu pada sistem SISO, MIMO 2x2 dengan metode *combining*, dan MIMO 2x2 dengan metode *convolution*

2) Analisis hasil deteksi untuk pantulan pada dinding

Pada analisis hasil kali ini pada bagian dinding didapat dari 3 hasil yang diambil yaitu pada sistem SISO, sistem MIMO 2x2 dengan metode *combining* dan sistem MIMO 2x2 dengan metode *convolution*.

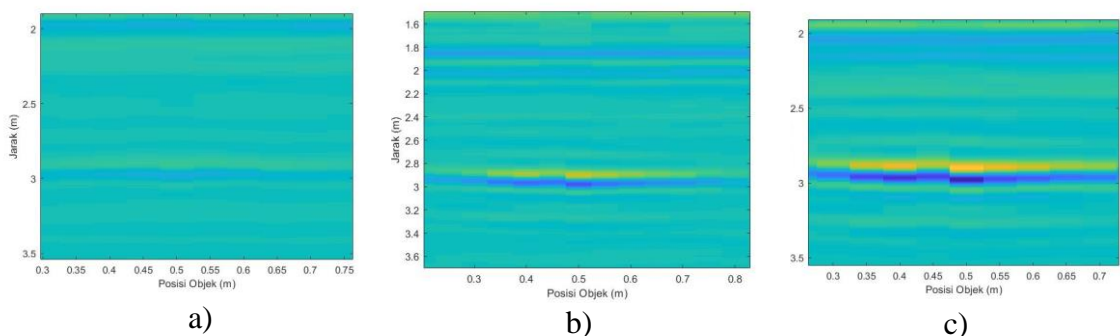


Gambar 4.11 Ketebalan Dinding a) Sistem SISO; b) MIMO *combining*; c) MIMO *Convolution*.

Pada **Gambar 4.11 (a)** merupakan perbandingan hasil sistem SISO dengan sistem MIMO yang menggunakan 2 metode yaitu *combining* dan *convolution*. Terlihat pada sistem SISO mendapatkan hasil yang kurang dibandingkan sistem MIMO 2x2. Pada sistem SISO tidak terlihat jelas batas pantulan dinding dibandingkan dengan sistem MIMO 2x2. Pada **Gambar 4.11 (b)** adalah hasil dari sistem MIMO 2x2 dengan metode *combining* yang menunjukkan deteksi hasil kurang baik dibandingkan dengan metode *convolution* yang ditunjukkan pada **Gambar 4.11 (c)**. Terlihat amplitudo yang dihasilkan lebih jelas dibandingkan metode *combining*. Pada analisa tahap ini bisa kita lihat untuk metode MIMO *combining* maupun *convolution* dapat memperlihatkan jarak objek terhadap dinding yaitu sebesar 1 m dan sesuai dengan eksperimen yang kita lakukan

3) Analisis hasil deteksi pada Objek

Pada hasil analisis kali ini dapat kita lihat dari amplitudo sinyal yang dipantulkan oleh objek sebagai perbandingan pada setiap sistem.



Gambar 4.12 Hasil amplitudo sinyal pada objek untuk sistem a) SISO; b) MIMO *combining*; c) MIMO *convolution*

Pada **Gambar 4.12 (a)** menunjukkan amplitudo yang di hasilkan pada sistem SISO yang dimana jelas jauh berbeda dengan sistem MIMO 2x2 yang menggunakan 2 metode yang berbeda, tetapi yang ditunjukkan pada **Gambar 4.12 (b)** dengan **Gambar 4.12 (c)** tidak memiliki perbedaan yang terlalu signifikan. Amplitudo yang dihasilkan oleh metode *convolution* sedikit lebih tebal dan terlihat lebih jelas. Pada metode yang menggunakan MIMO sistem kita dapat melihat ukuran benda yang didapat yaitu 0.4 m atau 40 cm pada spesifikasi objek yang kita gunakan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada tugas akhir kali ini telah dilakukan pengujian pada eksperimen sistem MIMO-RADAR yang diterapkan pada *Through Wall Radar* untuk mengamati kontribusi konfigurasi MIMO pada hasil deteksi yang diperoleh.

Percobaan atau eksperimen dilakukan dengan konfigurasi MIMO 2x2 dimana pada antenna *transmitter* (Tx) dan antenna *received* (Rx) menggunakan 2 buah antenna *Ultrawideband* dengan struktur antenna *vivaldi*.

Perbandingan hasil deteksi antara konfigurasi SISO-Radar dan MIMO-Radar menunjukkan bahwa hasil deteksi dalam bentuk B-Scan pada konfigurasi MIMO-Radar memperoleh hasil deteksi lebih baik sehingga objek lebih mudah teridentifikasi.

Pada hasil analisis yang didapat yaitu untuk sistem MIMO dengan metode *combining* dan *convolution* dapat disimpulkan bahwa sistem ini dapat menunjukkan keberadaan objek terhadap dinding sesuai setup eksperimen yang telah ditentukan yaitu 1 m dan dapat mendeteksi ukuran objek yang sesuai dengan objek yang digunakan yaitu 40 cm

5.2 Saran

Untuk mendapatkan performansi RADAR yang lebih baik pada eksperimen berikutnya, terdapat beberapa hal yang bisa dijadikan saran dan sebagai bahan pertimbangan yaitu, melakukan eksperimen ditempat yang lebih ideal agar mendapatkan hasil yang lebih akurat dan pembuatan untuk target dibalik dinding lebih detail.

DAFTAR PUSTAKA

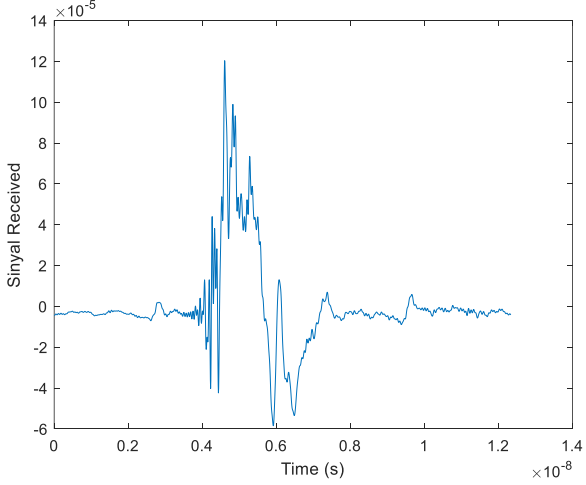
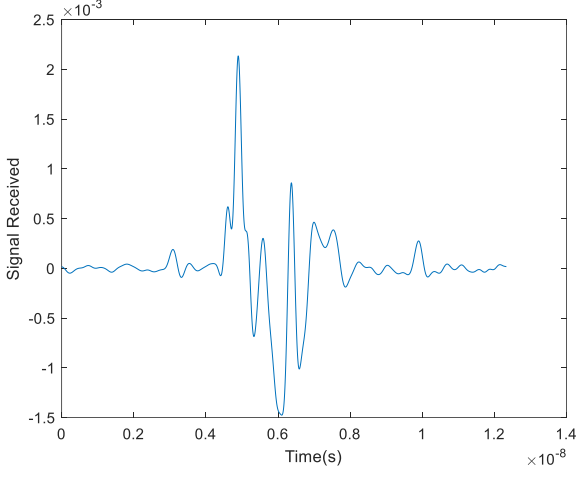
- [1] J. Li, P. Stoica, D. M. (MIT L. L. Blidd, C. J. (University of L. Baker, and R. S. (Lehigh U. Blum, MIMO Radar Signal Processing. 2015.
- [2] T.G. Savelyev, X. Zhuge, A.G. Yarovoy, L.P. Ligthart, B. Levitas, "Comparison of UWB SAR and MIMO based short-range imaging radars," Proc. 2009 European Radar Conf., Sept. 30 - Oct. 2, 2009.
- [3] A. Martinez-Vazquez, J. Fortuny-Guasch, "UWB MIMO radar arrays for small area surveillance applications," Proc. 2nd EuCAP, Nov. 2007.
- [4] T. Jin, B. Chen, and Z. Zhou, "Image-domain estimation of wall parameters for autofocusing of through-the-wall SAR imagery," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 51, no. 3, pp. 1836–43, Mar. 2013
- [5] F. H. C. Tivive, A. Bouzerdoum, and M. G. Amin, "A subspace projection approach for wall clutter mitigation in through-the-wall radar imaging," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 53, no. 4, pp. 2108–22, Apr. 2015
- [6] E. Biglieri, R. Calderbank, A. Constantinides, A. Goldsmith, A. Paulraj, and H. V. Poor, "MIMO Wireless Communications," *Electr. Eng.*, vol 153, 4, p.323, 2007.
- [7] S. Aulia, S. Tjondronegoro, R. Kurnia, "Analisis Pengolahan Sinyal RADAR Frequency Modulated Continuous Wave untuk Deteksi Target," Vol: 2 No.2, Jurnal Nasional Teknik Elektro, 2013.
- [8] A.A. Pramudita, Pengukuran Menggunakan Vector Network Analyzer, Universitas Telkom, 2018.

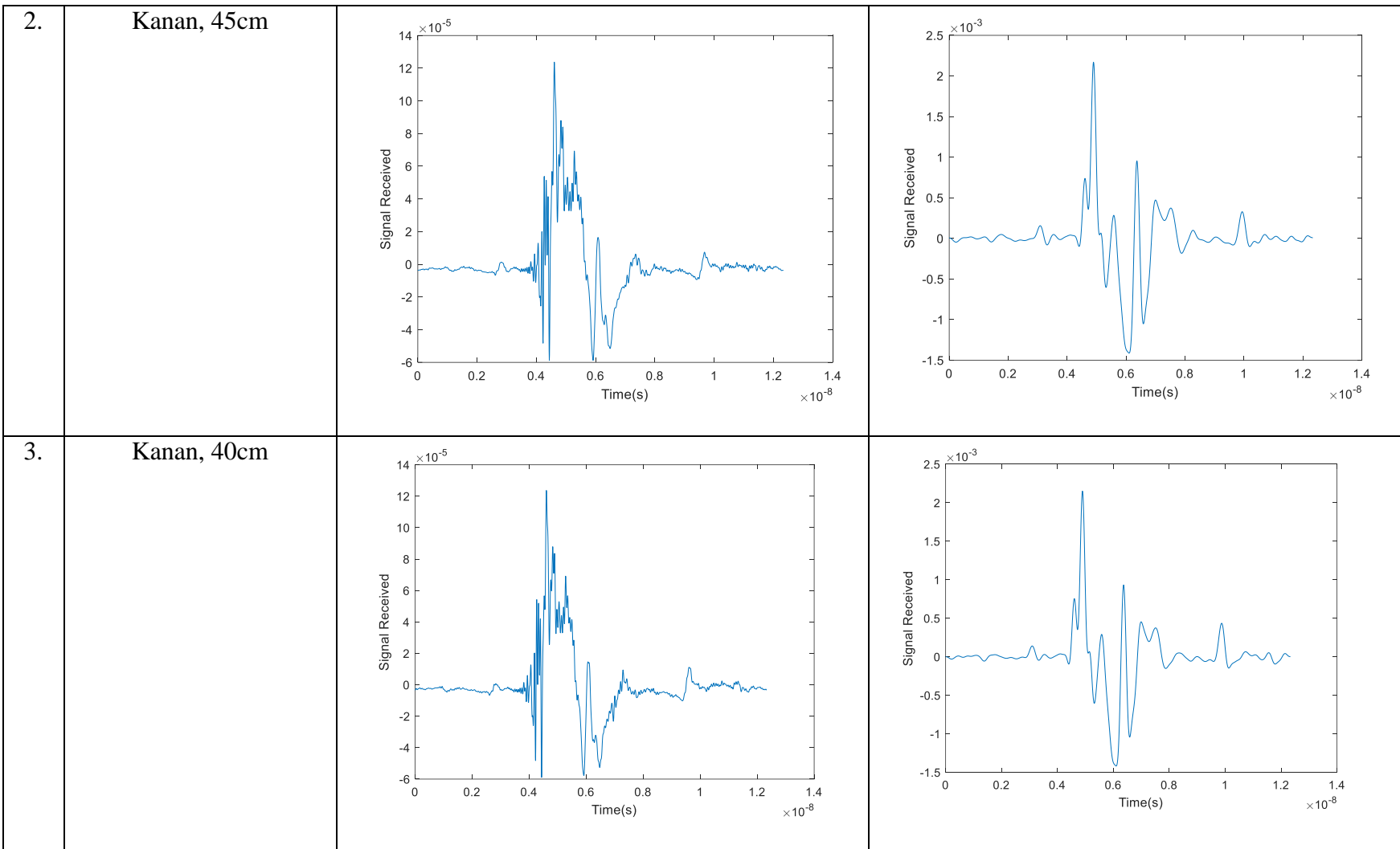
- [9] A. Pengujian, S. P. Perangkat, D. Dan, K. Coaxial, and D. Frekuensi, “Analisis Pengujian S-Parameter Pada Perangkat Duplexer dan Kabel Coaxial dengan Frekuensi 1.800 MHz,” *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer* Vol. 07 No. 25, Jan-Mar 2018.
- [10] P. John, C. L. Gregory, G. Justin, M. Tobias. (2012). “*Jurnal of Through Wall Imaging Radar*”. 19 (62-72)
- [11] T. Kaiser, F. Zheng , E. Dimitrov, and , Senior Member IEEE “An Overview of Ultra-Wide-Band Systems With MIMO” *Proceedings of the IEEE* , Vol. 97, No. 2, page 285 , Feb 2009
- [12] M.A. Jensen, “A History of MIMO Wireless Communications” *IEEE Internasional Symposium on Antenna Propagation (APSURSI) 2016*, page 681, 2016

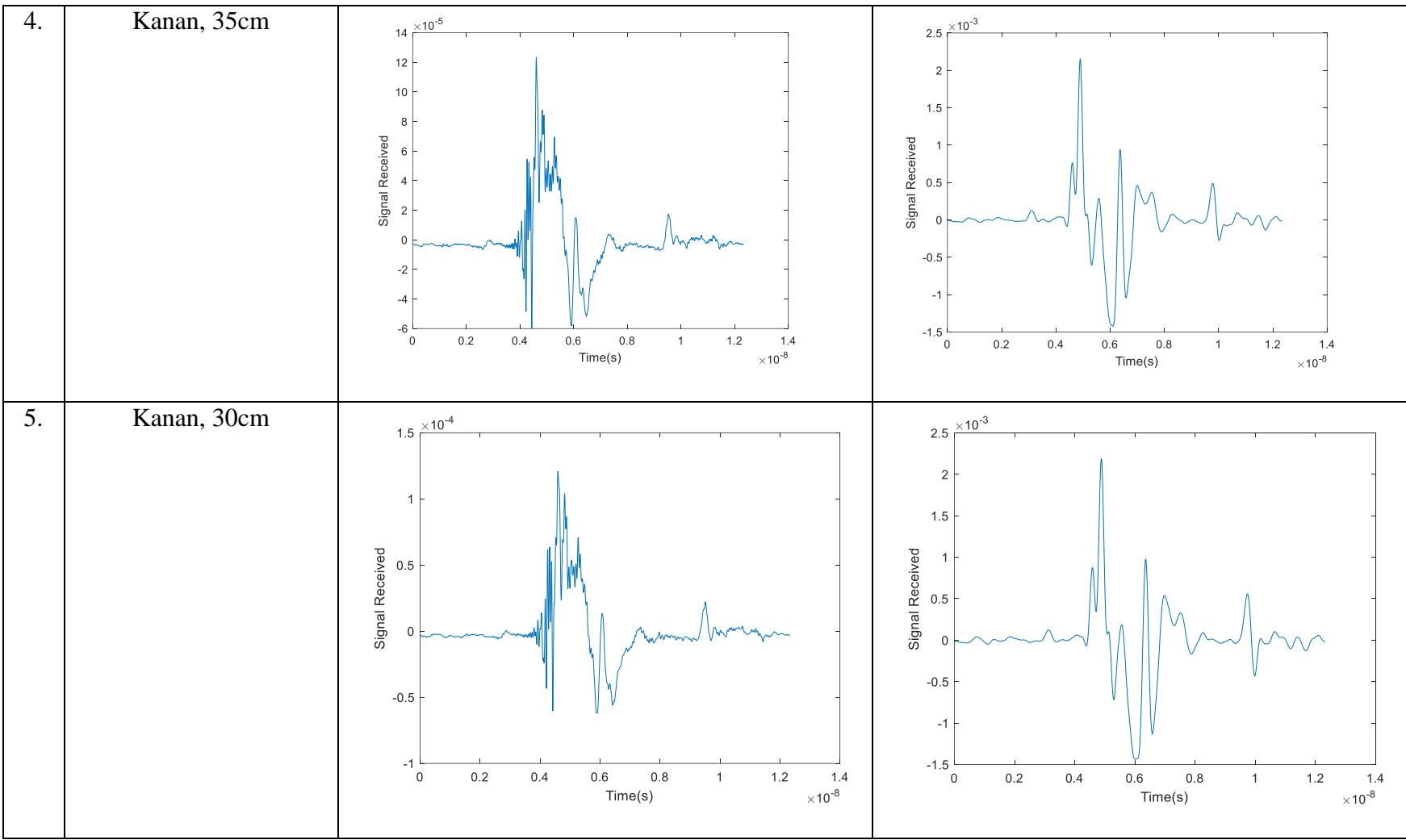
LAMPIRAN

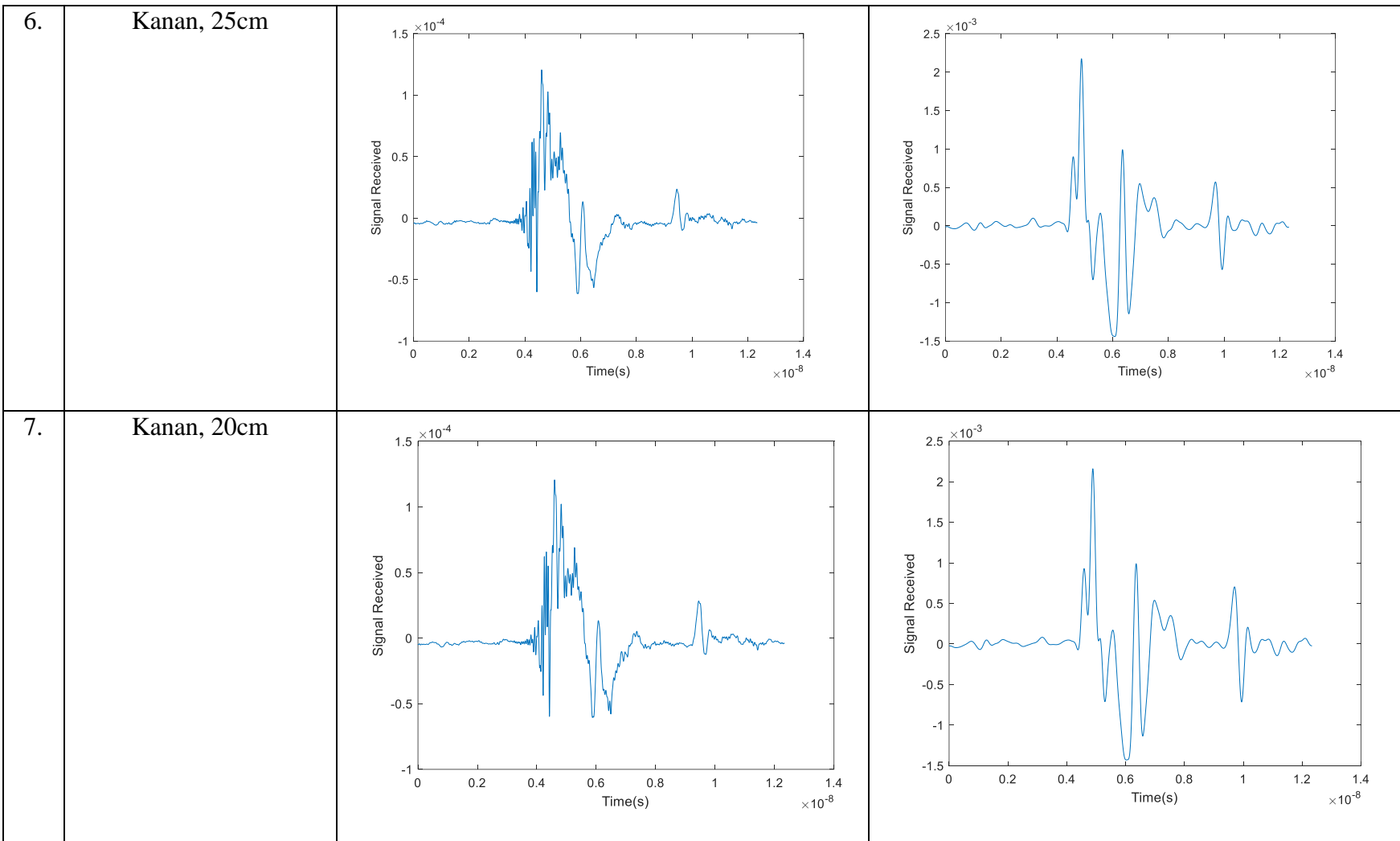
GRAFIK SINYAL *RECEIVED*

Tabel Kumpulan Grafik *Signal Received* pada Antena Tx1 dan Rx1

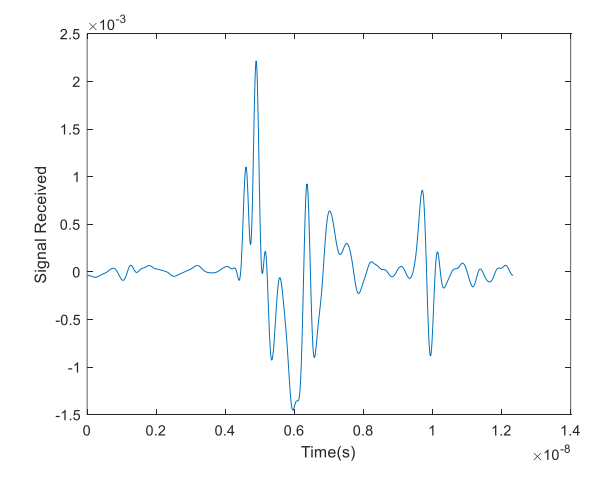
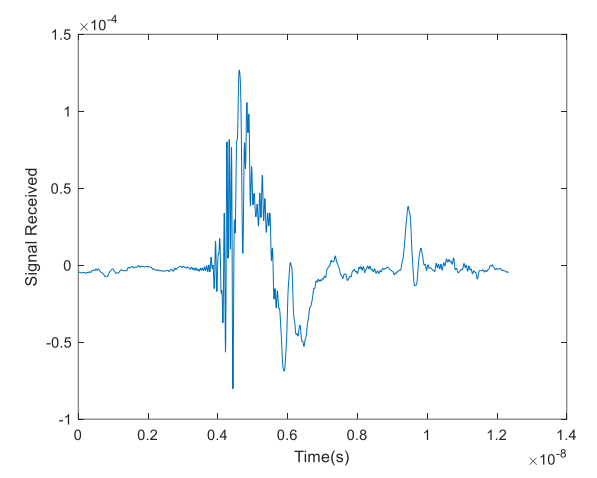
No.	<p>Pergeseran Objek (arah pergeseran dari titik tengah yang berhadapan dengan VNA , panjang pergeseran)</p>	<p>Nonfilter</p>	<p>Filter</p>
1.	<p>Kanan, 0.5m</p>		



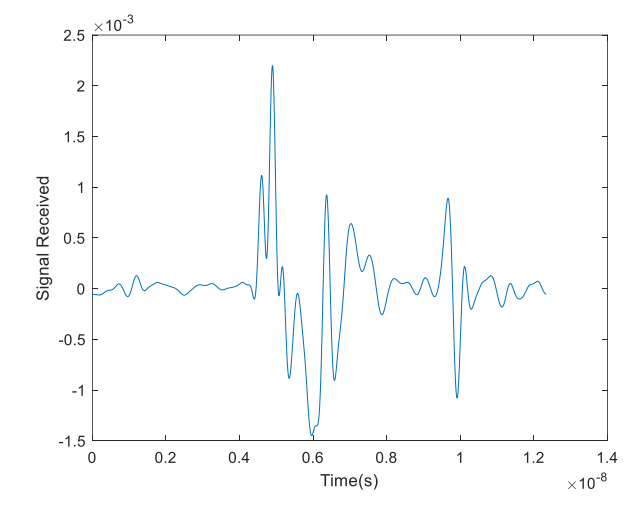
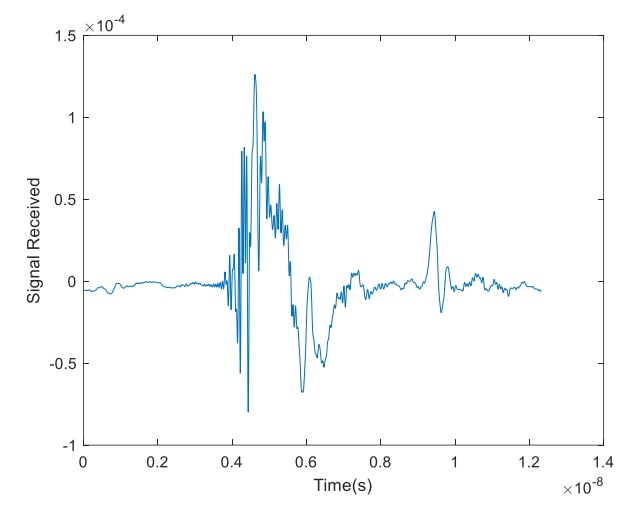




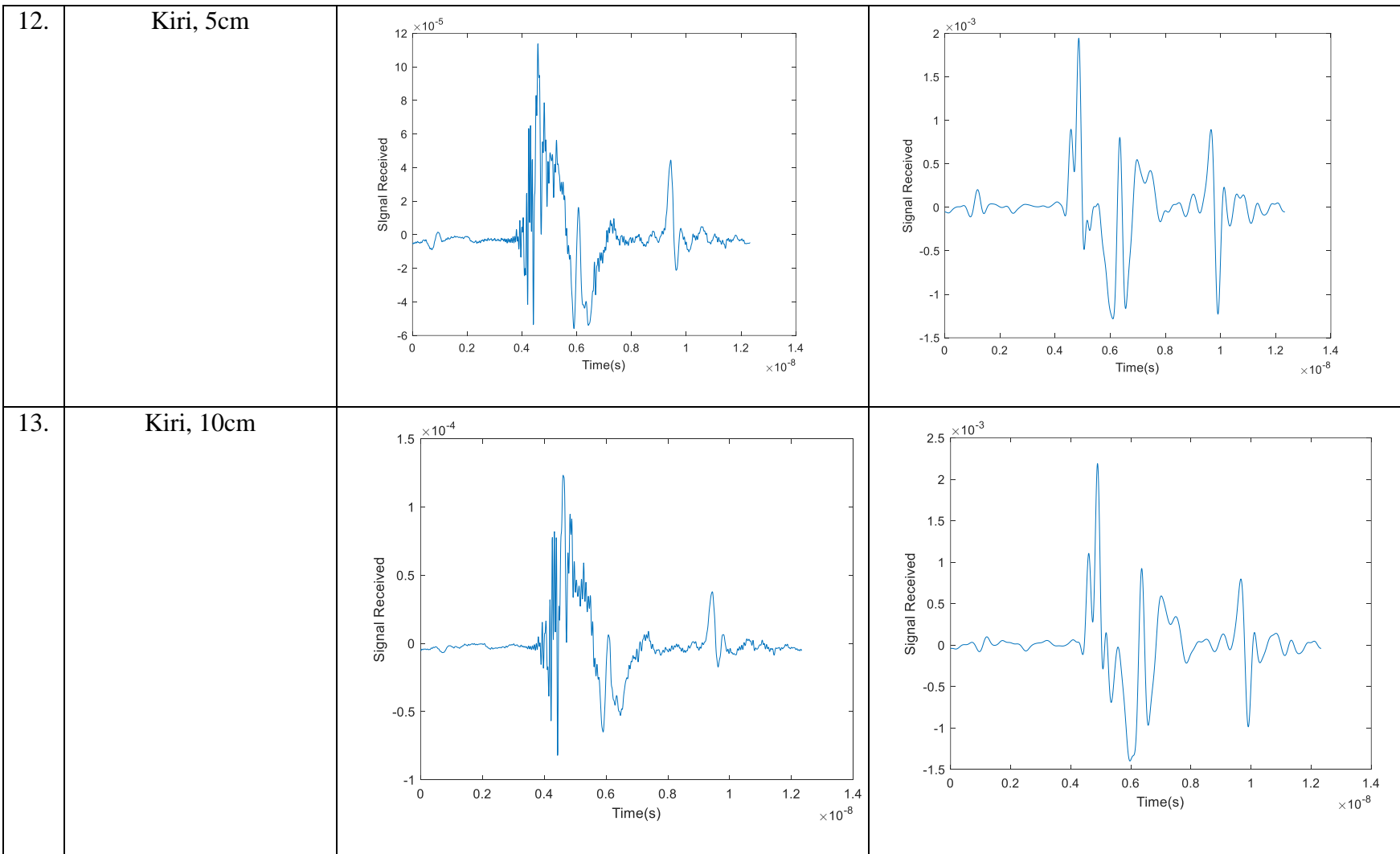
8. Kanan, 15cm

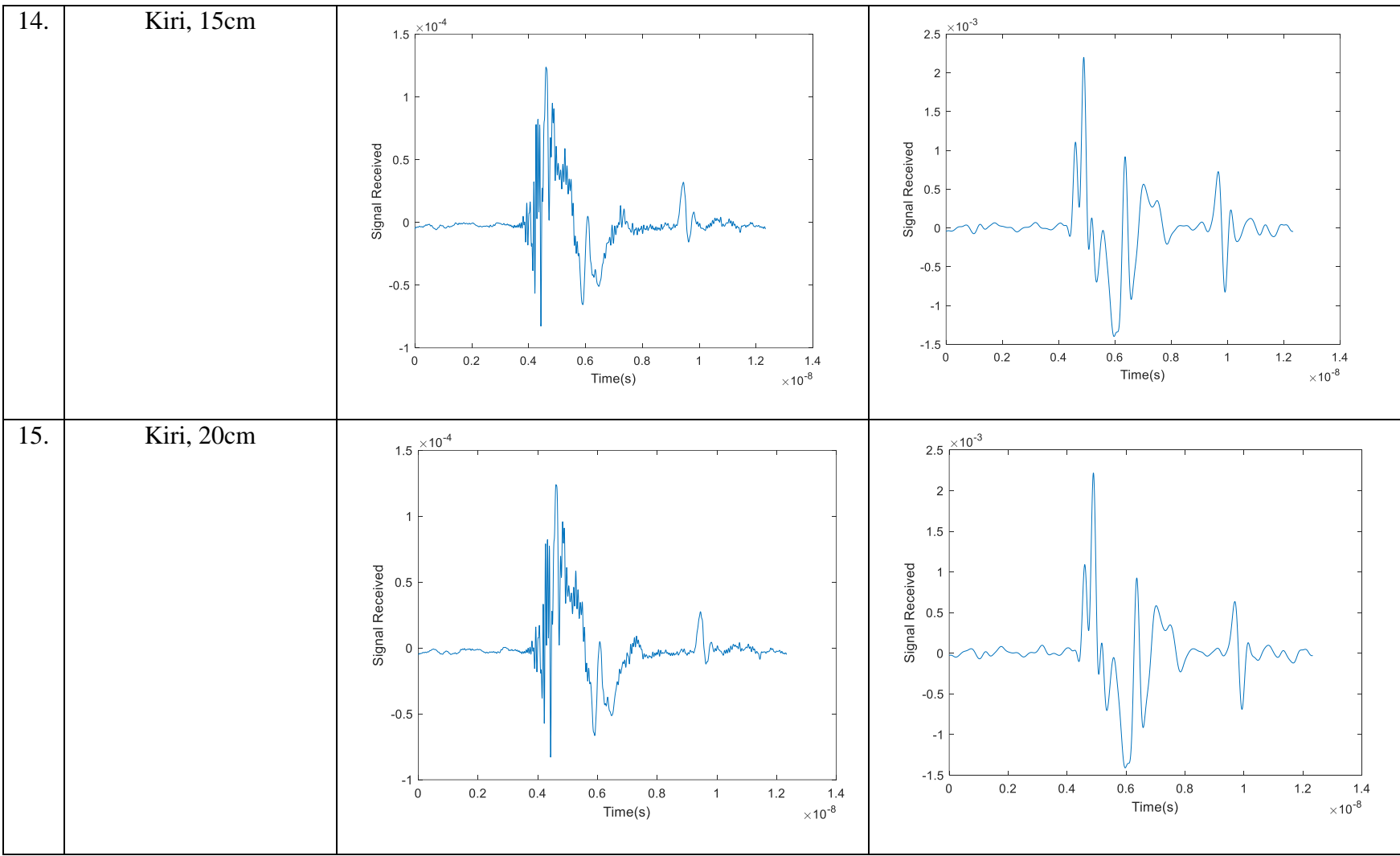


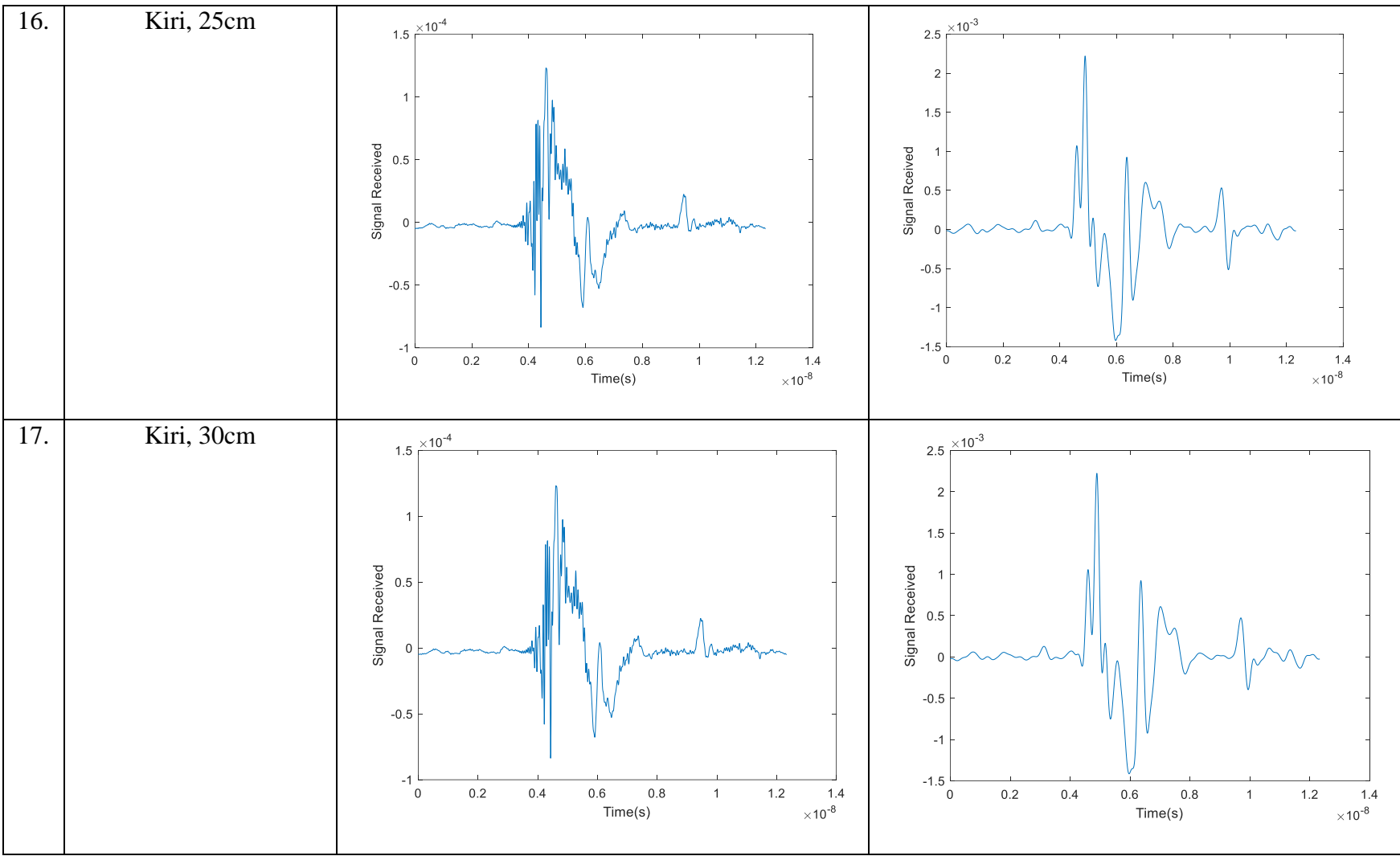
9. Kanan, 10cm



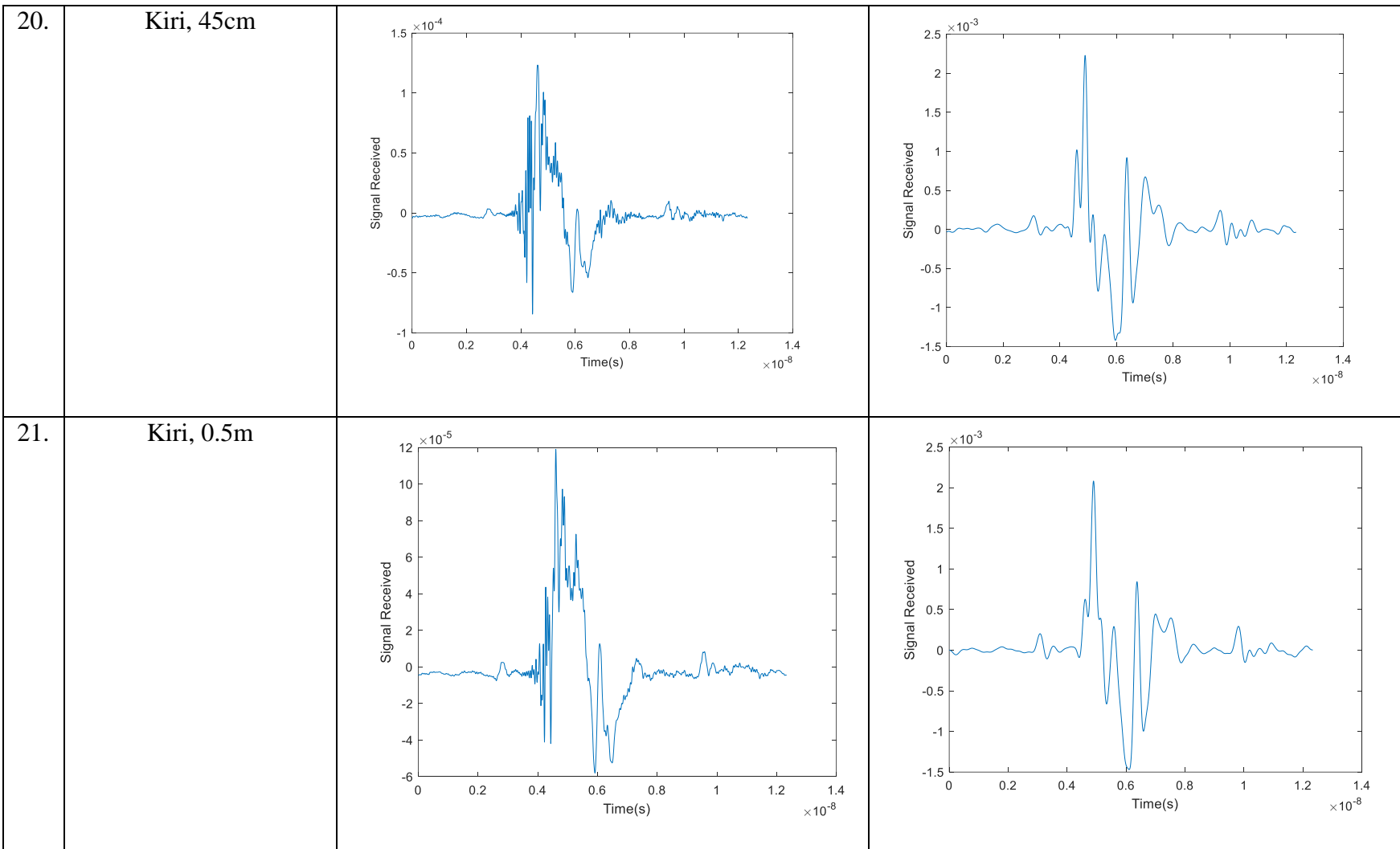
10.	Kanan, 5cm		
11.	Tengah (berhadapan dengan VNA), 0cm		



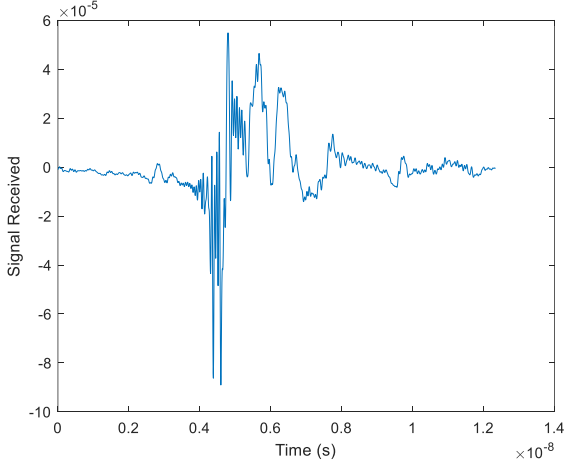
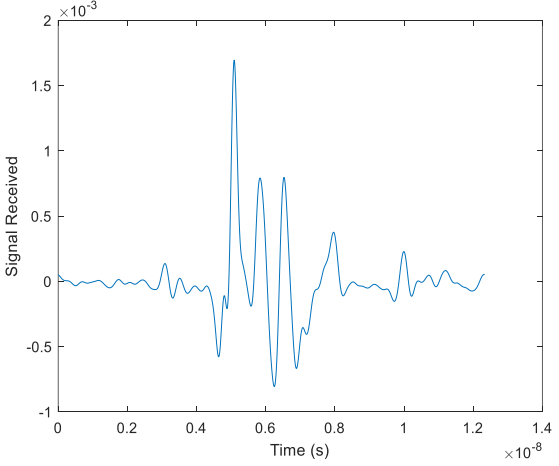


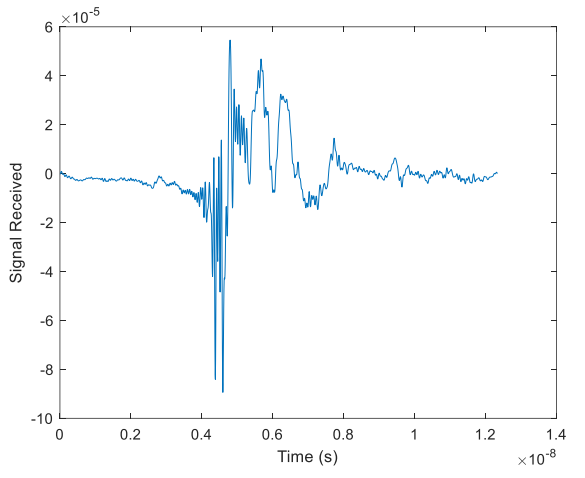
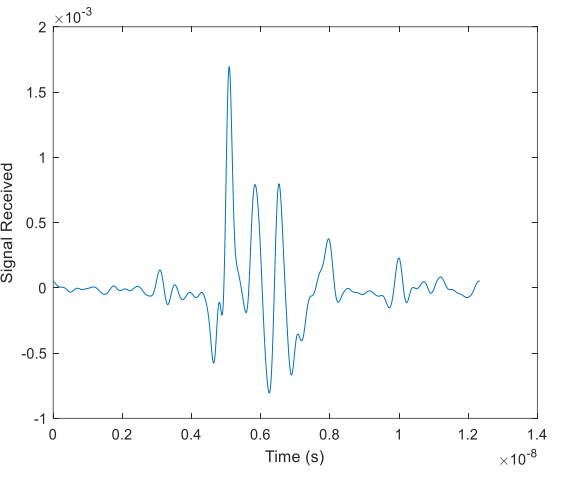
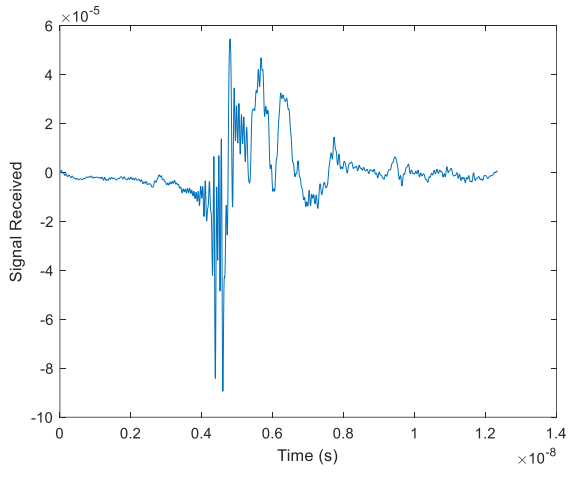
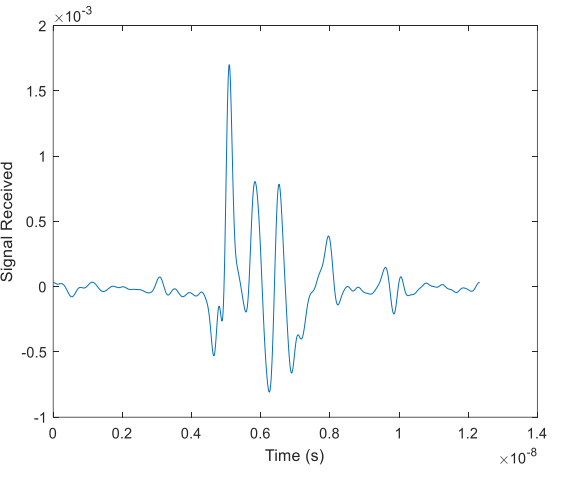


18.	Kiri, 35cm		
19.	Kiri, 40cm		

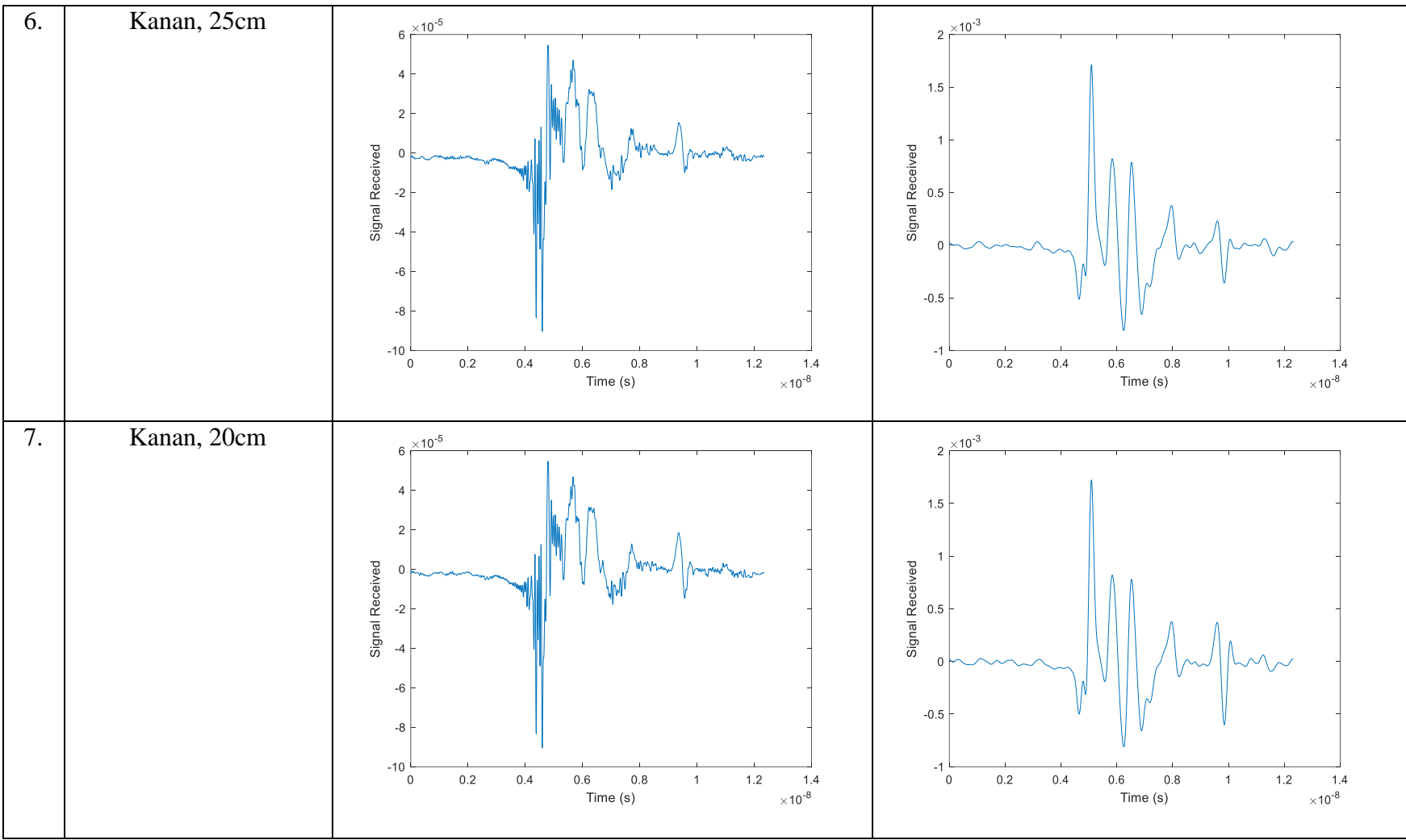


Tabel Kumpulan Grafik *Signal Received* pada Antena Tx2 dan Rx1

No.	<p style="text-align: center;">Pergeseran Objek (arah pergeseran dari titik tengah yang berhadapan dengan VNA , panjang pergeseran)</p>	<p>Non Filter</p>	<p>Filter</p>
1.	<p>Kanan, 0.5m</p>		

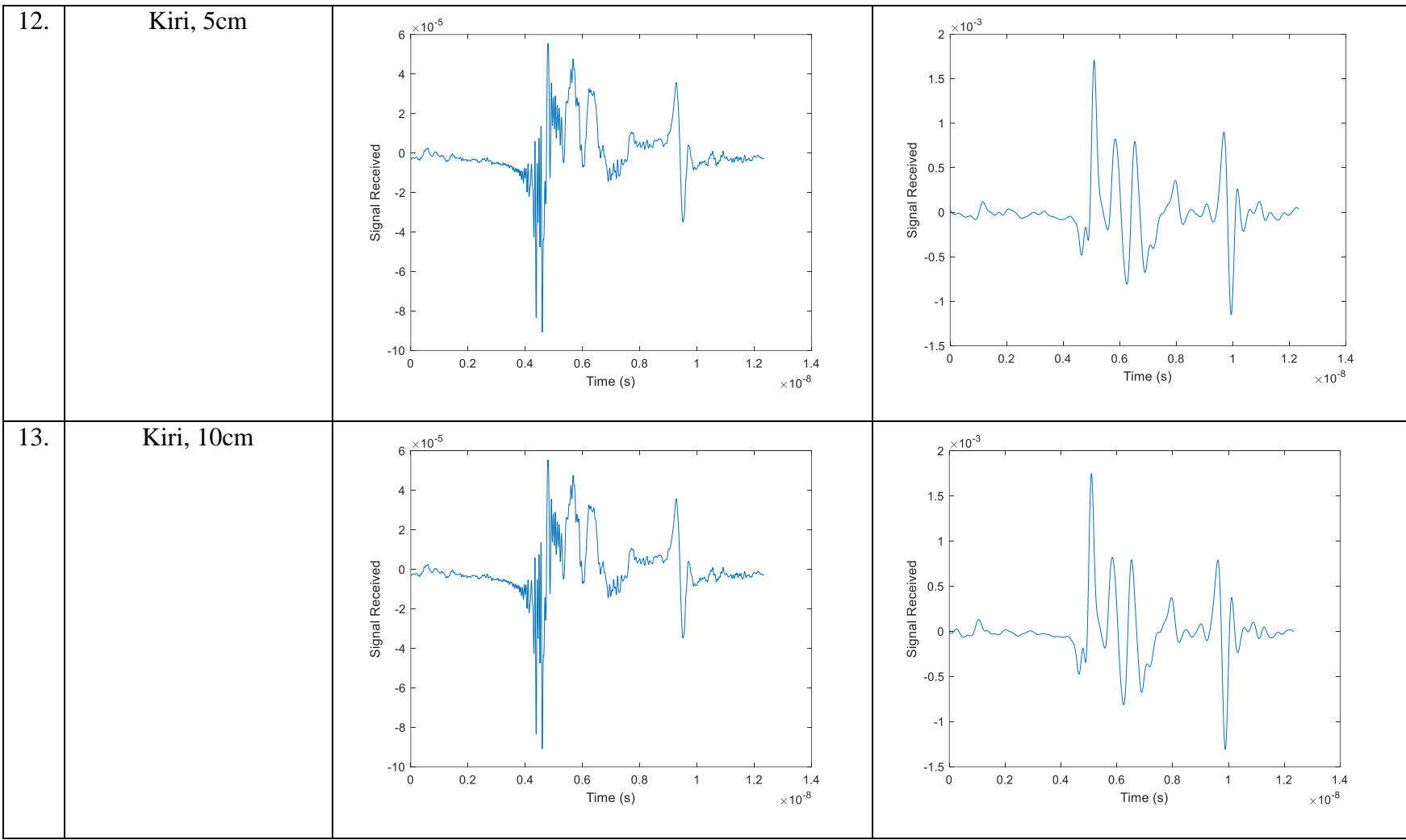
2.	Kanan, 45cm		
3.	Kanan, 40cm		

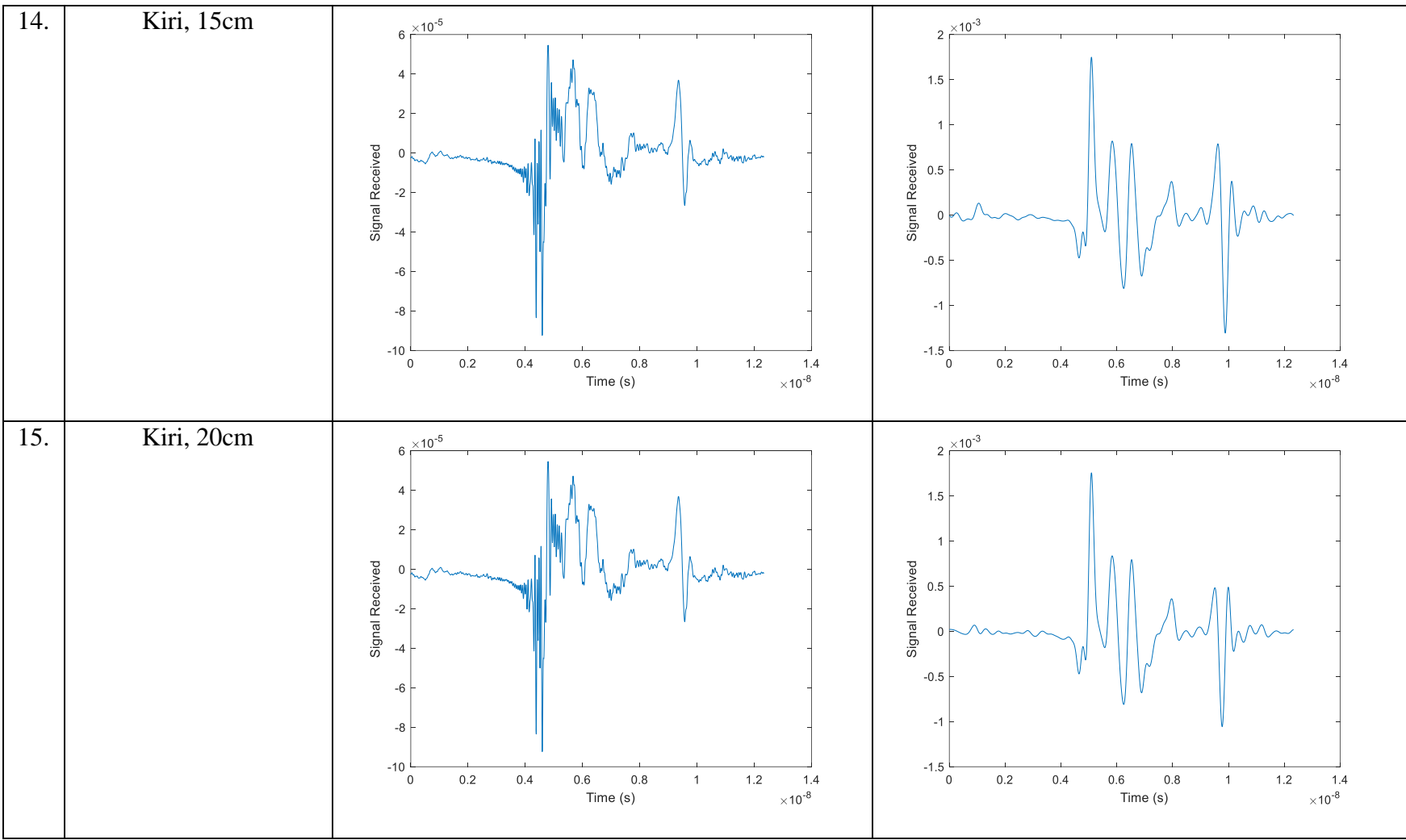
4.	Kanan, 35cm		
5.	Kanan, 30cm		

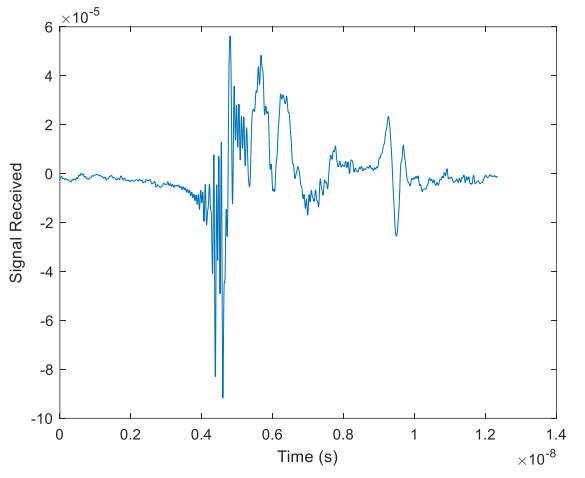
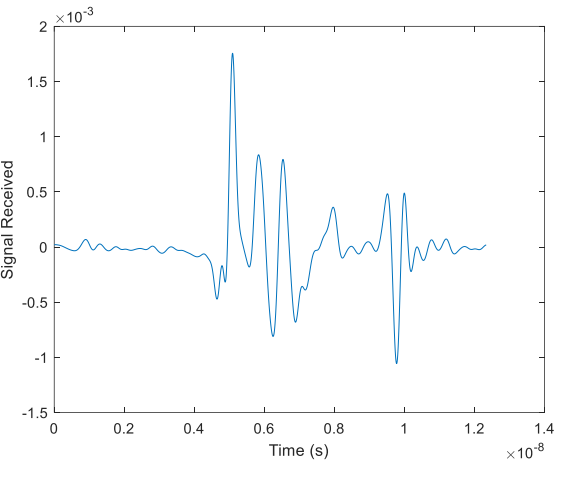
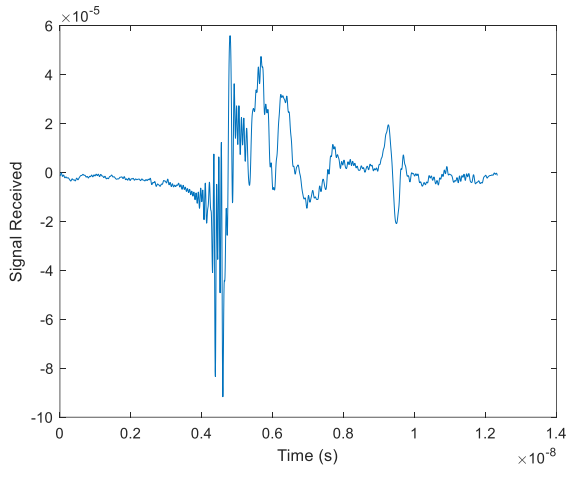
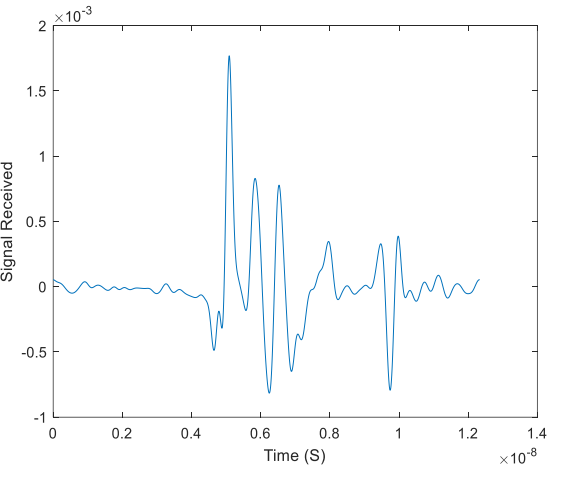


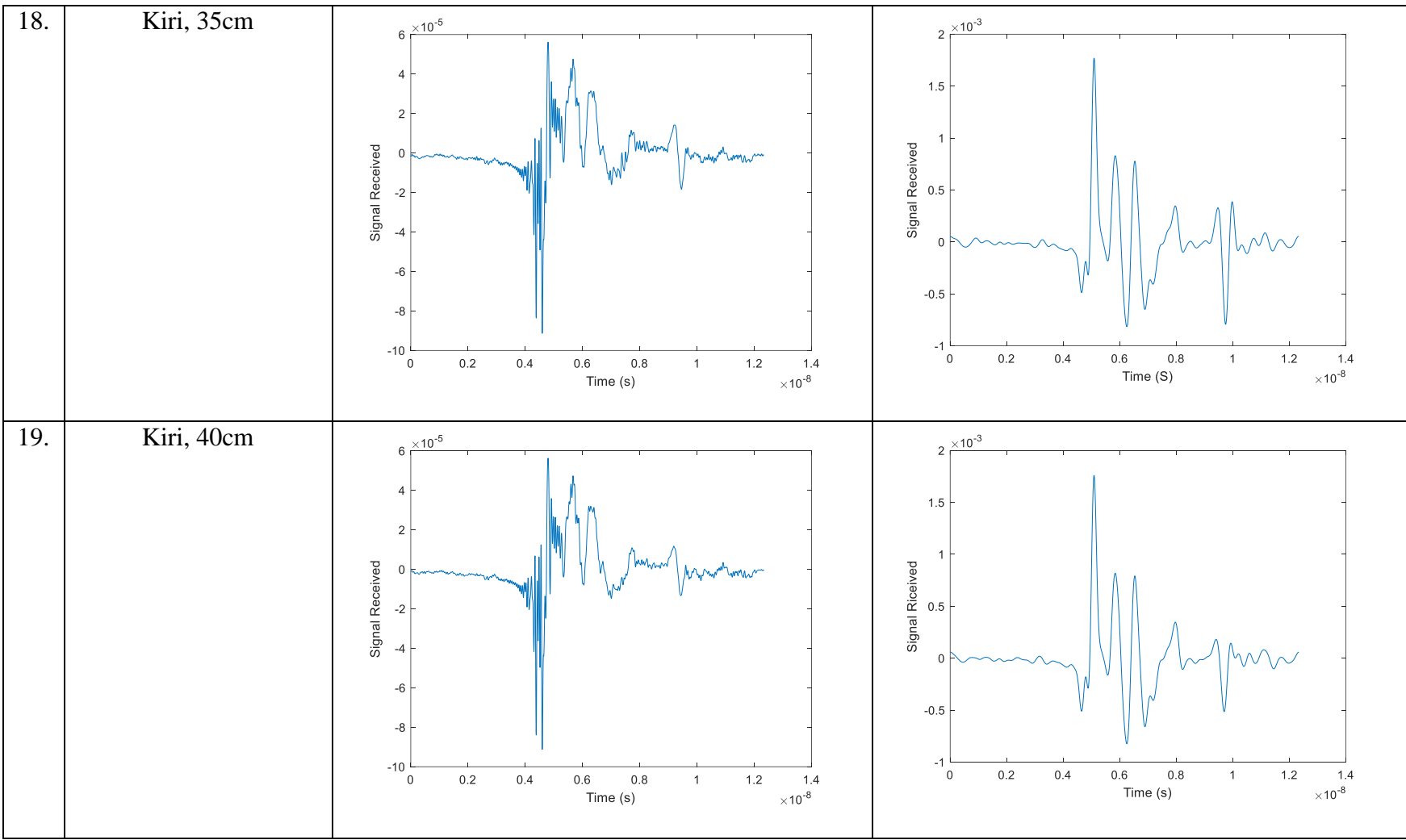
8.	Kanan, 15cm		
9.	Kanan, 10cm		

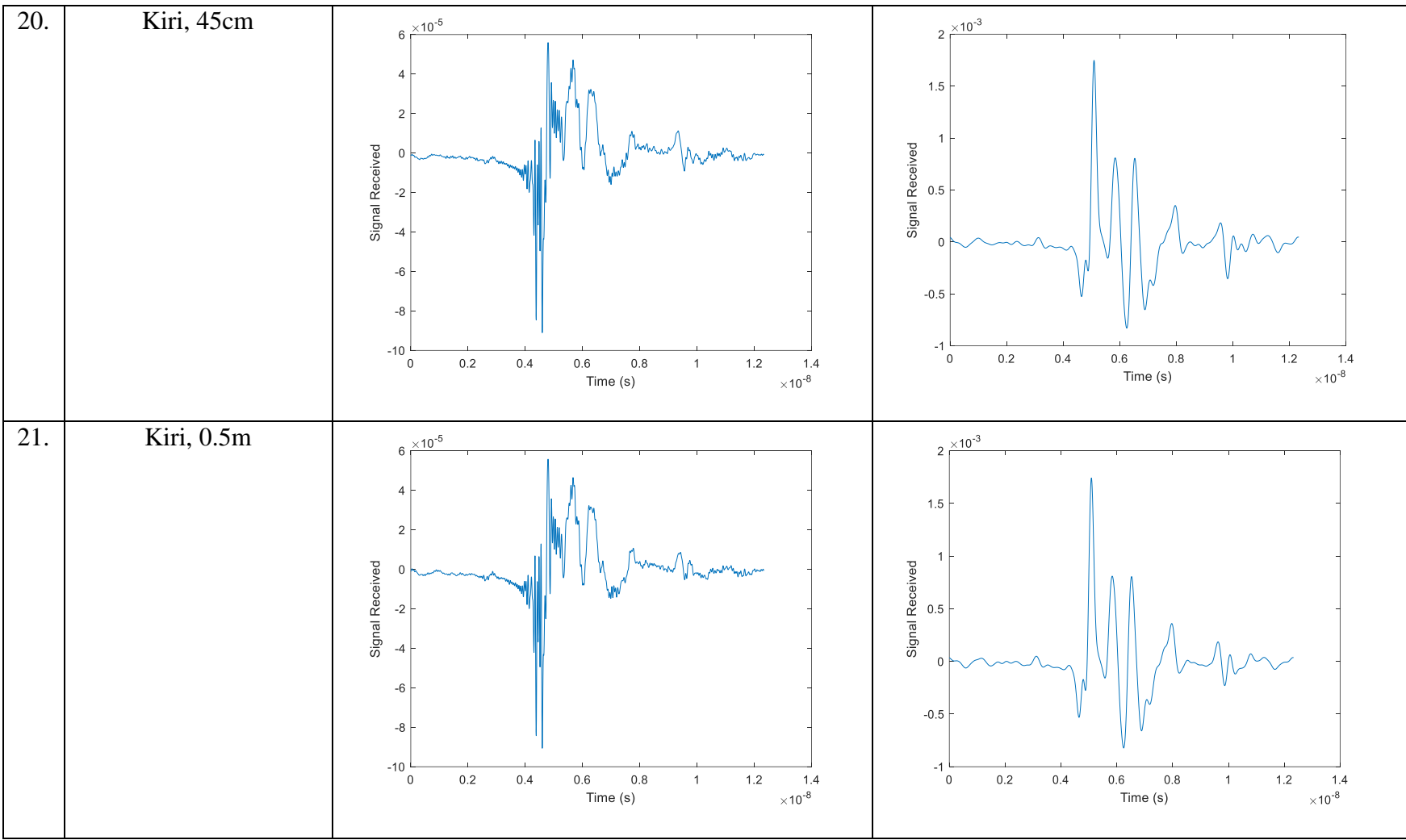
10.	Kanan, 5cm		
11.	Tengah (berhadapan dengan VNA), 0cm		



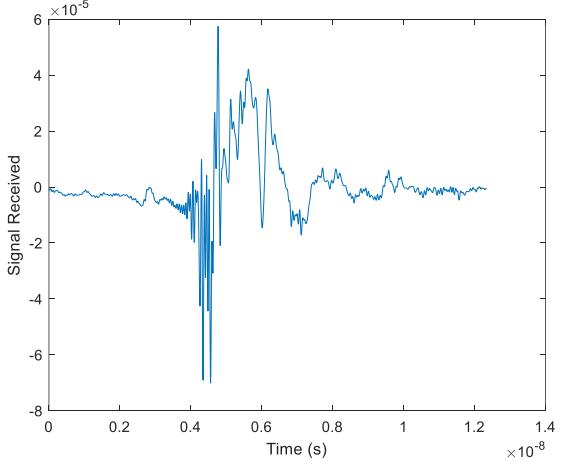
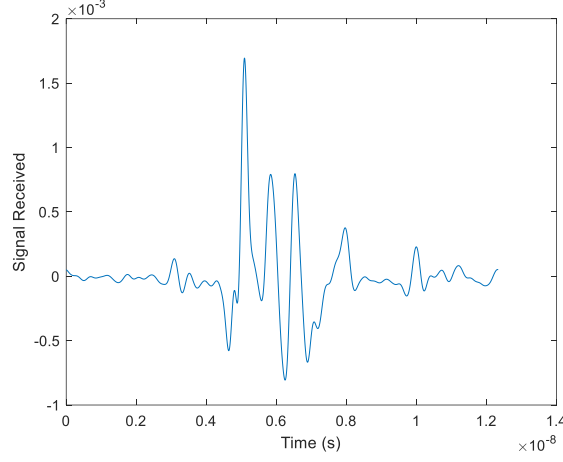


16.	Kiri, 25cm		
17.	Kiri, 30cm		





Tabel Kumpulan Grafik *Signal Received* pada Antena Tx1 dan Rx2

No.	Pergeseran Objek (arah pergeseran dari titik tengah yang berhadapan dengan VNA , panjang pergeseran)	Non Filter	Filter
1.	Kanan, 0.5m		

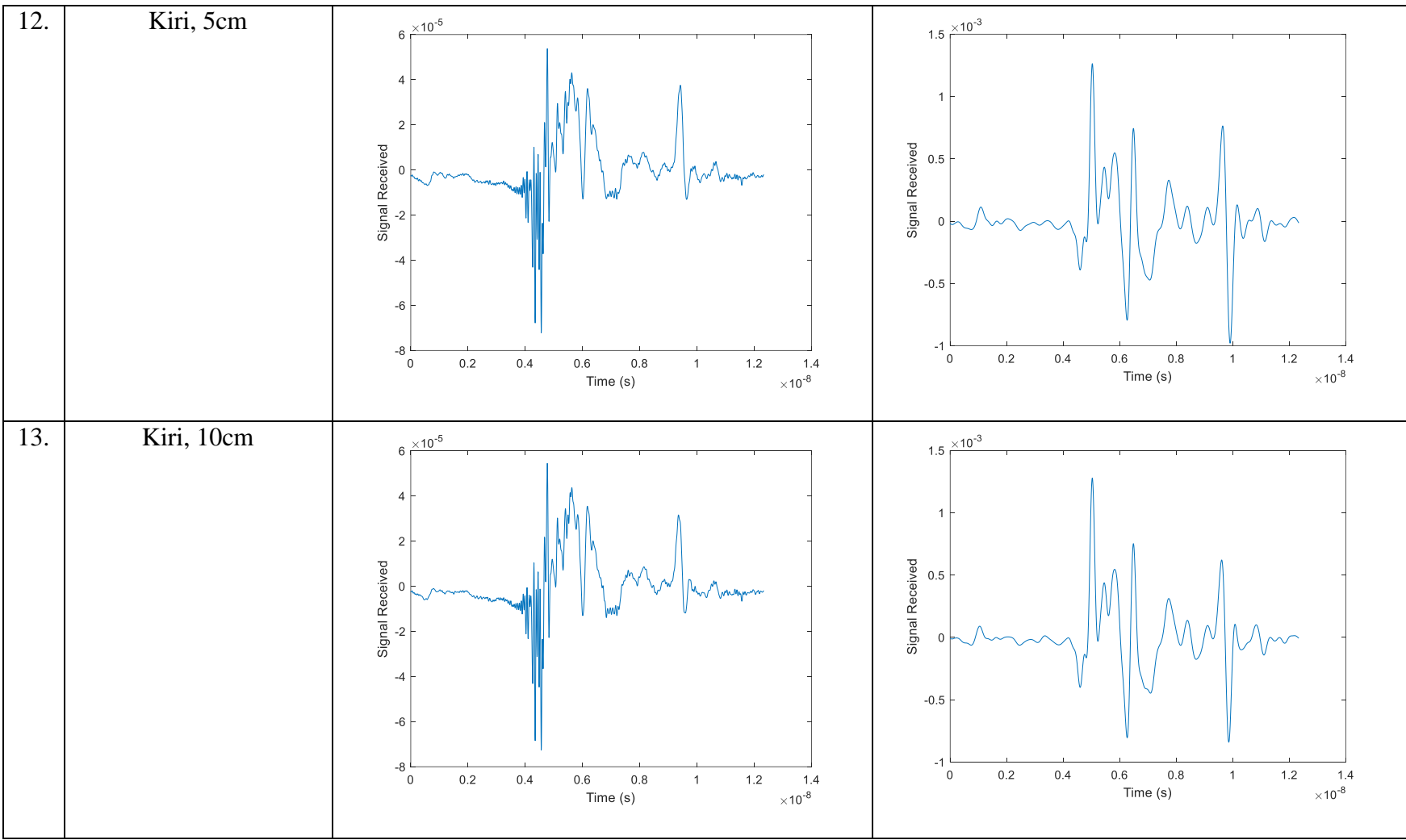
2.	Kanan, 45cm		
3.	Kanan, 40cm		

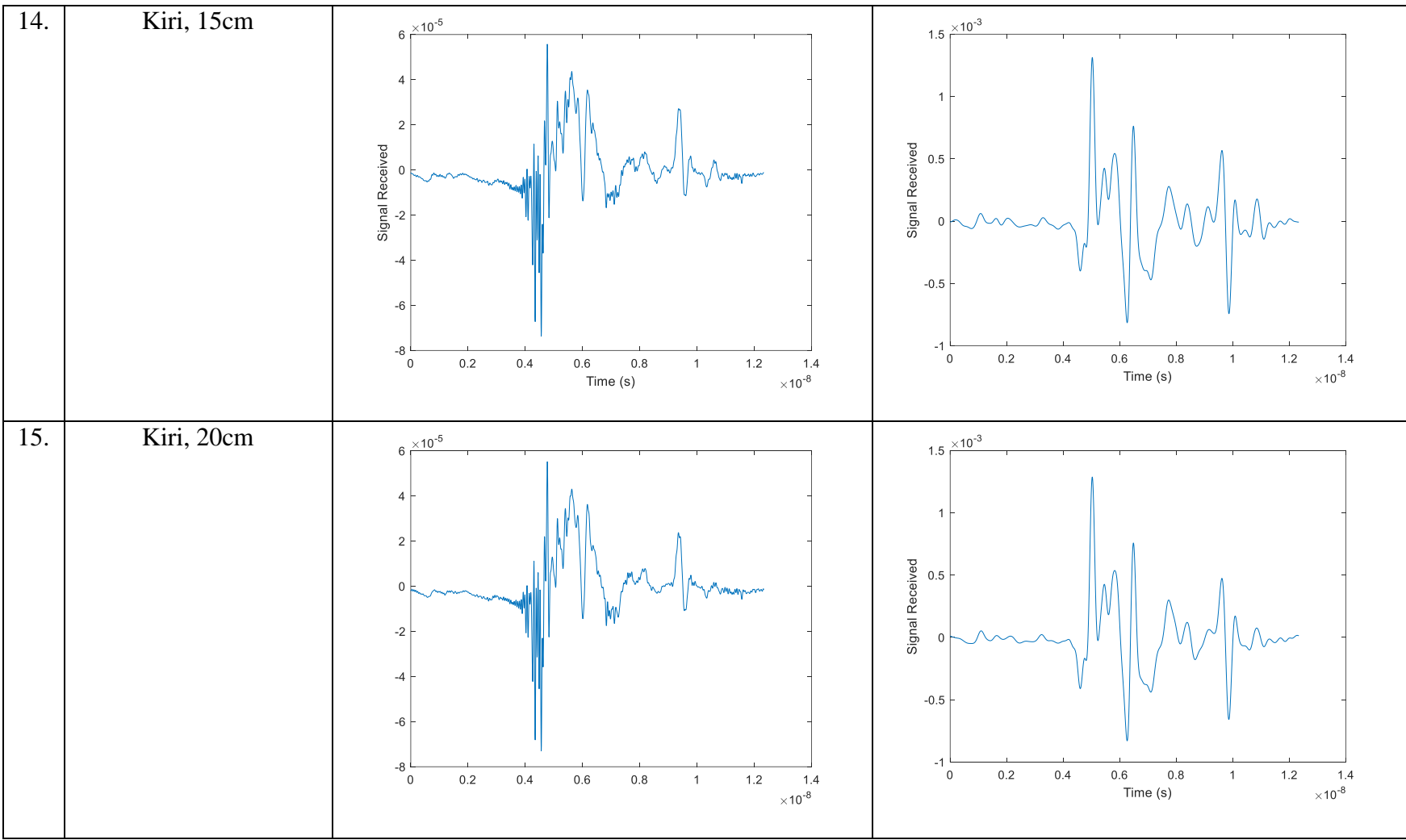
4.	Kanan, 35cm		
5.	Kanan, 30cm		

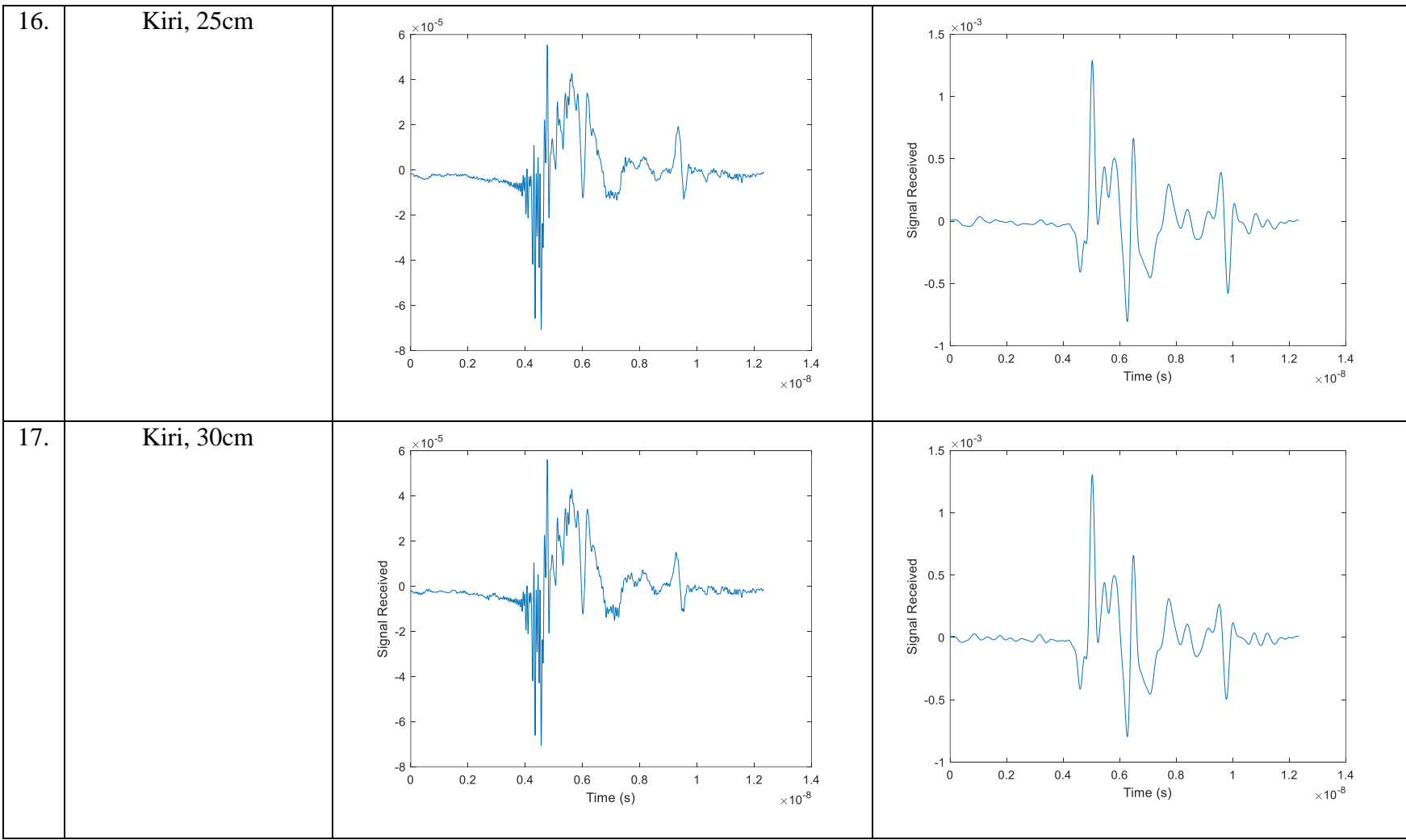
6.	Kanan, 25cm		
7.	Kanan, 20cm		

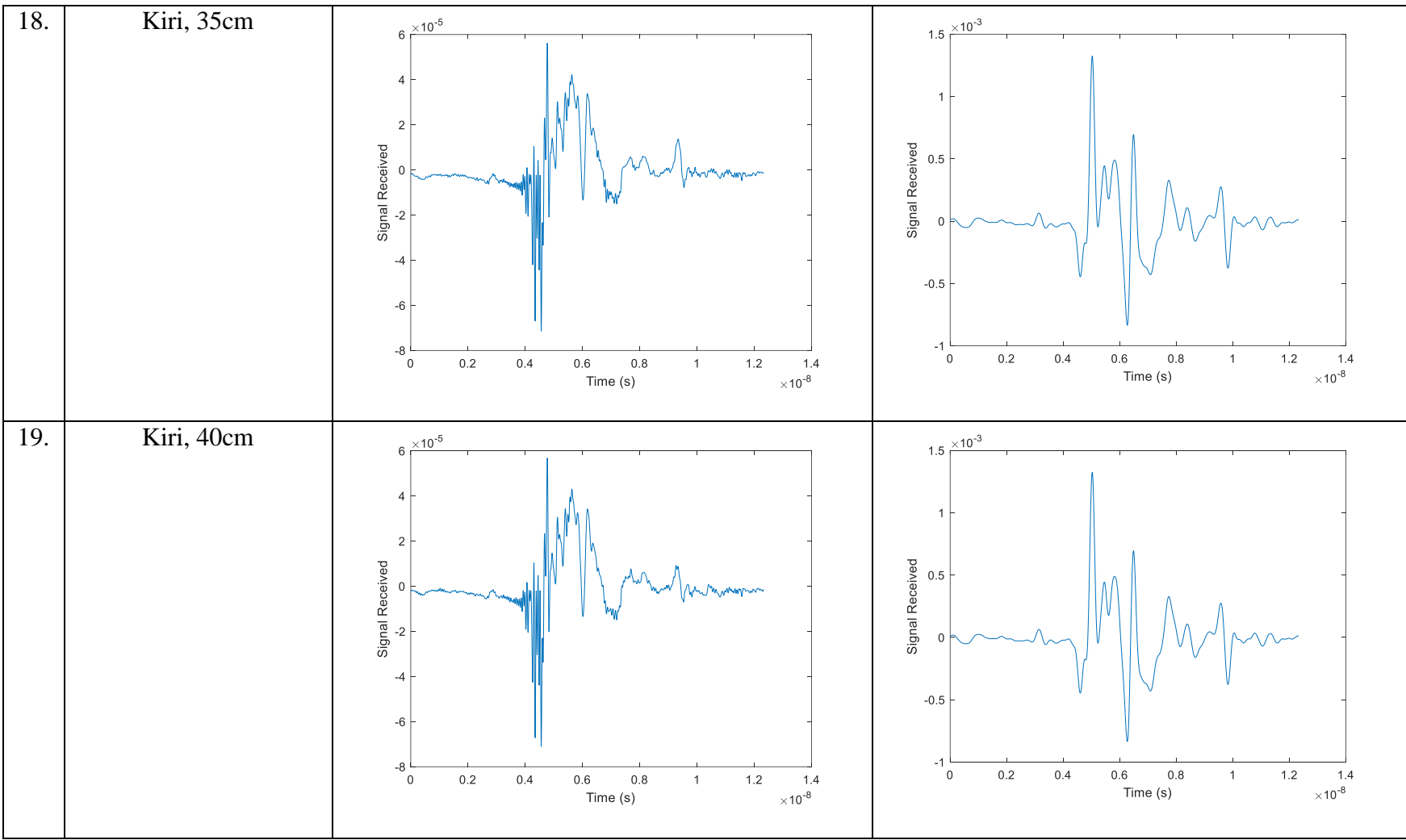
8.	Kanan, 15cm		
9.	Kanan, 10cm		

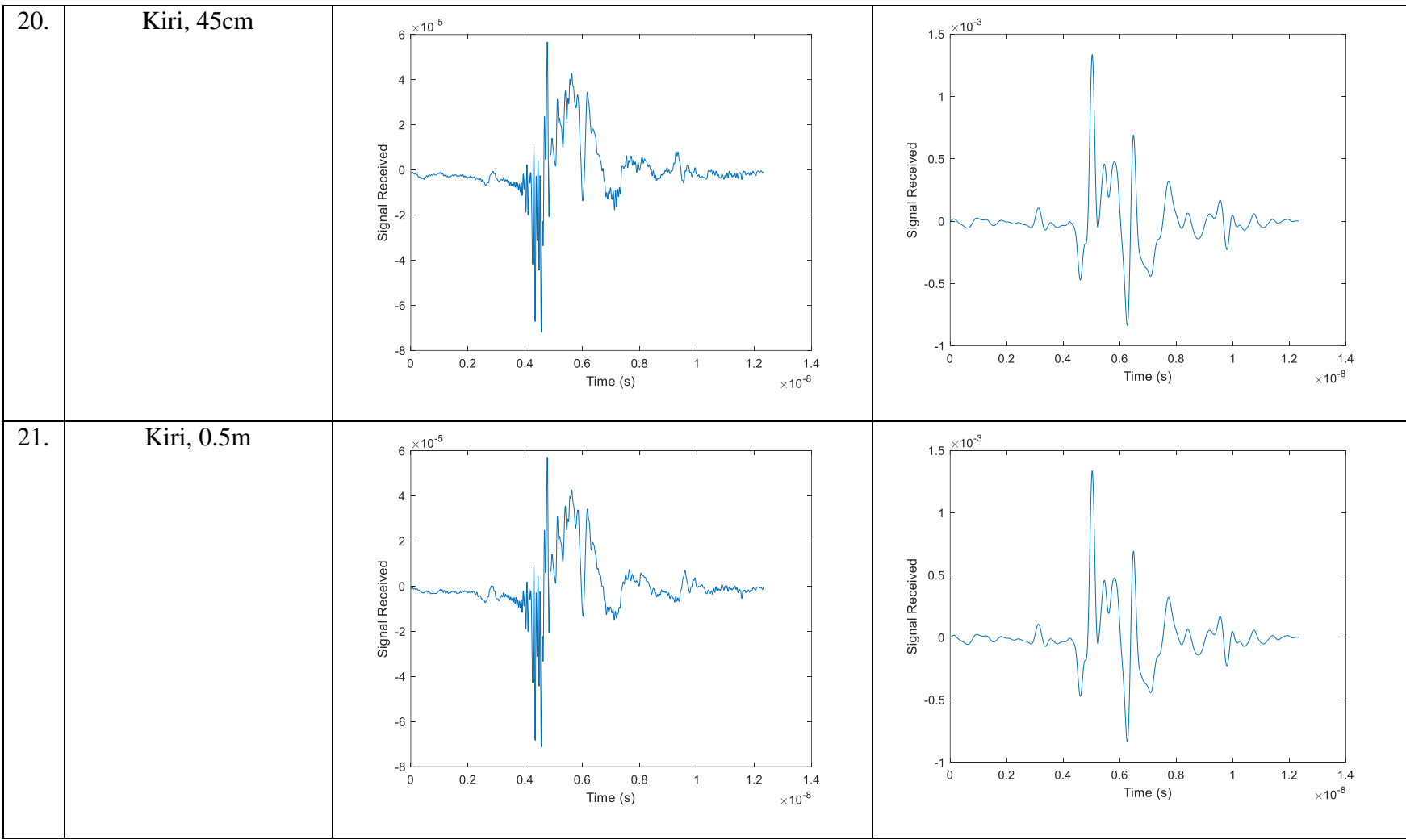
10.	Kanan, 5cm		
11.	Tengah (berhadapan dengan VNA), 0cm		



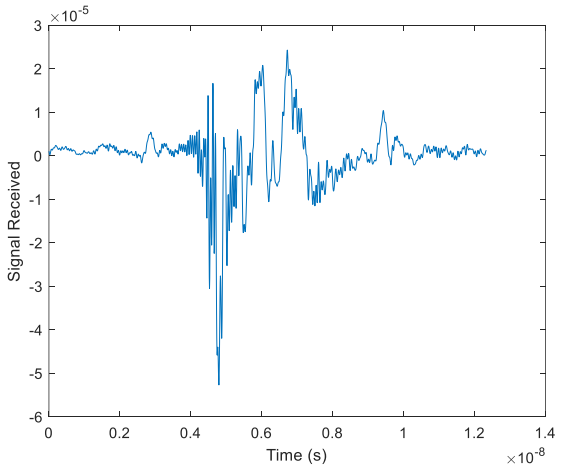
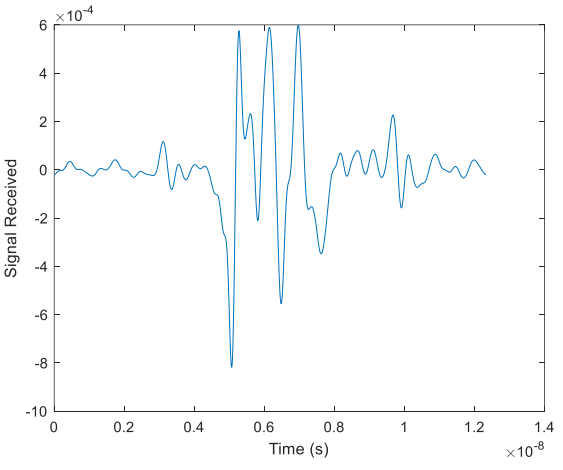






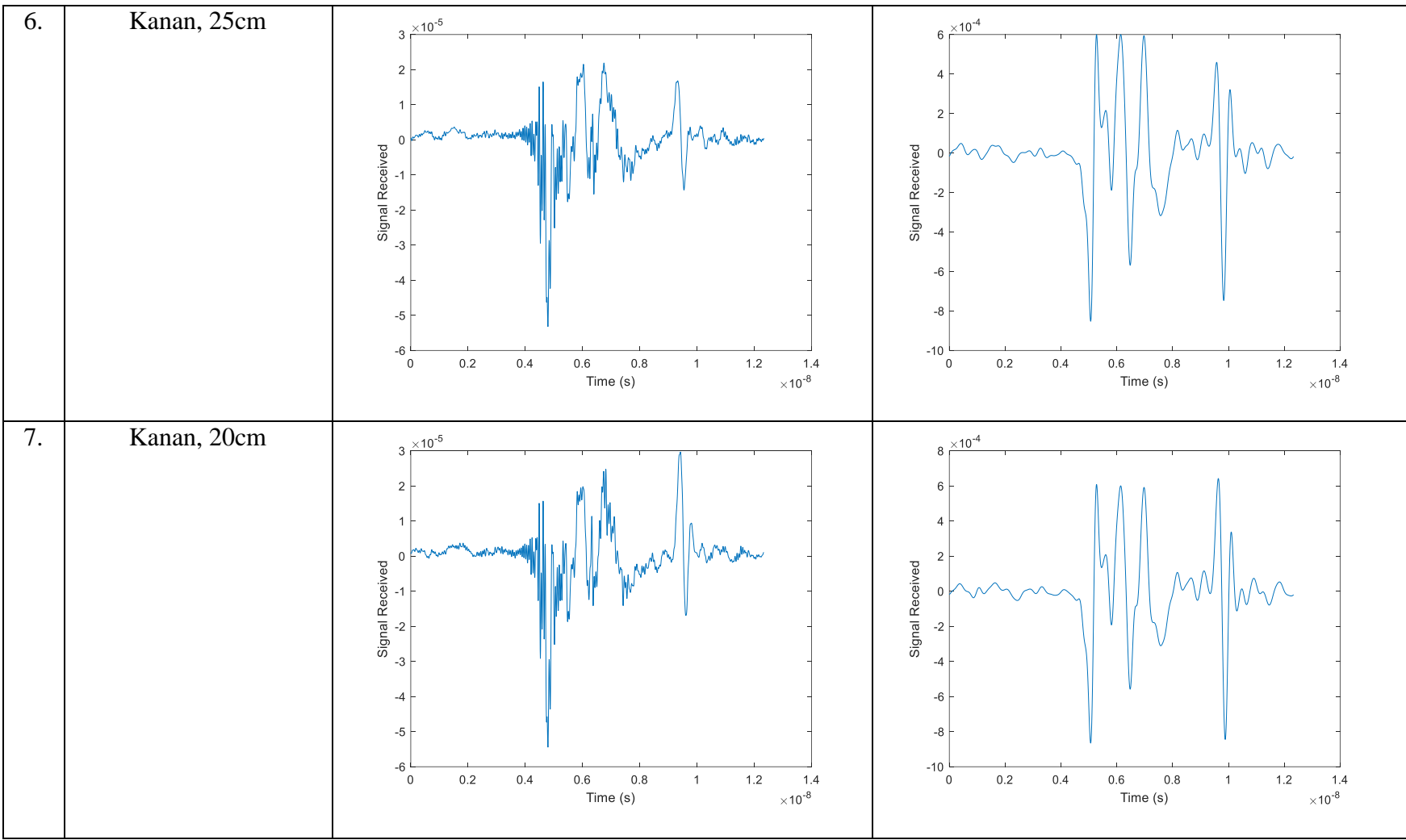


Tabel Kumpulan Grafik *Signal Received* pada Antena Tx2 dan Rx2

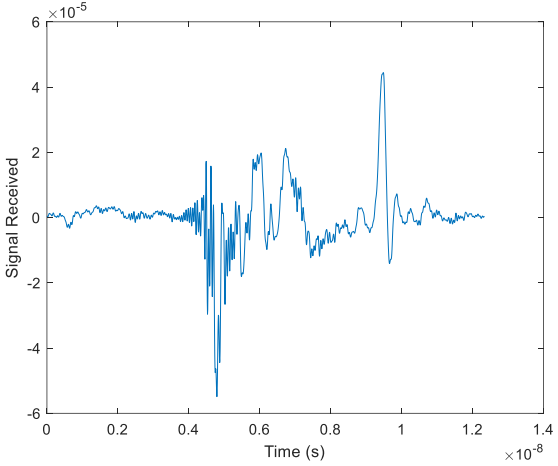
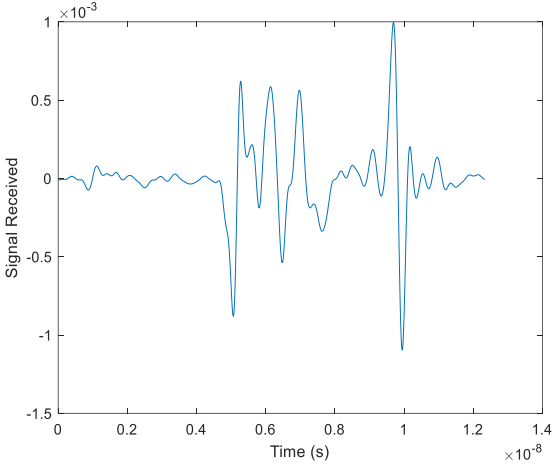
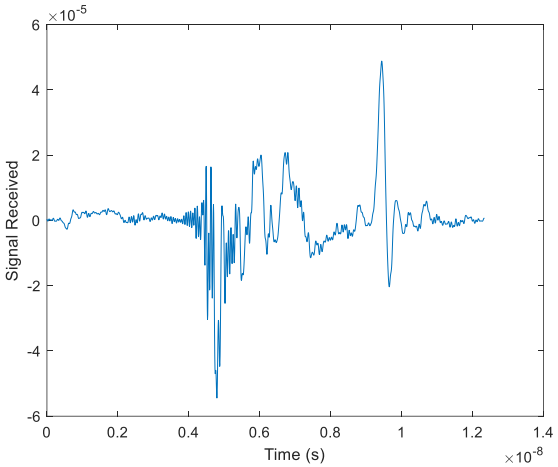
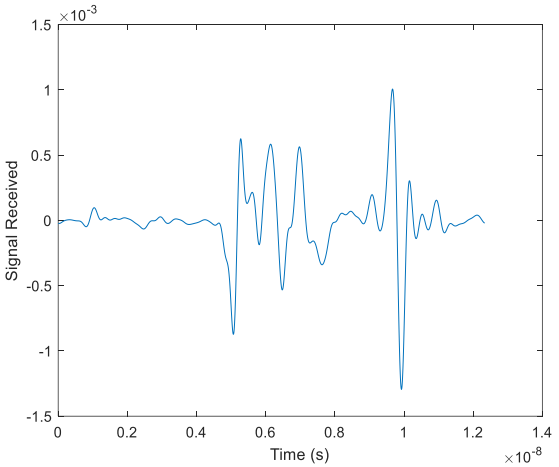
No.	<p style="text-align: center;">Pergeseran Objek (arah pergeseran dari titik tengah yang berhadapan dengan VNA , panjang pergeseran)</p>	<p>Non Filter</p>	<p>Filter</p>
1.	<p>Kanan, 0.5m</p>		

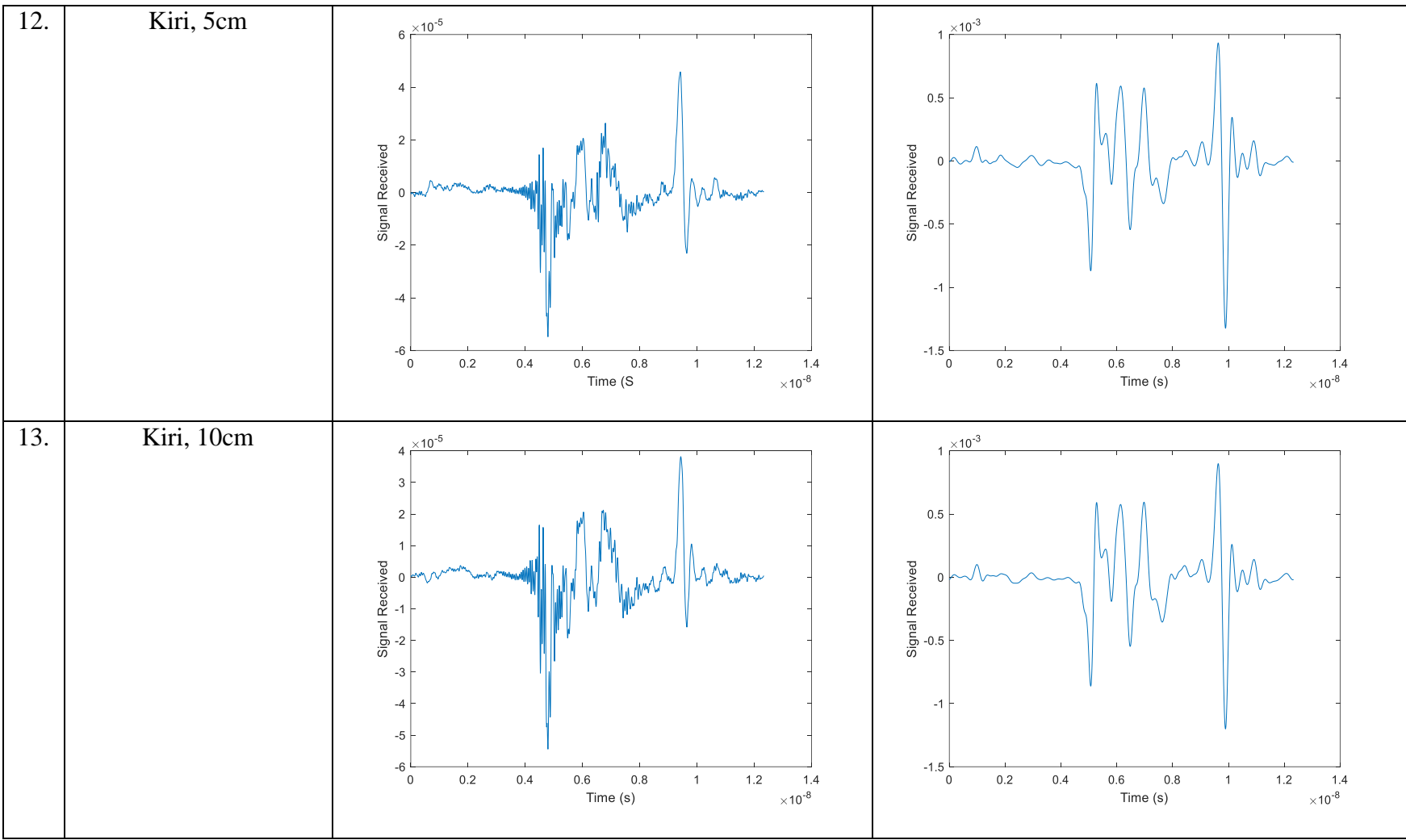
2.	Kanan, 45cm		
3.	Kanan, 40cm		

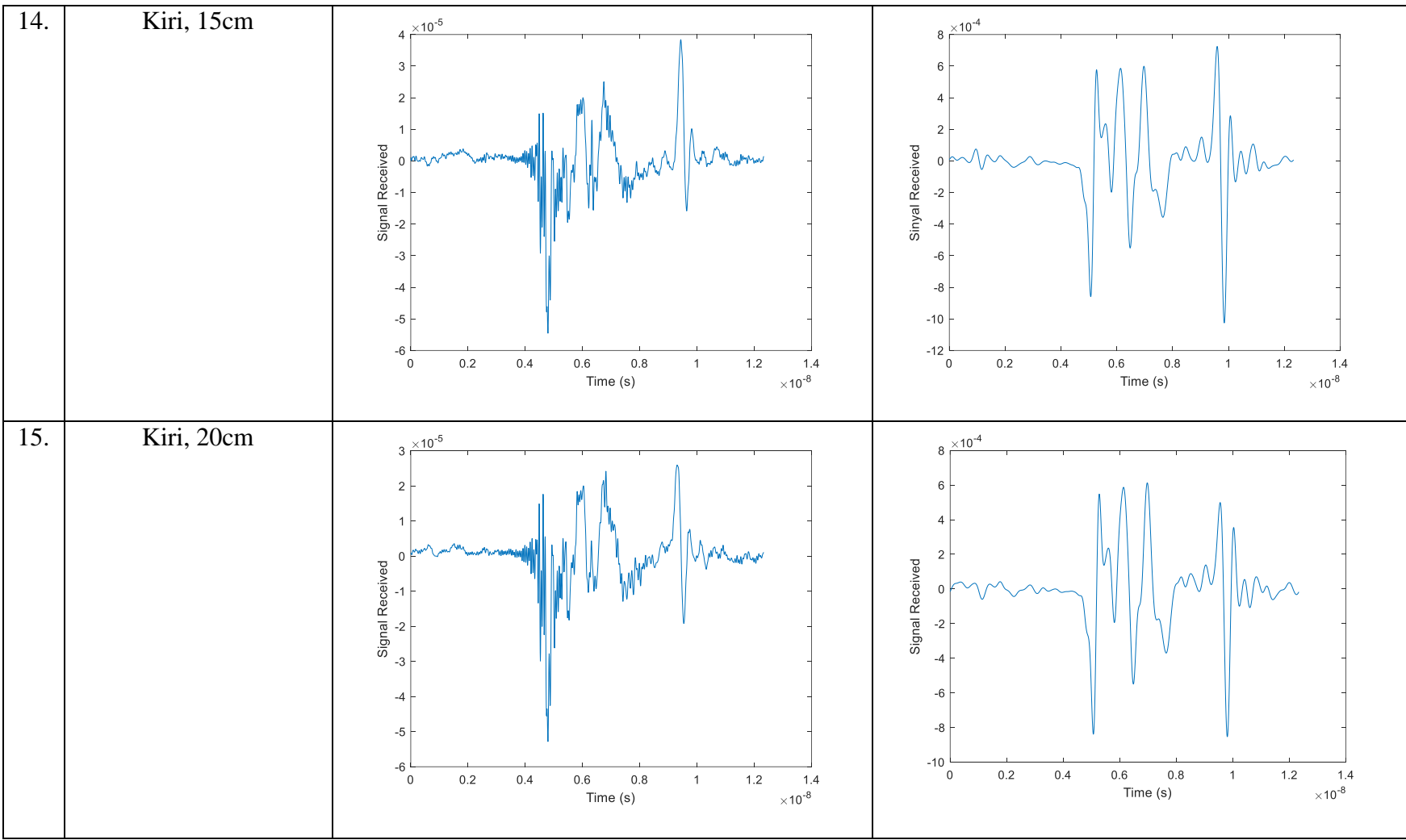
4.	Kanan, 35cm		
5.	Kanan, 30cm		

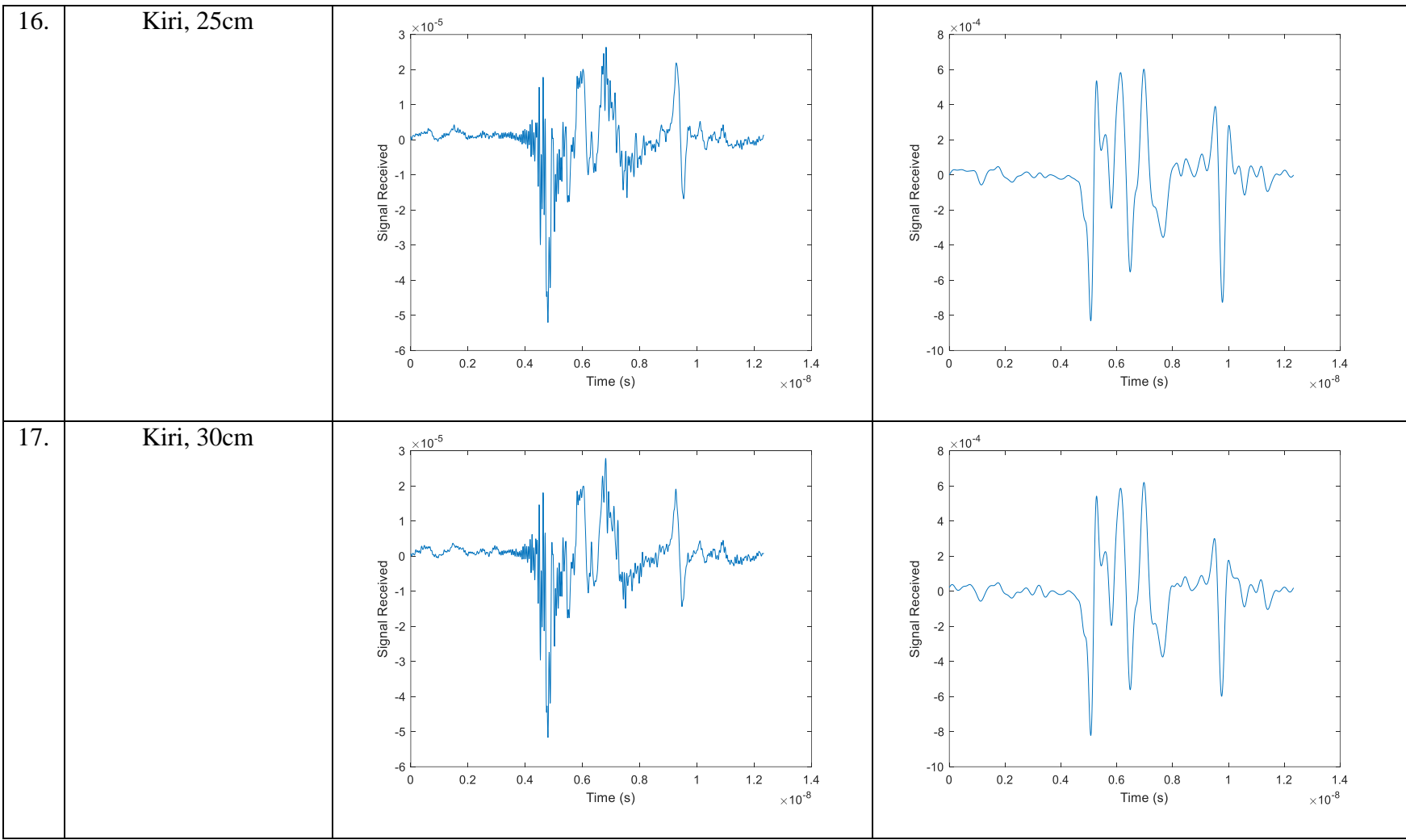


8.	Kanan, 15cm		
9.	Kanan, 10cm		

10.	Kanan, 5cm		
11.	Tengah (berhadapan dengan VNA), 0cm		







18.	Kiri, 35cm		
19.	Kiri, 40cm		

