

Deteksi Lintasan Misil Dengan Metode Identifikasi Polarisasi Gelombang Vertikal Dan Horizontal

(Detection Of Missile Trajectories By Using The Identification Method Of Vertical Dan Horizontal Wave Polarization)

1st Dhiya'ah Syarkiyah
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

dheasyar@student.telkomuniversit
y.ac.id

2nd Aloysius Adya Pramudita
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

pramuditaadya@telkomuniversity.
ac.id

3rd Dharu Arseno
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

darseno@telkomuniversity.ac.id

Abstrak —Indonesia adalah negara yang berdaulat. Keamanan merupakan suatu hal utama dan sangat krusial. Tertulis dalam Undang-Undang Republik Indonesia mengenai pelaksanaan eksplorasi dan eksploitasi kekayaan alam di landas kontinen harus diindahkan dan dilindungi kepentingan-kepentingan diantaranya adalah pertahanan dan keamanan nasional. Untuk melindungi keamanan negara dari ancaman peluru kendali atau misil, teknologi yang berperan dalam mendeteksi ancaman ini adalah radar. Radar mampu mendeteksi adanya misil yang melintas. Metode yang digunakan untuk radar adalah dengan melihat perubahan sinyal penerimaan dari objek dengan pancaran gelombang elektromagnetik yang memiliki polarisasi linear. Polarisasi linear digunakan pada dua arah yaitu polarisasi vertikal dan horizontal. Perubahan orientasi misil dan polarisasi dapat mempengaruhi nilai gelombang pantul yang diterima radar. Pada eksperimen ini, dapat disimpulkan bahwa penentuan polarisasi gelombang elektromagnetik mempengaruhi besar gelombang pantul pada setiap orientasi misil, hal tersebut ditunjukkan dengan perubahan nilai amplitudo peak-to-peak yang menampilkan adanya kenaikan dan penurunan nilai amplitudo peak-to-peak pada orientasi tertentu. Perubahan orientasi membuat sinyal terima yang diterima oleh antena penerima semakin kecil. Perubahan orientasi misil sepanjang lintasan memberikan pola level sinyal terima dan kemudian dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi lintasan misil. Pendeteksian misil secara dini dapat membantu proses penangkalannya dan evakuasi di suatu wilayah.

Kata kunci — Radar, Antena, Polarisasi Vertikal, Polarisasi Horizontal.

Abstract —Indonesia is a sovereign country. Security is the main thing and very crucial. It is written in the Law of the Republic of Indonesia concern about the

exploration of natural resources on land, and must be protected by national interests and national security. To protect national security from defense or missile protection, the technology that supports this protection is radar. Radar capable of detecting the presence of missiles. The method used for radar is to see changes in the reception signal from an object with electromagnetic waves that have linear polatzation. Linear polarization is used in two directions, namely vertical polarization and horizontal polarization. Changes in missile orientation and polarization can affect the value of the reflected wave received by the radar. In this experiment, it can be concluded that the determination of the polarization of electromagnetic waves affects the magnitude of the reflected wave at each missile orientation, this is indicated by changes in the peak-to-peak amplitude value which shows an increase and decrease in the peak-to-peak amplitude value in a certain orientation. Changes in orientation make the signal received by the receiving antenna smaller. Changes in the orientation of the missile along the trajectory provide a pattern of received signal levels and can then be used to detect the missile's trajectory. Early detection of missiles can help the process of deterrence and evacuation process in the area.

Keywords— Radar, Antenna, Vertical Polarization, Horizontal Polarization.

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang berdaulat. Keamanan merupakan suatu hal utama dan sangat krusial. Tertulis dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 1973 tentang Landasan Kontinen Indonesia pada Bab VII pasal 10 mengenai pelaksanaan eksplorasi dan eksploitasi kekayaan alam di landas kontinen harus diindahkan dan dilindungi kepentingan-kepentingan diantaranya adalah pertahanan dan keamanan nasional[1]. Aplikasi dalam dunia militer meliputi pengawasan,

navigasi, dan panduan senjata untuk di laut, udara, darat dan luar angkasa[2].

Salah satu teknologi yang berperan adalah Radio and Detecting Ranging (RADAR). Radar adalah sensor elektromagnetik untuk deteksi dan menentukan lokasi objek yang dipantulkan[3]. Objek tersebut biasanya berupa peluru kendali (rudal). Rudal atau misil merupakan peluru yang ditembakkan dengan roket yang mencapai sasarannya dengan mengikuti lintasan dan dapat dikendalikan secara otomatis. Lintasan tersebut berbentuk parabola.

Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya yang melakukan kajian Radar Cross Section (RCS) bahwa variabilitas besar dalam bahan dan bentuk yang digunakan dalam pembangunan drone harus dipertimbangkan, karena berdampak pada rentang nilai RCS yang mungkin diharapkan radar untuk berdeteksi[4]. Namun, penelitian tersebut belum membahas mengenai deteksi lintasan dan orientasi objek. Memprediksi lintasan dan orientasi misil diharapkan dapat membantu proses deteksi dini dan evakuasi.

Penelitian ini akan membuat simulasi radar menggunakan metode polarisasi gelombang vertikal dan horizontal dengan sistem yang memiliki satu pemancar dan dua penerima. Orientasi polarisasi gelombang yang mengenai objek akan mempengaruhi pantulan yang dihasilkan objek dengan demikian mempengaruhi RCS. Program aplikasi yang digunakan untuk eksperimen pada penelitian ini menggunakan Sistem Pemodelan 3D, penyesuaian penulisan dengan melakukan studi dengan cara simulasi. Sistem Pemodelan 3D digunakan untuk memodelkan sistem radar pendeteksi misil. Pemodelan menggunakan Sistem Pemodelan 3D untuk mengidentifikasi pengaruh orientasi 0° hingga 180° terhadap polarisasinya.

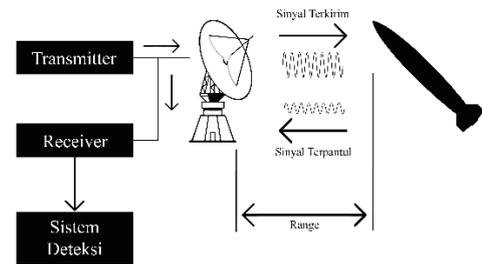
II. KAJIAN TEORI

Pada bagian ini, akan dijelaskan konsep dasar dan tinjauan pustaka mengenai Radar Ultra-Wideband, Antena Vivaldi, Polarisasi, Sistem Pemodelan 3D, Orientasi, Polarization Loss Factor (PLF), dan Prediksi Lintasan Misil.

A. Radar Ultra-Wideband

Radar sensor elektromagnetik untuk deteksi dan menentukan lokasi objek yang dipantulkan[3]. Radar terdiri dari receiver, transmitter, antena, objek dan lingkungan. Radar akan mengirimkan sinyal dengan banyak tipe gelombang dan mendeteksi sinyal pantul. Pengoperasian radar dengan antena, lalu switch akan mengembalikan pantulan ke receiver. Kemudian gelombang echo tersebut diteruskan ke isolator untuk menuju ke detektor. Oleh detektor, gelombang echo digabung dengan sinyal referensi untuk mendapatkan fd. Gelombang dengan frekuensi fd kemudian diteruskan dan akan terdeteksi oleh radar[5]. Penerima merupakan bagian integral dari sistem radar[6]. Antena penerima radar

menerima gelombang elektromagnetik yang dipantulkan dari suatu objek[6]. Prinsip kerja radar sederhana dapat digambarkan pada gambar berikut.



Gambar 1 Prinsip Kerja Radar Sederhana

Kata ‘ultra-wideband’ (UWB) biasanya mengacu pada sinyal atau sistem yang memiliki hubungan besar atau bandwidth absolut yang besar. Bandwidth merupakan selisih antara frekuensi gelombang terendah dan tertinggi[7]. Bandwidth yang besar, menawarkan keuntungan khusus sehubungan dengan kekokohan sinyal, konten informasi dan/atau kesederhanaan implementasi, tetapi menyebabkan perbedaan mendasar dari sistem narrowband konvensional[8]. Radar UWB mengirimkan pulsa pendek bertenaga tinggi. Produk dari kecepatan cahaya dengan durasi pulsa harus kurang dari dimensi fisik objek yang diamati, sering lebih kecil dari dimensi antena yang digunakan. Akibatnya bentuk sinyal terdistorsi oleh transmisi dari antena yang disebabkan oleh refleksi dari objek yang diamati dan sinyal terima dari antena penerima[8].

B. Antena Vivaldi

Antena adalah suatu alat yang dapat mengubah sinyal listrik menjadi gelombang elektromagnetik yang kemudian akan memancarkan ke ruang bebas atau menangkap gelombang elektromagnetik dari ruang bebas dan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Antena bisa berperan sebagai pengubah suatu energi ke dalam bentuk energi yang lain. Karena antena merupakan perangkat perantara antara saluran transmisi dan udara, maka antena harus memiliki sifat yang sesuai dengan saluran transmisi pencatunya.

Antena memiliki karakteristik umum yaitu berdasarkan luas penampang antena (aperture), pola radiasi, bandwidth, impedansi, faktor kualitas, direktivitas, gain dan efisiensi. Karakteristik tersebut merupakan parameter dalam merancang suatu antena, dimana saling berhubungan satu sama lain. Antena radar berperan untuk mentransmisikan energi elektromagnetik ke lingkungan dan menerima energi yang dipantulkan dari target yang jauh[6]. Antena berperan dalam menentukan sensitivitas dan resolusi sudut radar[2]. Antena Vivaldi adalah struktur tercetak yang memiliki bandwidth dan arah yang sangat lebar. Awal mulanya, antena ini dimaksudkan sebagai umpan untuk reflektor

parabola. Ini terdiri dari dua konduktor utama yang dicetak ke substrat alumina dengan slot melebar diantara konduktor[8].

C. Polarisasi

Polarisasi adalah salah satu parameter penting dalam menentukan karakteristik suatu antena. Polarisasi merupakan gelombang elektromagnetik yang bergerak dan berorientasi pada vektor medan listrik[6]. Bayangkan gelombang yang dipancarkan oleh antena dalam sistem koordinat bola. Secara umum, medan listrik akan memiliki komponen tangensial ortogonal, E_θ , E_ϕ , yang berorientasi tegak lurus ke arah (radial) arah perambatan gelombang. Polarisasi mengacu pada lokus ujung vektor medan listrik sesaat pada titik tetap pada permukaan bola dan berubah sesuai dengan sudut elevasi, θ , dan sudut azimuth, ϕ . Jika ujungnya berupa garis lurus sebagai fungsi waktu, maka gelombang terpolarisasi linier, terpolarisasi sirkuler jika lokus adalah lingkaran, dan elips terpolarisasi jika ujungnya menggambarkan elips[9].

Polarisasi linear terjadi apabila gelombang hanya bergetar pada satu bidang getar yang disebut bidang polarisasi. Polarisasi linear dalam bidang polarisasi digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2 Polarisasi Linear dalam Bidang Polarisasi

Pada polarisasi linear terdapat dua arah yang berbeda yaitu:

1. Polarisasi vertikal memiliki arah medan listrik yang tegak lurus dengan tanah atau permukaan bumi[10]. Polarisasi vertikal merupakan perambatan gelombang dengan sinyal yang lebih rapat dengan daya jangkauan yang lebih jauh. Untuk polarisasi ini, medan listrik sejajar dengan bidang dan menimpa antarmuka planar. Arah, refleksi, serta medan listrik dan magnet yang ditransmisikan. Medan listrik dan medan magnet dapat ditulis dengan persamaan dibawah ini[11]

$$E_{\parallel}^i = \widehat{a}_x \cos \theta_i - \widehat{a}_z \sin \theta_i E_0 e^{-j\beta^i \cdot r}$$

$$E_{\parallel}^i = (\widehat{a}_x \cos \theta_i - \widehat{a}_z \sin \theta_i) E_0 e^{-j\beta_1(x \sin \theta_i + z \cos \theta_i)}$$

$$H_{\parallel}^i = (\widehat{a}_y H_0^i e^{-j\beta^i \cdot r})$$

$$= \widehat{a}_y \frac{E_0}{\eta_1} e^{-j\beta_1(x \sin \theta_i + z \cos \theta_i)}$$

2. Polarisasi horizontal memiliki arah medan listrik yang horizontal terhadap permukaan tanah atau bumi[10]. Polarisasi horizontal merupakan perambatan gelombang dengan sinyal yang lebih lebar dengan daya jangkauan yang lebih pendek. Asumsikan bahwa medan listrik dari insiden gelombang bidang yang seragam pada antarmuka planar pada sudut miring, berorientasi tegak lurus terhadap bidang. Medan listrik dan medan magnet dapat ditulis dengan persamaan dibawah ini[11]

$$E_{\perp}^i = \widehat{a}_y E_{\perp}^i e^{-j\beta^i \cdot r} = \widehat{a}_y E_0 e^{-j\beta_1(x \sin \theta_i + z \cos \theta_i)}$$

$$H_{\perp}^i = (-\widehat{a}_x \cos \theta_i - \widehat{a}_z \sin \theta_i) H_{\perp}^i e^{-j\beta^i \cdot r}$$

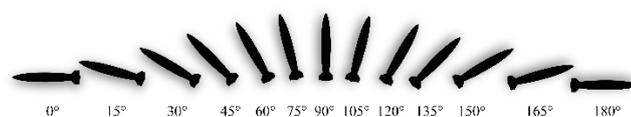
$$H_{\perp}^i = (-\widehat{a}_x \cos \theta_i - \widehat{a}_z \sin \theta_i) \frac{E_0}{\eta_1} e^{-j\beta_1(x \sin \theta_i + z \cos \theta_i)}$$

D. Sistem Pemodelan 3D

Software simulasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu Sistem Pemodelan 3D yang merupakan perangkat lunak untuk analisis elektromagnetik tiga dimensi berkinerja tinggi. Software ini dapat merancang, menganalisis, dan mengoptimalkan komponen pada sistem elektromagnetik. Subjek secara umum dari analisis elektromagnetik meliputi kinerja dan efisiensi antena dan filter, kompatibilitas dan interferensi elektromagnetik, efek elektro-mekanis pada motor dan generator, serta efek termal pada perangkat berdaya tinggi. Simulasi memungkinkan penggunaan prototipe virtual. Kinerja perangkat dapat dioptimalkan, sehingga potensi masalah dapat diidentifikasi[12].

E. Orientasi

Salah satu metode untuk menentukan arah ke suatu target adalah dengan menentukan sudut, dimana besar magnitude dari sinyal pantul yang berasal dari antena pemindai dengan beamwidth yang sempit[3]. Pada gambar tersebut menunjukkan orientasi objek, dimana objek dalam eksperimen ini berupa misil dengan perubahan orientasi dari 0° sampai 180° dengan perbedaan 15° pada setiap orientasi.



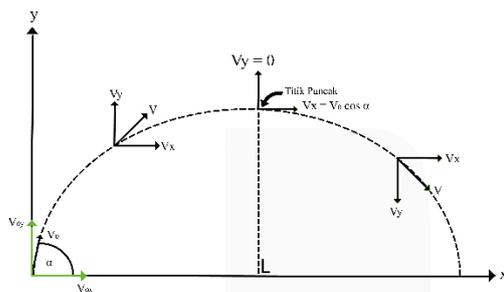
Gambar 3 Orientasi Misil pada Eksperimen

F. Polarization Loss Factor

Polarization Loss Factor (PLF) merupakan sebuah nilai yang menandakan hilangnya daya elektromagnetik karena ketidakcocokan polarisasi (polarization mismatch). PLF bernilai 1 (100% atau 0 dB) jika tidak terjadi polarization mismatch. Jika PLF bernilai 0 (-∞ dB) yang menunjukkan terjadinya polarization mismatch dan tidak memiliki kemampuan untuk menangkap gelombang yang datang.

G. Prediksi Lintasan Misil

Misil yang bergerak memiliki orientasi yang berbeda-beda. Orientasi tersebut dapat menentukan prediksi lintasan misil. Prinsip dasar yang digunakan pada sistem kerja radar yaitu gerakan parabola. Radar yang digunakan, masing-masing memiliki fungsi sebagai transmitter dan receiver. Pada gambar dibawah menunjukkan orientasi objek yang bergerak akan berbentuk lintasan parabola.



Gambar 4 Prinsip Dasar Lintasan

Dari lintasan tersebut dapat diambil beberapa orientasi yang memiliki informasi waktu pantul, sehingga dapat dituliskan seperti pada persamaan dibawah. Selang waktu dinyatakan dengan (x).

$$y_1 = ax^2 + bx + c$$

Selanjutnya, diambil tiga orientasi yang dapat ditulis dalam persamaan dibawah akan menghasilkan nilai untuk tiga parameter, yaitu a, b, dan c. Ketiga parameter tersebut dapat diperoleh menggunakan metode eliminasi.

$$y_1 = ax^2 + bx + c$$

$$y_2 = ax^2 + bx + c$$

$$y_3 = ax^2 + bx + c$$

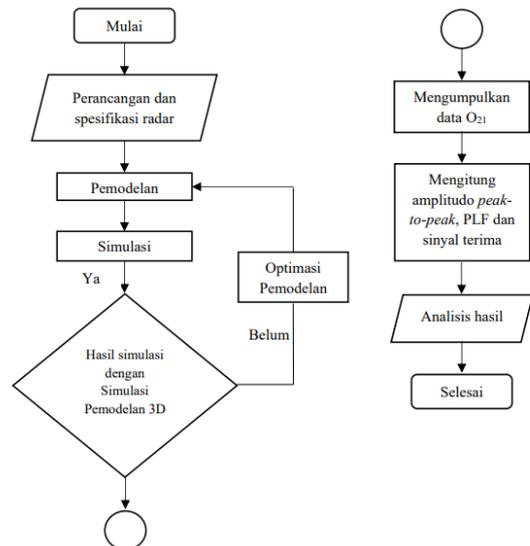
Pada eksperimen ini, menggunakan dua antena yang masing-masing berperan sebagai transmitter dan receiver. Antena pemancar, memancarkan gelombang ke arah misil. Selanjutnya, antena penerima akan menerima pantulan berupa $S_1, S_2,$ dan S_3 . $S_1, S_2,$ dan S_3 memiliki nilai yang berbeda, karena

orientasi misil yang berbeda. Nilai $S_1, S_2,$ dan S_3 dapat ditulis dalam persamaan berikut.

$$S_1 \neq S_2 \neq S_3$$

III. METODE

Pada Tugas Akhir dilakukan simulasi alat menggunakan aplikasi perangkat lunak yaitu Sistem Pemodelan 3D. Gambar 5 menunjukkan diagram tahapan eksperimen.



Gambar 5 Diagram Alir Tahapan Eksperimen dengan Sistem Pemodelan 3D

Perancangan eksperimen dengan menyesuaikan dengan spesifikasi radar yang dibutuhkan. Selanjutnya, melakukan pemodelan desain perangkat menggunakan Simulasi Pemodelan 3D. Kemudian simulasi dilakukan, jika terjadi error, maka harus melakukan optimasi pemodelan pada perangkat keras maupun perangkat lunak. Jika sudah sesuai, selanjutnya akan mengumpulkan data O_{21} untuk setiap orientasi. Analisis hasil berdasarkan data nilai amplitudo *peak-to-peak* yang didapatkan guna mengidentifikasi pengaruh orientasi misil. Data O_{21} direkam untuk setiap perubahan orientasi misil yang berbeda dari polarisasi vertikal ke polarisasi horizontal menggunakan Simulasi Pemodelan 3D.

A. Sistem Komputasi pada Eksperimen

Perancangan sistem komputasi dalam eksperimen ini seperti ditunjukkan pada gambar dibawah.



Gambar 6 Sistem Komputasi dalam Eksperimen

Untuk menjalankan simulasi dibutuhkan server dan monitor dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 1 Spesifikasi Server pada Eksperimen

SPESIFIKASI SERVER	
Spesifikasi	Keterangan
Sistem Operasi	Windows Server 2012 Standard 64-bit (6.2 Build 9200)
Produsen Sistem	Dell Inc.
Model Sistem	PowerEdge R710
BIOS	Phoenix ROM BIOS Plus Version 1.10 6.6.0
Prosesor	Intel® Xeon® CPU
Memori	131072 MB RAM

Tabel 2 Spesifikasi Monitor pada Eksperimen

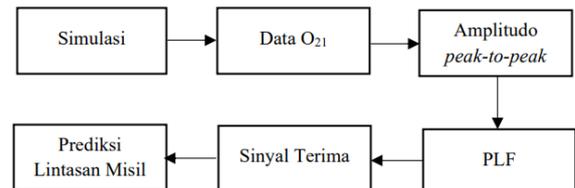
SPESIFIKASI MONITOR	
Spesifikasi	Keterangan
Produsen	Akari
Model Sistem	LF-32K88
Resolusi	1280 x 720
Ukuran	32"

Pada Tabel 1 menunjukkan spesifikasi server yang digunakan untuk menjalankan simulasi pada eksperimen ini. Selanjutnya, monitor menampilkan Sistem Pemodelan 3D dengan spesifikasi seperti pada Tabel 2 Monitor disambungkan ke server. Setelah server dinyalakan, dilanjutkan dengan membuka software simulasi yaitu Sistem Pemodelan 3D dan me-render simulasi sesuai spesifikasi. Rendering simulasi dengan memilih 'Time Domain Solver'. Terbuka jendela 'Time Domain Solver Parameters', pada eksperimen ini menggunakan pengaturan yang otomatis terset, klik 'Start', dan proses rendering berlangsung. Server digunakan agar simulasi yang dijalankan tidak berhenti selama proses rendering berlangsung.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan data yang dihasilkan pada saat simulasi eksperimen dengan Simulasi Pemodelan 3D, selanjutnya dikumpulkan, diplot, lalu dianalisis. Data hasil simulasi dianalisis untuk mengetahui pengaruh orientasi objek dalam deteksi misil. Kemudian, hasil pengukuran tersebut dapat menjadi

tolak ukur untuk menganalisis prediksi lintasan misil. Skema analisis hasil eksperimen dilakukan dalam beberapa tahap seperti pada Gambar 7. Pertama, melakukan simulasi dengan *software* Simulasi Pemodelan 3D. Setelah simulasi, akan didapatkan data O_{21} yang selanjutnya akan diolah menjadi beberapa data yaitu, amplitudo *peak-to-peak*, PLF, sinyal terima dan prediksi lintasan misil.



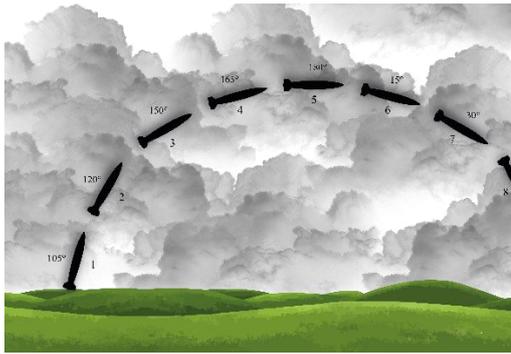
Gambar 7 Skema Analisis Hasil Eksperimen

A. Tahapan Pengujian

Dalam pengambilan data eksperimen dilakukan dengan dua posisi antenna yang berbeda, yaitu pada antenna dengan pancaran polarisasi horizontal dan polarisasi vertikal, sebagai berikut:

1. Pengukuran dengan pancaran polarisasi horizontal
Pengukuran pada antenna dengan pancaran polarisasi horizontal dengan menggunakan Sistem Pemodelan 3D dilakukan pada frekuensi 4 GHz dengan 13 orientasi yang berbeda, yaitu 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° , 105° , 120° , 135° , 150° , 165° , dan 180° . Misil sebagai objek dengan bahan kuningan. Jarak radar dengan objek yaitu 75 cm. Data yang diambil pada eksperimen ini adalah O_{21} .
2. Pengukuran dengan pancaran polarisasi vertikal
Pengukuran pada antenna dengan pancaran polarisasi vertikal dengan menggunakan Sistem Pemodelan 3D dilakukan pada frekuensi 4 GHz dengan 13 orientasi yang berbeda, yaitu 0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , 90° , 105° , 120° , 135° , 150° , 165° , dan 180° . Misil sebagai objek dengan bahan kuningan. Jarak radar dengan objek yaitu 75 cm. Data yang diambil pada eksperimen ini adalah O_{21} .
3. Prediksi Lintasan Misil

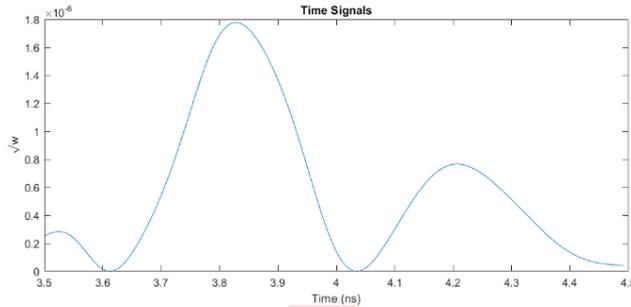
Gambar 8 terdapat lintasan misil yang berbentuk parabola dengan orientasi yang berbeda. Mulanya, misil dilontarkan dengan orientasi 105° . Selanjutnya, misil meluncur dengan perbedaan orientasi yaitu 120° , 150° , 165° , 180° , 15° , 30° , 60° . Lalu, misil akan mendarat ke tanah dengan orientasi 75° . Dengan perbedaan derajat tersebut, terbentuk lintasan misil yang berbentuk lintasan parabola.



Gambar 8 Lintasan Misil

B. Data Hasil Pengujian Sistem

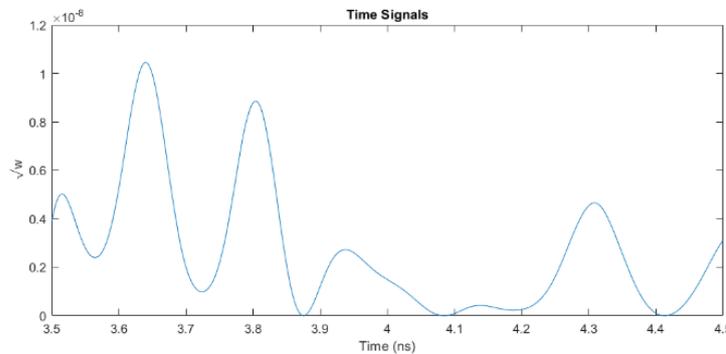
Pengujian ini menggunakan Sistem Pemodelan 3D ditunjukkan untuk mengetahui pengaruh orientasi objek pada pendeteksian misil. Pertama, melakukan simulasi eksperimen tanpa menggunakan misil. Eksperimen tanpa menggunakan misil dilakukan untuk melihat perbedaan data O_{21} . Simulasi tanpa menggunakan misil pada polarisasi horizontal mengamati data O_{21} . Dengan metode identifikasi, tujuan mengamati data O_{21} yaitu untuk mengetahui pengaruh orientasi yang dapat dilihat dari amplitudo *peak-to-peak* dan PLF.



Gambar 9 Data O_{21} Tanpa Misil pada Polarisasi Horizontal

Pada Gambar 9 merupakan data O_{21} pada 3,5 sampai 4,5 sekon tanpa adanya misil. Amplitudo maksimum pada 0,00087503479 volt, sedangkan amplitudo minimumnya -0,0013331433 volt. Pada Gambar 10 merupakan data O_{21} pada saat detik 3,5

sampai 4,5 tanpa misil. Amplitude maksimum pada $5,5916691 \times 10^{-5}$ volt, sedangkan amplitudo minimumnya -0,00010222747 volt.



Gambar 10 Data Tanpa Misil pada Polarisasi Vertikal

Parameter yang diukur pada Sistem Pemodelan 3D ini yaitu O_{21} pada frekuensi 4 GHz. Analisis dilakukan terhadap hasil pengukuran pada 13 orientasi misil yaitu, $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ, 90^\circ,$

$105^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ, 165^\circ,$ dan 180° . Objek pada simulasi ini berupa misil dengan tinggi 69 cm dan lebar 10,5 cm.

Tabel 3 Amplitudo Peak-to-Peak Polarisasi Horizontal

Derajat	Puncak Maksimum (V)	Puncak Minimum (V)	Amplitudo Peak-to-Peak (V)
0	0,005158144	-0,003643839	0,008801983
15	0,005444157	-0,003893815	0,009337973
30	0,006554329	-0,004254631	0,01080896
45	0,006967922	-0,004683868	0,01165179
60	0,006095343	-0,003202644	0,009297986
75	0,004573022	-0,002490878	0,0070639
90	0,003383347	-0,001834515	0,005217862
105	0,004534082	-0,003036615	0,007570697
120	0,003785269	-0,002893965	0,006679234
135	0,006935463	-0,003686498	0,010621961
150	0,006364016	-0,003892547	0,010256563
165	0,006923595	-0,004651501	0,011575096
180	0,004333177	-0,003005245	0,007338421

Berdasarkan data pada Tabel 3 menunjukkan kenaikan amplitudo peak-to-peak pada saat orientasi 0° sampai 45°. Terjadi penurunan yang signifikan pada orientasi 45° sampai 90°. Lalu, naik kembali pada 90° hingga 165°. Dan terjadi penurunan kembali pada orientasi 165° menuju 180°.

Penurunan tersebut disebabkan oleh perubahan orientasi yang membuat semakin sedikit daerah yang terkena gelombang dari antenna pemancar. Hal itu menyebabkan amplitudo sinyal yang diterima oleh antenna penerima semakin kecil.

Tabel 4 Amplitudo Peak-to-Peak Polarisasi Vertikal

Derajat	Puncak Maksimum (V)	Puncak Minimum (V)	Amplitudo Peak-to-Peak (V)
0	0,000152494	-0,000134171	0,000286665
15	0,000252673	-0,00031327	0,000565944
30	0,000443995	-0,000381436	0,000825431
45	0,000112439	-0,000300752	0,00041319
60	0,000380917	-0,000310636	0,000691553
75	0,000303623	-0,000254007	0,00055763
90	0,000191765	-0,000151602	0,000343366
105	0,000241889	-0,000119131	0,00036102
120	0,000277068	-0,000142334	0,000419402
135	0,000607713	-0,000547473	0,001155186
150	0,000492356	-0,000490978	0,000983335
165	0,000474239	-0,000516679	0,000990918
180	0,000142824	-0,000150492	0,000293316

Berdasarkan data pada Tabel 4 menunjukkan kenaikan amplitudo peak-to-peak pada saat orientasi 0° sampai 30°. Pada orientasi 45° terjadi penurunan dan naik pada orientasi 60°. Menurun kembali pada 60° hingga 90°. Lalu, terjadi kenaikan yang signifikan pada orientasi 90° menuju 135°. Dan terjadi penurunan kembali pada orientasi 135° hingga 180°.

menyebabkan nilai PLF yang berbeda-beda. Antena juga memiliki polarisasi yang berbeda, sehingga terdapat perbedaan PLF antara polarisasi horizontal dan polarisasi vertikal. Menghitung nilai PLF pada polarisasi horizontal adalah dengan melihat sudut yang dibentuk antara antenna dengan objek. Nilai PLF yang dihasilkan dengan polarisasi horizontal pada orientasi 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°, 105°, 120°, 135°, 150°, 165°, dan 180° seperti tertera pada Tabel 5.

PLF pada eksperimen ini adalah sudut yang dibentuk antara antenna dan misil. Misil yang memiliki orientasi yang berbeda terhadap antenna,

Tabel 5 Nilai PLF Polarisasi Horizontal pada Orientasi 0° sampai 180°

Derajat	PLF	
0	$\cos^2(0)$	1
15	$\cos^2(15)$	0,933012702
30	$\cos^2(30)$	0,75
45	$\cos^2(45)$	0,5
60	$\cos^2(60)$	0,25
75	$\cos^2(75)$	0,066987298
90	$\cos^2(90)$	3,75247E-33
105	$\cos^2(105)$	0,066987298
120	$\cos^2(120)$	0,25
135	$\cos^2(135)$	0,5
150	$\cos^2(150)$	0,75
165	$\cos^2(165)$	0,933012702
180	$\cos^2(180)$	1

Perhitungan PLF pada polarisasi vertikal sudut yang dibentuk oleh antenna dan objek berbeda dibandingkan dengan polarisasi horizontal. Nilai PLF yang dihasilkan dengan polarisasi vertikal pada orientasi 0° hingga 180° pada Tabel 6.

Tabel 6 Nilai PLF Polarisasi Vertikal pada Orientasi 0° sampai 180°

Derajat	PLF
0	$\cos^2(-90)$ 3,75247E-33
15	$\cos^2(-75)$ 0,066987298
30	$\cos^2(-60)$ 0,25
45	$\cos^2(-45)$ 0,5
60	$\cos^2(-30)$ 0,75
75	$\cos^2(-15)$ 0,933012702
90	$\cos^2(0)$ 1
105	$\cos^2(15)$ 0,933012702
120	$\cos^2(30)$ 0,75
135	$\cos^2(45)$ 0,5
150	$\cos^2(60)$ 0,25
165	$\cos^2(75)$ 0,066987298
180	$\cos^2(90)$ 3,75247E-33

Sinyal yang dikirim oleh *receiver* dan diterima oleh *transmitter* pada setiap orientasi dapat melihat besar atau kecilnya sinyal yang diterima oleh antenna penerima. Sinyal terima pada polarisasi horizontal paling kecil berada pada orientasi 180° yaitu 0,000573073 \sqrt{W}/ns . Dan paling besar pada orientasi 105° sebesar 0,000606705 \sqrt{W}/ns . Seperti yang dapat dilihat pada Tabel 7. Penurunan sinyal terima dipengaruhi oleh seberapa lebar permukaan yang terkena gelombang. Dengan demikian, luas permukaan yang dideteksi pada orientasi 180° cukup kecil.

Tabel 7 Sinyal Kirim dan Terima pada Orientasi 0° sampai 180° pada Polarisasi Horizontal

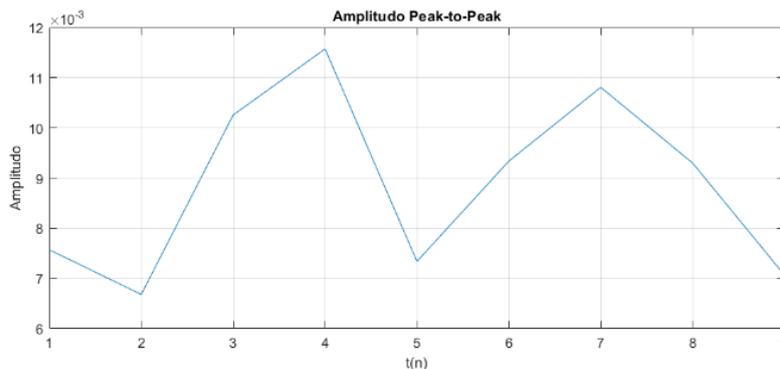
Derajat	Sinyal Kirim ($\sqrt{W}/n s$)	Sinyal Terima ($\sqrt{W}/n s$)
0	6,26E-04	0,000596244
15	6,02E-04	0,000601814
30	0,000580723	0,000580723
45	0,000583002	0,000579242
60	0,000578309	0,000582089
75	0,000569013	0,000576451
90	0,000576897	0,000573175
105	6,19E-04	0,000606705
120	5,77E-04	0,000577407
135	5,78E-04	0,000574209
150	5,74E-04	0,000581694
165	5,76E-04	0,000599525
180	6,04E-04	0,000573073

Sinyal yang diterima oleh antenna dengan polarisasi vertikal yang terbesar pada orientasi 0°, sedangkan yang paling kecil pada orientasi 30°. Seperti pada Tabel 8, yang paling kecil bernilai 0,000573484 \sqrt{W}/ns dan yang paling besar bernilai 0,000636509 \sqrt{W}/ns . Pada orientasi 0°, permukaan objek yang terkena gelombang cukup besar dibanding orientasi 30°.

Tabel 8 Sinyal Kirim dan Terima pada Orientasi 0° sampai 180° pada Polarisasi Vertikal

Derajat	Sinyal Kirim ($\sqrt{W}/n s$)	Sinyal Terima ($\sqrt{W}/n s$)
0	6,41E-04	0,000636509
15	6,26E-04	0,000608991
30	6,05E-04	0,000573484
45	5,82E-04	0,000578543
60	5,82E-04	0,000578265
75	6,07E-04	0,000611427
90	6,04E-04	0,000625013
105	5,81E-04	0,000609119
120	5,79E-04	0,000599041
135	5,90E-04	0,000578081
150	6,06E-04	0,000574518
165	6,32E-04	0,000602044
180	6,36E-04	0,000602093

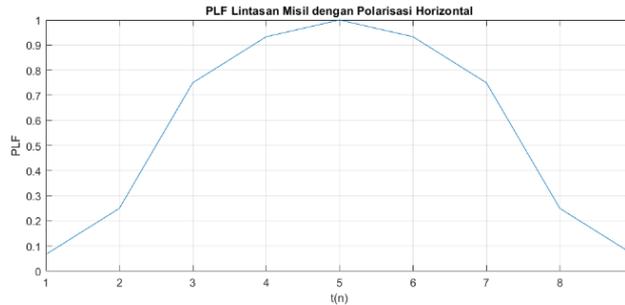
Terdapat lintasan misil yang berbentuk parabola dengan orientasi yang berbeda. Mulanya, misil dilontarkan dengan orientasi 105°. Selanjutnya, misil meluncur dengan perbedaan orientasi yaitu 120°, 150°, 165°, 180°, 15°, 30°, 60°. Lalu, misil akan mendarat ke tanah dengan orientasi 75°. Dengan perbedaan derajat tersebut, terbentuk lintasan misil yang berbentuk lintasan parabola.



Gambar 11 Amplitudo Peak-to-Peak Lintasan Misil dengan Polarisasi Horizontal

Ketika misil berada pada posisi t_5 , Gambar 11 menunjukkan pantulan dari misil yang diterima cukup kecil sebesar 0,007338421 volt. Pada posisi t_4 , kedua gambar menunjukkan amplitudo *peak-to-peak* yang paling tinggi pada prediksi lintasan tersebut yang bernilai 0,011575096 volt. Pada saat t_5 ,

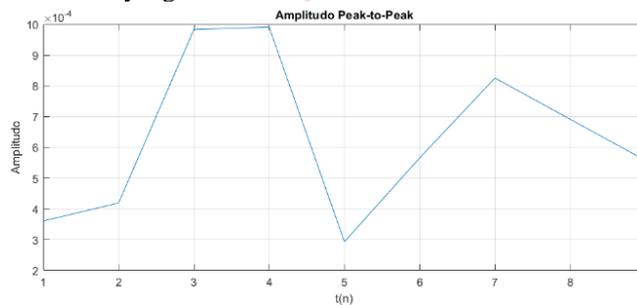
Gambar 12 menunjukkan penurunan yang disebabkan oleh misil yang berada pada titik tertinggi dan misil yang semakin miring, sehingga sinyal yang diterima semakin kecil. PLF pada t_5 berada pada titik tertinggi yaitu $PLF = 1$, menandakan tidak terjadi *polarization mismatch*.



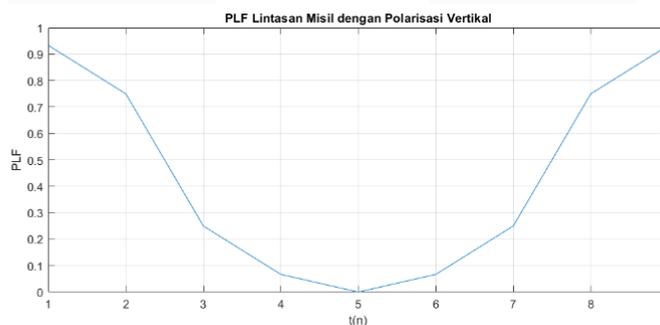
Gambar 12 PLF Lintasan Misil dengan Polarisasi Horizontal

Gambar 13 menunjukkan gambar amplitudo *peak-to-peak* dari lintasan misil dengan polarisasi vertikal. Gambar 14 menunjukkan penurunan yang disebabkan oleh misil yang berada pada titik terendah yang disebabkan oleh misil yang berada

pada titik tertinggi dan misil yang semakin miring, sehingga sinyal yang diterima semakin kecil yang bernilai 0,000293316 volt. PLF pada t_5 berada pada titik tertinggi yaitu $PLF = 0$, menandakan terjadinya *polarization mismatch*.



Gambar 13 Amplitudo Peak-to-Peak Lintasan Misil dengan Polarisasi Vertikal



Gambar 14 PLF Lintasan Misil dengan Polarisasi Vertikal

V. KESIMPULAN

Hasil pengukuran dengan menggunakan Simulasi Pemodelan 3D menunjukkan bahwa perubahan orientasi dapat mempengaruhi amplitudo *peak-to-peak*. Hal ini ditunjukkan adanya kenaikan dan penurunan nilai amplitudo *peak-to-peak* pada orientasi tertentu. Perubahan orientasi membuat sinyal terima yang diterima oleh antena penerima semakin kecil. Amplitudo pada antena tanpa misil memiliki nilai yang sangat kecil dibanding nilai amplitudo dengan adanya misil. Tanpa misil dengan polarisasi horizontal, amplitudo *peak-to-peak* sebesar 0,00220818 volt, sedangkan rata-rata amplitudo *peak-to-peak* pada polarisasi horizontal dengan misil bernilai 0,008940187 volt. Rata-rata amplitudo *peak-to-peak* dengan polarisasi vertikal bernilai 0,000606689 volt, sedangkan nilai amplitudo *peak-to-peak* tanpa misil bernilai cukup kecil yaitu $1,58144161 \times 10^{-4}$ volt. Berdasarkan hasil simulasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa fenomena perubahan orientasi misil dapat dideteksi oleh antena. Di lain hal, polarisasi juga dapat dipengaruhi oleh misil. Dari kedua hal tersebut merujuk pada diperlukannya pendeteksi dengan akurasi yang baik, sehingga terdapat kesesuaian.

REFERENSI

- [1] Presiden Republik Indonesia, "UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 1 TAHUN 1973," vol. 1960, no. 1, p. 300, 1973.
- [2] M. A. Richards, *Fundamentals of Radar Signal Processing*, Second Edi. United States: McGraw-Hill Education, 2014.
- [3] M. Skolnik, *Radar Handbook*, vol. 53, no. 9. 2008.
- [4] J. S. Patel, F. Fioranelli, and D. Anderson, "Review of radar classification and RCS characterisation techniques for small UAVs or drones," *IET Radar, Sonar Navig.*, vol. 12, no. 9, pp. 911–919, 2018, doi: 10.1049/iet-rsn.2018.0020.
- [5] F. Gustomo, "Analisa Penggunaan Sinyal Radar Bentuk Pulsa dan Gelombang Kontinyu untuk Target Bergerak dengan Model Clutter Terdistribusi Rayleigh," *J. Tek. POMITS Vol. 2, No. 2, ISSN 2337-3539*, vol. 2, no. 2, pp. 3–8, 2013.
- [6] M. A. Richards, J. A. Scheer, and W. A. Holm, *Principles of modern radar: Basic principles*, Vol. I. Danvers: Scitech Publishing, 2010.
- [7] S. Aulia, S. Tjondronegoro, and R. Kurnia, "Analisis Pengolahan Sinyal Radar Frequency Modulated Continuous Wave untuk Deteksi Target," *Anal. Pengolah. Sinyal Radar Freq. Modul. Contin. Wave untuk Deteksi Target*, vol. 2, no. 2, pp. 51–64, 2013, doi: 10.20449/jnte.v2i2.86.
- [8] P. J. Boersma, *Utra-Wideband Antennas And Propagation for Communications, Radar and Imaging*, vol. 21, no. 2. 1979.
- [9] W. L. Melvin and J. A. Scheer, *Principle of Modern Radar: Advanced Techniques*, Vol. II., vol. 53, no. 9. Danvers: Scitech Publishing, 2013.
- [10] R. Munadi, "Pengujian Polarisasi Linier Terhadap Kualitas SNR Pada Sistem Komunikasi Nirkabel IEEE 802.11g," *Penguji. Polarisasi Linier Terhadap Kualitas SNR Pada Sist. Komun. Nirkabel IEEE 802.11g*, vol. 9, no. 3, pp. 132–136, 2011.
- [11] C. A. Balanis, *Advanced Engineering: Electromagnetics*, Second Edi. Danvers: 1989 John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [12] Dassault Systems, "CST Studio Suite 3D EM Simulation and Analysis Software," *BMC Public Health*. 2020, [Online]. Available: <https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/cst-studio-suite/>.