

Pencitraan Objek dalam Tanah Hasil Deteksi Ground Penetrating Radar Menggunakan GPRmax

Ifiyantri Intyas

Akademi Teknik Telekomunikasi Sandhy Putra Jakarta

Jln. Daan Mogot Km. 11, Jakarta Barat 11710

ilfiyantri@akademitelkom.ac.id

Intisari— Pada penelitian ini dilakukan simulasi deteksi benda dengan Ground Penetrating Radar dan pengujian di laboratorium. Simulasi diawali dengan pemodelan senapan M16 dan lingkungan tempat pemindaian tersebut dilakukan dengan menggunakan GPRmax. Setelah itu, simulasi pemindaian dijalankan menggunakan GPRmax melalui Matlab. Simulasi dilakukan dalam tiga skenario. Pada skenario satu, *step* antena GPR diset 3 cm ke arah sumbu-*y* dan 20 cm ke arah sumbu-*x*. Pada skenario dua, *step* antena GPR diset 3 cm ke arah sumbu-*y* dan 3 cm ke arah sumbu-*x*. Pada skenario tiga, *step* antena GPR diset 2 cm ke arah sumbu-*x* dan 2 cm ke arah sumbu-*y*. Data hasil simulasi dan pengujian lalu diolah menjadi citra *A-scan*, *B-scan*, dan *C-scan*, dan dibandingkan. Hasil perbandingan menunjukkan telah adanya kemiripan antara hasil pengujian laboratorium dengan simulasi.

Kata kunci - *GPR, GPRmax, senapan M16, radar imaging, image processing.*

Abstract—In this research, a simulation of object detection using Ground Penetrating Radar and a laboratory test were performed. A model of M16 rifle was simulated using GPRmax software. Then, the scanning simulation was then run using GPRmax through Matlab. The simulation was performed in three scenarios. In the first scenario, the step of the GPR antenna was set to 3 cm on the direction of *y*-axis, and 20 cm on the direction of *y*-axis. In the second scenario, the antenna step was set to 3 cm on the direction of *y*-axis, and 3 cm on the direction of *x*-axis, in the third scenario, the antenna step was set to 2 cm on the direction of *y*-axis, and 2 cm on the direction of *x*-axis. The result data from the simulation and the laboratory test were processed into *A-scan*, *B-scan*, and *C-scan*, and compared to one another. The result shows that there is a similarity between simulation and laboratory experiment.

Keywords— *GPR, GPRmax, M16 rifle, pencitraan radar, pemrosesan citra.*

I. PENDAHULUAN

RADAR, akronim dari *Radio Detection and Ranging*, adalah alat yang dikembangkan pertama kali pada dekade pertama abad ke-20 untuk mendeteksi jarak dari suatu objek menggunakan gelombang elektromagnetik [1]. Salah satu jenis RADAR adalah *Ground Penetrating Radar* (GPR) yang secara spesifik dirancang untuk mendeteksi benda yang terhalang suatu permukaan. Aplikasi GPR sangat luas, di antaranya adalah di bidang ilmu kebumihan, arkeologi, teknik sipil dan pertahanan keamanan (hankam). Pada bidang hankam, GPR antara lain dipakai untuk mendeteksi ranjau darat (logam maupun non logam), mencari lokasi penimbunan senjata, dan mendeteksi benda/personil di balik dinding atau ruang bawah tanah.

Salah satu jenis GPR adalah *Step Frequency Continues Wave Ground Penetrating Radar* (SFCW-GPR) [2]. Radar ini bekerja pada kawasan frekuensi. Pembangkitan pulsa tidak dilakukan pada kawasan waktu dengan *impulse generator* namun dilakukan dengan memancarkan gelombang kontinyu dari frekuensi terendah hingga frekuensi tertinggi dengan lebar pita tertentu. Pantulannya kemudian direkonstruksi sehingga diperoleh seolah-olah berasal dari satu pantulan pulsa.

Salah satu keunggulan dari GPR adalah kemampuannya sebagai alat uji

tidak merusak. Dengan menggunakan alat tersebut, seseorang tidak perlu membongkar tanah di suatu tempat, misalnya, untuk mengetahui objek yang terpendam dalam tanah pada suatu situs bersejarah. Namun, hasil deteksi alat ini sulit dipahami oleh orang banyak dan hanya bisa dipahami oleh ahlinya. Oleh karena itu, pada penelitian ini, dikembangkan suatu cara pengolahan data GPR yang dapat membuat data akuisisinya mudah dipahami oleh semua orang, bahkan bagi yang tidak memiliki pengetahuan apapun tentang radar.

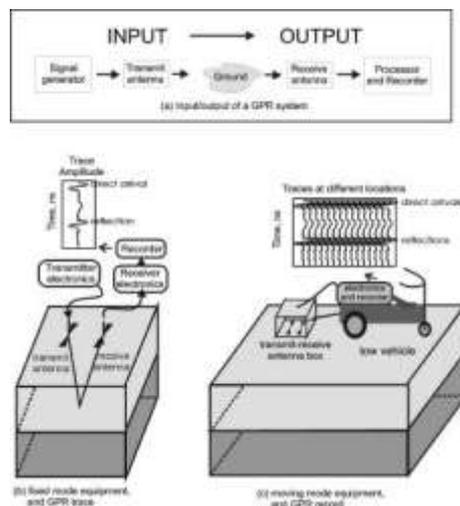
Pengolahan data pada GPR akan menghasilkan tampilan *A-scan*, *B-scan*, dan *C-scan*.

A. *Ground Penetrating Radar*

Ground Penetrating Radar (GPR) adalah radar yang digunakan untuk mendeteksi objek yang tertimbun di dalam suatu medium. Prinsip kerjanya dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan untuk menembus permukaan tanah kemudian dipantulkan karena mengenai objek tertentu. Hasil pantulan ini kemudian akan direkam dan diolah oleh pemroses sinyal. Ada beberapa parameter penting dari suatu GPR untuk menilai kinerja dari alat tersebut, yaitu : jangkauan dinamis, lebar pita, resolusi, dan jangkauan tidak ambigu [3].

GPR memanfaatkan gelombang elektromagnetik yang dipancarkan

ke suatu permukaan tanah di mana gelombang ini akan menembus permukaan tanah. Proses pemindaian menggunakan GPR diilustrasikan pada Gambar I.1. Hasilnya akan dianalisa dengan menggunakan teori propagasi gelombang elektromagnetik satu dimensi.



Gambar II.1 Proses *scanning* pada GPR [3]

Jenis-jenis GPR [5]:

1. *Step Frequency GPR*

Step Frequency merupakan teknologi GPR yang sedang dikembangkan saat ini. GPR ini dapat mengevaluasi material pada kedalaman yang lebih luas lagi. *Step frequency* GPR memanfaatkan pancaran gelombang elektromagnetik dalam bentuk pancaran gelombang kontinu. Antena pengirim mengirimkan sinyal dengan frekuensi yang terdiri dari beberapa langkah dalam waktu tertentu di beberapa koordinat spasial sekaligus. Sinyal yang dikirim akan dipantulkan ke penerima. Sinyal ini kemudian

diproses dan ditransformasikan dari format data yang berbasis waktu. Dengan penggunaan frekuensi yang rendah maka GPR jenis ini bisa digunakan untuk penetrasi yang lebih dalam, walaupun resolusinya rendah. GPR jenis ini bersifat lebih fleksibel, bisa diprogram baik oleh perusahaan pembuatnya ataupun oleh pemakainya.

2. *Impulse GPR*

Impulse GPR sudah banyak digunakan untuk aplikasi yang ada. Jenis ini adalah teknologi GPR yang lebih dulu ada sebelum jenis *step frequency* GPR. *Impulse* GPR adalah teknologi GPR dengan memanfaatkan pancaran radiasi gelombang elektromagnetik dengan pancaran *impulse*. GPR ini menggunakan antena pengirim yang berukuran cukup besar. Ada beberapa antena pengirim pada GPR jenis ini yang masing-masing memiliki frekuensi yang berbeda-beda. Kemudian hasilnya akan digabungkan menjadi data keluaran GPR. Salah satu manfaat yang paling penting dari *impulse* GPR adalah keefektifannya dalam melakukan evaluasi dengan kecepatan tinggi. Dengan *impulse* GPR akan didapatkan hasil dengan resolusi yang tinggi tetapi kemampuan mendeteksi objek pada kedalaman tertentu cukup rendah. Ini disebabkan penggunaan frekuensi antena yang tinggi.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Secara umum, sistem radar terdiri atas antena pengirim, antena penerima, dan unit pengolahan sinyal. Untuk merealisasikan sistem tersebut pada pengujian, pada penelitian ini diperlukan beberapa alat di antaranya adalah antena, *Vector Network*

Analyzer, *scanner* 3 dimensi, dan komputer untuk menjalankan *scanner* 3 dimensi serta mengolah data akuisisi GPR. Adapun fokus dari penelitian ini adalah pada proses pengolahan data akuisisi GPR menjadi citra *A-scan*, *B-scan*, dan *C-scan*, serta mengaplikasikan proses interpolasi untuk meningkatkan kualitas citra *C-scan*.

Objek yang dideteksi pada penelitian ini adalah tiruan senapan M16. Senjata tersebut ditanam di bawah pasir pada kedalaman sekitar 35 cm dari permukaan pasir. Kedalaman pasir secara keseluruhan adalah sekitar satu meter, dan dianggap medium homogen. Pengambilan data dilakukan hanya melalui simulasi dan pengujian pada *test range*.

Pada penelitian ini, proses simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak GPRmaxV0.2. Rancangan model simulasi ditampilkan pada Gambar III.1.

Simulasi yang dilakukan adalah simulasi tiga dimensi, dimana bidang simulasi dinyatakan dengan tiga sumbu, yaitu sumbu- x , y , dan z . Ukuran masing-masing bidang adalah 160 cm pada x , 160 cm pada y , dan 150 cm pada z . Tiruan senapan M16 ditanam pada kedalaman 35 cm di bawah permukaan pasir. Antena pengirim diletakkan di posisi awal $x = 10$ cm, dan $y = 0$ cm. Sementara antena penerima diposisikan pada $x = 10$ cm dan $y = 36$ cm.

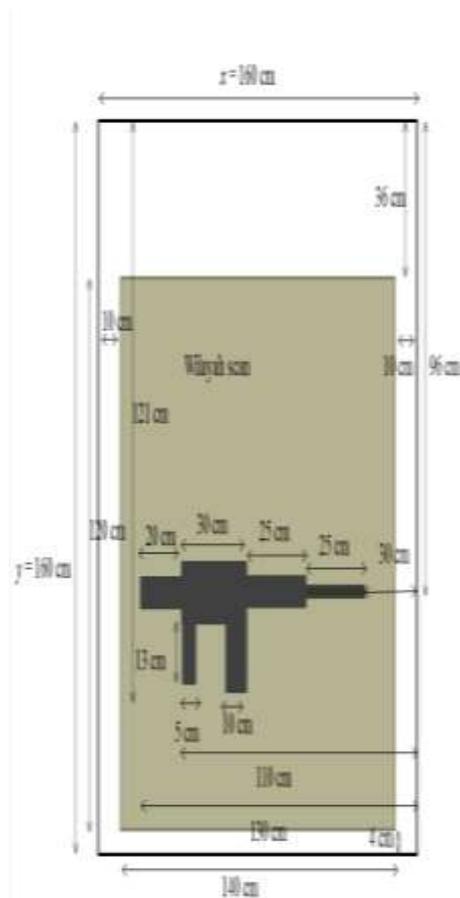
Adapun posisi antena pengirim dan penerima pada arah z seragam selama simulasi, yaitu pada $z = 140$ cm. Sehingga area model yang dipindai hanya berukuran 120 cm \times 140 cm \times 150 cm. Antena bergerak ke arah sumbu- y . Setelah sepanjang sumbu- y dipindai, antena akan berpindah ke arah sumbu- x sebanyak satu *step*, untuk

kemudian memindai lagi sepanjang sumbu- y . Proses tersebut diulang hingga seluruh area terpindai. Parameter-parameter pada simulasi skenario 1 diilustrasikan pada Tabel II.1

A. Hasil Simulasi dengan Perangkat Lunak

Pada penelitian ini, dilakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak GPRmax.

Tampilan *A-scan* dari simulasi ditunjukkan pada Gambar III.1. Pada skenario tersebut, didapatkan *B-scan* sebanyak 8, dan masing-masing *B-scan* terdiri atas 40 *A-scan*, sehingga dihasilkan matriks tiga dimensi berukuran 8 \times 40 \times 624. Dengan area pemindaian berukuran 120 cm \times 140 cm pada arah x dan y , didapatkan titik pemindaian sebanyak 320 titik. Citra *C-scan* yang didapat dari simulasi tersebut berukuran 40 \times 8.

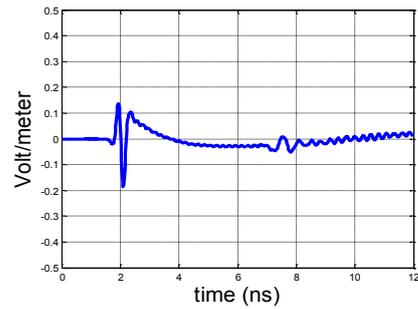


Gambar II.1 Ilustrasi model simulasi (tampak atas)

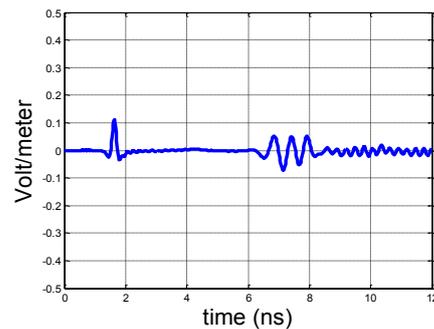
Tabel II. 1 Parameter simulasi

Parameter	Nilai
Frekuensi tengah	1500 MHz
D_x	20 cm
D_y	3 cm
Jumlah <i>A-scan</i>	320
Jumlah <i>B-scan</i>	8
Jumlah <i>A-scan</i> per <i>B-scan</i>	40
Posisi awal T_x	$x = 10$ cm, $y = 0$ cm
Posisi awal R_x	$x = 10$ c m, $y = 36$ cm

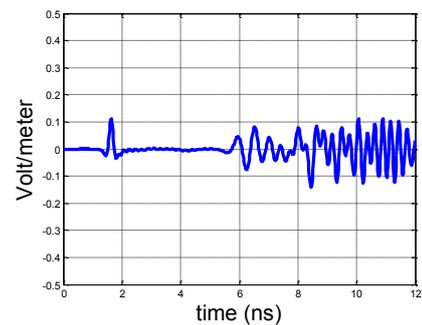
Dari tampilan *A-scan* tersebut dapat dilihat bahwa pada sekitar detik ke 1,8 ns, dideteksi gelombang *airwave*, yang merupakan gelombang langsung yang merambat dari antenna pengirim ke antenna penerima pada GPR.



(a) $x = 0$ cm, $y = 96$ cm

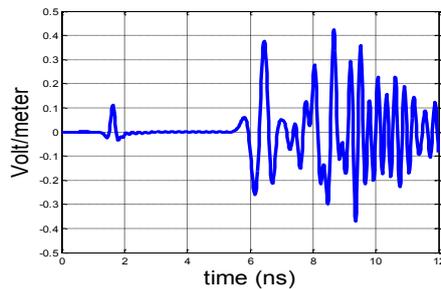


(b) $x = 20$ cm, $y = 96$ cm



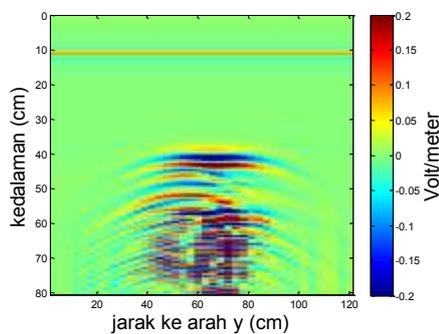
(b) (c) $x = 120$ cm, $y = 96$ cm

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

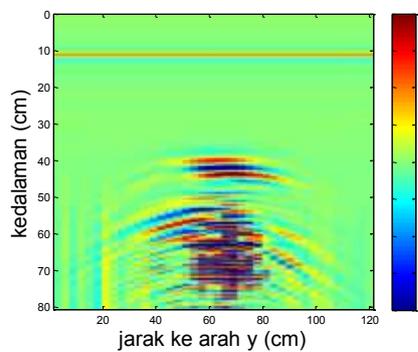


(c) $x = 81$ cm, $y = 96$ cm

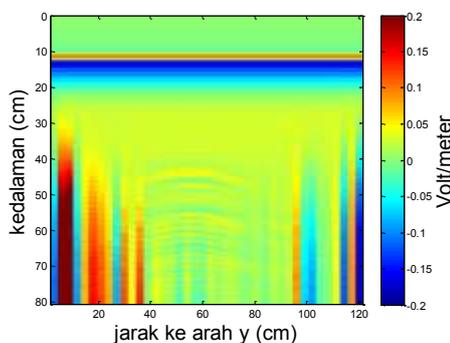
Gambar III.1 Tampilan *A-scan* simulasi



(a) $x = 60$ cm



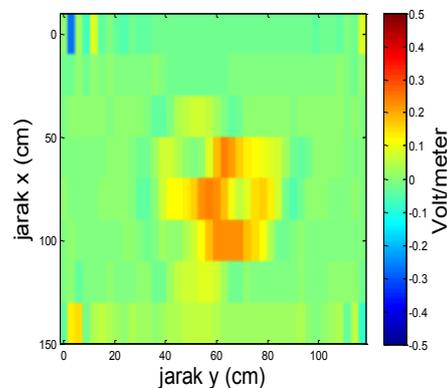
(b) $x = 100$ cm



(c) $x = 140$ cm

Gambar III.2 Tampilan *B-scan* simulasi

Contoh Tampilan *B-scan* dari simulasi ditampilkan oleh Gambar III.2. Dari tampilan *B-scan* tersebut dapat dilihat bahwa objek terdeteksi pada kedalaman sekitar 40 cm. Sementara pada *script* simulasi, objek ditanam pada kedalaman 35 cm dari permukaan tanah. Perbedaan antara kedalaman pada model dengan kedalaman pada hasil perhitungan disebabkan karena pada model, terdapat jarak sebesar 5 cm antara antenna dengan permukaan pasir. Dari tampilan *B-scan* tersebut juga dapat dilihat bahwa objek terdeteksi pada arah $y = 20$ cm hingga $y = 90$ cm. Tampilan *C-scan* dari simulasi skenario 1 ditampilkan pada Gambar III.3 $y = 40$ cm hingga $y = 90$ cm, dan $x = 30$ cm hingga $x = 110$ cm.



Gambar III.3 *C-scan* simulasi pada kedalaman 44 cm

B. Pengujian Laboratorium

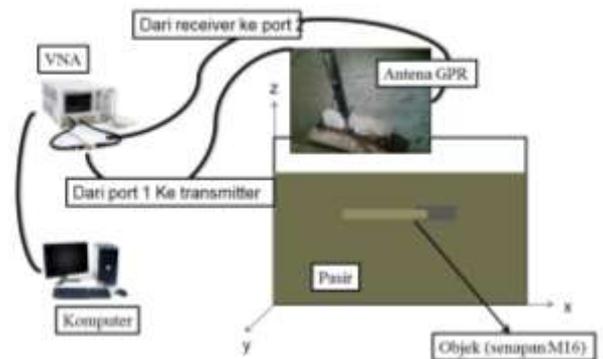
Uji laboratorium dilakukan di ruang *test range*.

Skema dari uji laboratorium ditampilkan pada Gambar III.4. Pada proses pengujian, komputer dihubungkan dengan motor *stepper* dan

VNA. VNA dihubungkan dengan antena pengirim dan penerima yang terhubung dengan pemindai tiga dimensi. Komputer akan menjalankan motor *stepper* dan memerintahkan VNA untuk membangkitkan sinyal. Pemindai tiga dimensi akan bergerak sesuai dengan perputaran motor *stepper*, dan pada saat yang bersamaan, sinyal dari VNA akan ditransmisikan oleh antena pengirim ke pasir. Sinyal elektromagnetik yang terpantul akan ditangkap oleh antena penerima, dan diteruskan ke port 2 VNA. VNA akan menyimpan data sinyal elektromagnetik tersebut dalam bentuk *file .csv* di komputer. Data-data *.csv* kemudian diolah menjadi tampilan A, B dan *C-scan*. Adapun model senapan M16 yang digunakan ditampilkan pada Gambar III.5.

C. Hasil Uji Laboratorium

Tampilan *A-scan* dari uji laboratorium ditunjukkan oleh Gambar III. 6. Pada tampilan *A-scan* pengujian tersebut dapat dilihat bahwa gelombang *airwave* terdeteksi pada waktu sekitar 3,5 ns. Ada perbedaan sekitar 1,5 ns dengan hasil simulasi. Hal ini mungkin disebabkan karena perbedaan jenis antena yang digunakan pada saat simulasi dengan jenis antena yang digunakan pada uji laboratorium. Pada simulasi, antena yang digunakan adalah antena Hertzian *dipole*, sedangkan pada uji laboratorium, antena yang digunakan adalah antena mikrostrip, sehingga terdapat perbedaan pada jarak antar antena pada simulasi dan uji laboratorium

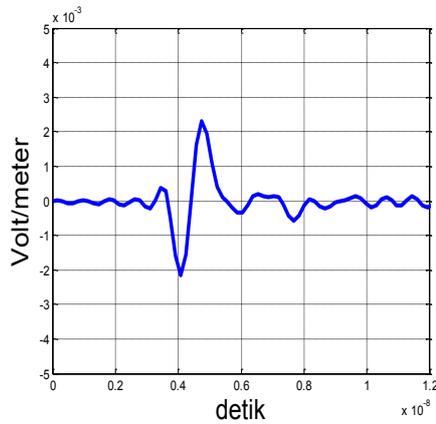


Gambar III.4 Skema sistem pengujian di laboratorium

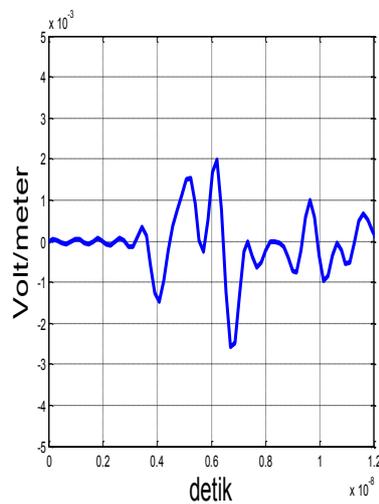


Gambar III.5 Model senapan M16

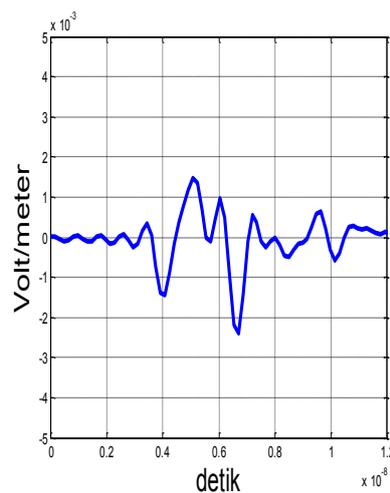
Pada tampilan *A-scan* di atas, dapat dilihat bahwa gelombang pantulan dari objek pertama kali terdeteksi pada waktu sekitar 5 ns. Terlihat perbedaan dengan hasil simulasi, dimana gelombang pantulan dari objek pertama kali terdeteksi pada sekitar 6 ns. Hal ini dapat disebabkan karena kesulitan dalam mengukur kedalaman di mana objek dikubur pada proses pengujian laboratorium dengan teliti. Dari hasil *A-scan* tersebut, dapat dilihat, bahwa objek dikubur pada posisi yang lebih dangkal dibandingkan dengan simulasi, sehingga gelombang pantulan pada pengujian laboratorium muncul lebih cepat daripada simulasi.



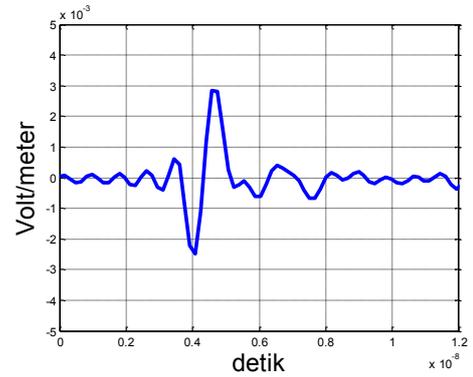
(a) $x = 0$ cm, $y = 96$ cm



(b) $x = 60$ cm, $y = 66$ cm

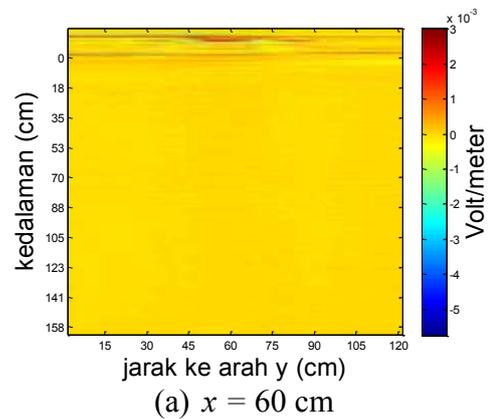


(c) $x = 80$ cm, $y = 66$ cm

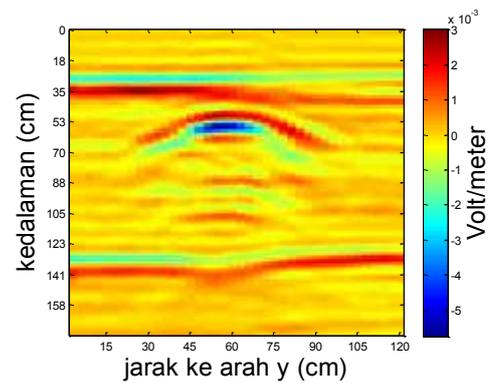


(d) $x = 120$ cm, $y = 96$ cm

Gambar III.6 *A-scan* dari uji laboratorium



(a) $x = 60$ cm



(b) *zoom-in*

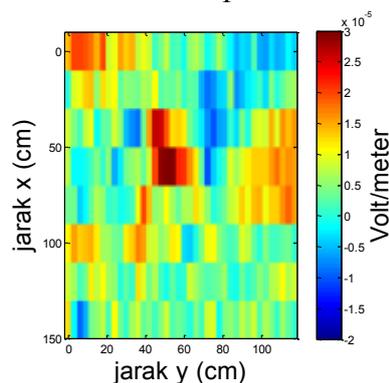
Gambar III.7 *B-scan* dari uji laboratorium

Tampilan *B-scan* dari uji laboratorium ditunjukkan pada Gambar III.7. Salah satu contoh tampilan *B-scan* uji laboratorium ditunjukkan oleh Gambar III.7. Dari Gambar III.7 (b)

dapat dilihat bahwa puncak hiperbola terdeteksi pada kedalaman sekitar 38 cm hingga 40 cm dari permukaan pasir. Puncak hiperbola pada *B-scan* menunjukkan posisi benda yang terdapat di balik permukaan. Adapun garis-garis lurus di atas hiperbola menunjukkan gelombang *airwave* dari antenna pengirim ke antenna penerima. Bila dibandingkan dengan tampilan *B-scan* pada skenario 1, dapat dilihat bahwa titik puncak hiperbola muncul pada kedalaman sekitar 40 cm di bawah permukaan tanah.

Dari citra *C-scan* tersebut dapat dilihat bahwa objek baru mulai terdeteksi dengan jelas pada kedalaman sekitar 40 cm dari permukaan tanah. Sementara objek dipendam pada kedalaman sekitar 35 cm. Jadi terdapat perbedaan antara hasil deteksi dengan kondisi sebenarnya.

Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa hal, di antaranya adalah pada saat penguburan, kemungkinan model M16 tidak dikubur pada kedalaman tepat 35 cm. Karena pada saat proses penguburan, terdapat kesulitan untuk mengukur dengan tepat kedalaman penguburan model senapan.



Gambar III.8 *C-scan* uji laboratorium pada kedalaman 40 cm

Penyebab kedua adalah bentuk lintasan tempuh sinyal elektromagnetik yang tidak tepat tegak lurus dengan

antena penerima. Pada kondisi aslinya, terdapat jarak sekitar 36 cm antara titik tengah antenna pengirim dan penerima, sehingga bentuk lintasan tempuh sinyal elektromagnetik dan antenna membentuk segitiga, di mana lintasan sinyal dari antenna pengirim ke objek adalah sisi miring dari segitiga tersebut, yang lebih panjang dari pada lintasan tegak lurus dari permukaan tanah ke model M16. Adapun antara pinggir antenna tidak terdapat jarak.

Dari hasil simulasi dan uji laboratorium, dapat dilihat bahwa keduanya menunjukkan kemiripan. Pada Gambar III.6 dapat dilihat bahwa gelombang *airwave* (gelombang yang merambat dari *transmitter* ke *receiver*) muncul pada waktu sekitar 3,5 ns, sementara gelombang pantulan terdeteksi pertama kali pada waktu sekitar 5 ns. Sedangkan pada simulasi, gelombang *airwave* terdeteksi pada waktu 1,8 ns, dan gelombang pantulan pertama kali terdeteksi pada waktu 6 ns. Perbedaan waktu kemunculan *airwave* disebabkan perbedaan jenis antenna yang digunakan pada simulasi dan uji laboratorium, yang menyebabkan perbedaan pada jarak antar antenna di kedua proses tersebut. Pada simulasi digunakan antenna Hertzian *dipole*, sementara pada uji laboratorium digunakan antenna mikrostrip. Pada tampilan *A-scan* simulasi maupun uji laboratorium terlihat lebih dari satu gelombang pantulan yang terdeteksi oleh *receiver*. Hal ini mungkin disebabkan adanya pantulan dari model bak tempat model senapan dikubur, atau karena adanya benda-benda lain yang terkubur di dalam pasir pada saat uji laboratorium, seperti misalnya kaleng aluminium, dan lain-lain.

Dari *C-scan* hasil pengujian laboratorium juga dapat dilihat bahwa

objek terdeteksi pada jarak $y = 40$ cm sampai $y = 80$ cm, dan $x = 20$ cm hingga $x = 130$ cm. Sementara pada hasil simulasi, objek terdeteksi pada $y = 40$ cm hingga $y = 80$ cm dan $x = 70$ cm hingga $x = 130$ cm, pada $x = 20$ cm hingga $x = 70$ cm, yaitu bagian laras dari model senapan M16, tidak terdeteksi adanya gelombang pantulan. Hal ini terjadi karena dengan step antena pengirim dan antena penerima sebesar 3 cm ke arah y , dan dengan posisi laras yang berada pada posisi $y = 75$ cm, serta posisi awal antena penerima pada $y = 36$ cm, antena baru berada di atas laras hanya pada posisi $y = 75$ cm, sehingga untuk satu *B-scan*, hanya ada 1 piksel yang merepresentasikan pantulan dari laras model senapan M16.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu;

- Hasil *A-scan* yang didapat dari uji laboratorium menunjukkan hasil yang hampir sama dengan yang hasil simulasi. Pada *A-scan* hasil simulasi, gelombang *airwave* terdeteksi pada waktu 2 ns, sedangkan pada uji laboratorium, gelombang *airwave* dideteksi pada waktu sekitar 1,8 ns. Sedangkan gelombang pantul pertama kali terdeteksi pada simulasi pada waktu sekitar 6 ns, sementara pada uji laboratorium, gelombang pantul pertama terdeteksi pada waktu sekitar 5 ns.
- Hasil *B-scan* yang didapat dari uji laboratorium menunjukkan hasil yang hampir sama dengan skenario 1. Pada simulasi, puncak hiperbola terdeteksi pada kedalaman sekitar 40 cm, sementara pada uji laboratorium,

puncak hiperbola terdeteksi pada kedalaman antara 35 cm hingga 40 cm dari permukaan.

- Hasil *C-scan* yang didapat dari pengujian laboratorium dan simulasi juga menunjukkan kemiripan dengan hasil simulasi. Pada hasil simulasi, tampilan *C-scan* menunjukkan adanya objek yang terdeteksi pertama kali pada kedalaman sekitar 38 cm dari permukaan pasir, sedangkan pada tampilan *C-scan* uji laboratorium dideteksi objek pertama kali pada kedalaman sekitar 34 cm dari permukaan tanah.

REFERENSI

- [1] M. I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, in *Introduction to Radar Systems*, 3rd ed. New York, United States: The McGraw Hill, ch. 2, pp. 49-73, 2001.
- [2] J. L. Cai, C. M. Tong, W. J. Zhong, and W. J. Ji, "3D Imaging Method for Stepped Frequency Ground Penetrating Radar Based on Compressive Sensing," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 23, pp. 153 – 165, China, 2012.
- [3] J. Irving, R. Knight, "Numerical Modelling of Ground Penetrating Radar in 2-D using Matlab," *Elsevier Journal of Computer & Geosciences* 32, pp. 1247 -1258, 2006.
- [4] D. Lacroix, *Computer Simulation Facilitating Archaeological Interpretations of Ground-penetrating Radar Field Data*, Master Thesis, University of Calgary, Alberta, 2009.
- [5] S. Lahouar, *Development of Data Analysis Algorithms for Interpretation of Ground Penetrating Radar Data*, PhD Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 2003.