

Deteksi Bentuk Objek Bawah Tanah Menggunakan Pengolahan Citra B-Scan pada Ground Penetrating Radar (GPR)

Rahmayati Alindra¹, Heroe Wijanto², Koredianto Usman³

¹Fakultas Elektro & Komunikasi – Institut Teknologi Telkom

Jl. Telekomunikasi, Terusan Buah Batu Bandung 40257 Indonesia

¹rahmayatialindra@yahoo.com, ²hrw@ittelkom.ac.id, ³kru@ittelkom.ac.id

Abstrak– Ground Penetrating Radar (GPR) adalah salah satu jenis radar yang digunakan untuk menyelidiki kondisi di bawah permukaan tanah tanpa harus menggali dan merusak tanah. Sistem GPR terdiri atas pengirim (transmitter), yaitu antena yang terhubung ke generator sinyal dan bagian penerima (receiver), yaitu antena yang terhubung ke LNA dan ADC yang kemudian terhubung ke unit pengolahan data hasil survey serta display sebagai tampilan output-nya dan post processing untuk alat bantu mendapatkan informasi mengenai suatu objek.

GPR bekerja dengan cara memancarkan gelombang elektromagnetik ke dalam tanah dan menerima sinyal yang dipantulkan oleh objek-objek di bawah permukaan tanah. Sinyal yang diterima kemudian diolah pada bagian signal processing dengan tujuan untuk menghasilkan gambaran kondisi di bawah permukaan tanah yang dapat dengan mudah dibaca dan diinterpretasikan oleh user. Signal processing sendiri terdiri dari beberapa tahap yaitu A-Scan yang meliputi perbaikan sinyal dan pendektasian objek satu dimensi, B-Scan untuk pemrosesan data dua dimensi dan C-Scan untuk pemrosesan data tiga dimensi.

Metode yang digunakan pada pemrosesan B-Scan salah satunya adalah dengan teknik pemrosesan citra. Dengan pemrosesan citra, data survey B-scan diolah untuk didapatkan informasi mengenai objek. Pada penelitian ini, diterapkan teori gradien garis pada pemrosesan citra B-scan untuk menentukan bentuk dua dimensi dari objek bawah tanah yaitu persegi, segitiga atau lingkaran.

Kata kunci: GPR, B-SCAN, pengolahan citra, bentuk objek

1. Pendahuluan

Deteksi dan identifikasi objek yang terkubur di bawah tanah merupakan salah satu topik yang terus dikembangkan untuk keperluan di berbagai bidang. Banyak kegiatan yang membutuhkan informasi mengenai keadaan di bawah permukaan tanah secara efisien tanpa harus menggali tanah, seperti pencarian barang tambang, pencarian ranjau darat, perbaikan dan perawatan kabel-kabel yang ditanam di dalam tanah, dan lain-lain. Untuk itu dikembangkanlah Ground Penetrating Radar (GPR), yaitu alat yang dipakai untuk menyelidiki kondisi di bawah permukaan tanah tanpa harus menggali dan merusak tanah.

Sistem GPR terdiri atas pengirim (transmitter), yaitu antena yang terhubung ke generator sinyal dan bagian penerima (receiver), yaitu antena yang terhubung ke LNA dan ADC yang kemudian terhubung ke unit pengolahan data hasil survey serta display sebagai tampilan output-nya dan post processing untuk alat bantu mendapatkan informasi mengenai suatu objek. Antena pengirim mengirimkan pulsa elektromagnetik berdurasi cepat ke dalam tanah. Gelombang elektromagnetik yang dikirimkan akan mengalami pantulan jika mengenai objek, sinyal pantulan ini akan ditangkap oleh antena penerima untuk kemudian diolah agar diperoleh gambaran kondisi bawah permukaan tanah yang dapat dengan mudah dibaca dan diinterpretasikan oleh user.

Oleh karena itu, *data processing* merupakan bagian yang sangat penting pada perangkat GPR, karena dibutuhkan untuk mengolah sinyal terima agar diperoleh informasi yang jelas mengenai objek yang dideteksi antara lain jenis, bentuk, dimensi, dan kedalaman objek bawah

tanah. *Signal processing* terdiri dari beberapa tahap yaitu *A-Scan* yang meliputi perbaikan sinyal dan pendeteksian objek satu dimensi, *B-Scan* untuk pemrosesan data dua dimensi dan *C-Scan* untuk pemrosesan data tiga dimensi. Metode yang digunakan pada pemrosesan *B-Scan* salah satunya adalah dengan teknik pemrosesan citra. Dengan pengolahan citra *B-Scan*, data hasil survey perangkat GPR akan diolah untuk diperoleh informasi yang tepat mengenai objek yang dideteksi yaitu bentuk objek bawah tanah sehingga memudahkan *user* untuk mendefinisikan objek. Beberapa penelitian terkait adalah Rappaport [1] yang menggunakan estimasi gelombang yang dipantulkan oleh tanah. Ozdemir dkk. [2] yang menggunakan teknik focusing untuk peningkatan kualitas citra *B-Scan* sedangkan Gan dkk. [3] melakukan ekstraksi frekuensi dari data *B-scan* sebagai bahan untuk penentuan objek di bawah tanah. Meskipun upaya untuk melakukan estimasi objek dengan *B-Scan* sudah dilakukan, namun penggunaan teknik pengolahan sinyal digital untuk mendeteksi objek pada citra *B-scan* belumlah banyak dilakukan oleh para peneliti sebelumnya.

2. Perancangan dan Implementasi

2.1. Pengambilan Data

2.1.1 Perangkat Pengukuran

Pada Penelitian ini dilakukan pengambilan data survey dengan menggunakan perangkat-perangkat sebagai berikut:

1. Perangkat GPR



Gambar 1. Perangkat GPR

Perangkat GPR ini terdiri dari generator sinyal, sampling converter dan antenna dengan frekuensi 1 GHz.

Tabel 1. Spesifikasi Sampling Converter

Number of channels	2 (at the same mixer)
Input impedance	50 Ω
Bandwidth, no less	10 MHz – 2 GHz
Repetition rate	250 kHz
Triggering	internal
Time window	variable from 10ns up to 600 ns
Number of sampling points	4K
Noise, r.m.s.	0.75 mV (without averaging)
Power supply	12V (from battery)
Case	dust and indirect water protection
PC interface	USB
Software	Operation control + DLL library
Humidity level	80% – 100%
Ambient temperature	25° – 40° C

Tabel 2. Spesifikasi 1-GHz Pulse Generator Head

Waveform	monocycle
----------	-----------

Central frequency of spectrum	(1 ± 0.10) GHz
Amplitude (peak-to-peak)	50 V minimum
Repetition rate	250 kHz
Output impedance	50 Ω
Case	dust and indirect water protection
Power supply	+12V (provided from the sampler)
Humidity level	80% – 100%
Ambient temperature	25° – 40° C

2. Bak pasir

Pengambilan data dilakukan pada bak pasir dengan ukuran panjang 2m, lebar 1,5m, dan tinggi 1m.



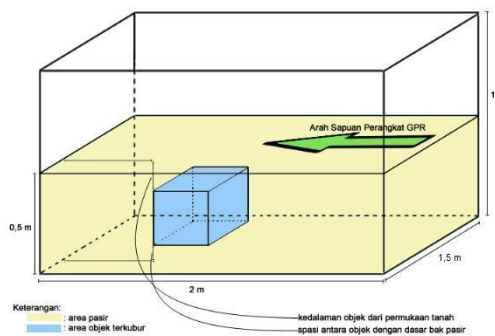
Gambar 2. Bak pasir pengukuran

3. Software Georadar

Perangkat GPR terhubung dengan laptop melalui port USB, data survey perangkat GPR kemudian diperoleh melalui software Georadar yang sudah terinstall pada laptop tersebut.

2.1.2 Proses Pengukuran

Pengukuran dilakukan di atas permukaan pasir menggunakan perangkat GPR yang sudah ada dengan ilustrasi seperti gambar berikut:

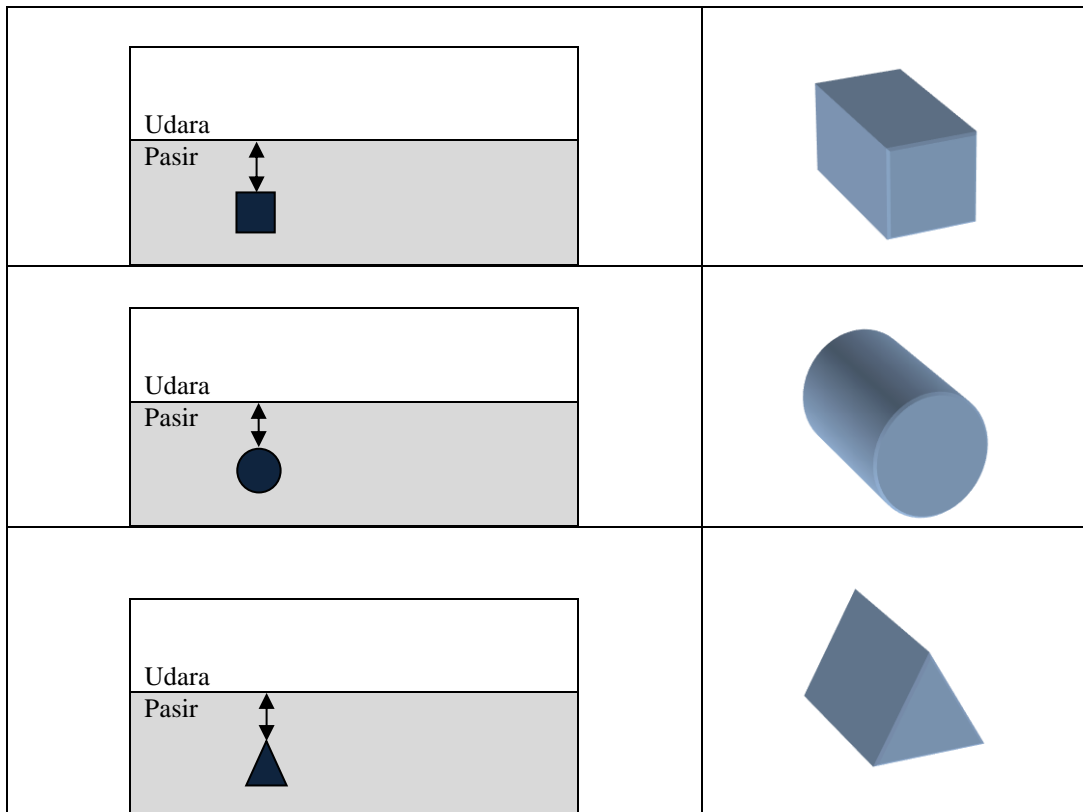


Gambar 3. Ilustrasi Pengukuran Objek

Perangkat GPR dijalankan dengan arah sapuan seperti gambar untuk mendapatkan citra B-scan dari objek yang dikubur dalam bak pasir. Citra yang diperoleh merupakan penampang dua dimensi. Dalam pengukuran ini digunakan objek dengan bentuk tiga dimensi berupa kubus, prisma, dan tabung agar diperoleh bentuk dua dimensi berupa persegi, segitiga dan lingkaran.

Tabel 3. Pemodelan Objek Bawah Tanah

Penampang samping	Objek secara 3 dimensi
-------------------	------------------------



Gambar 4. Objek Pengukuran

3.1.3 Konversi Format Data

Dari software Georadar akan diperoleh data survey, agar dapat diolah lebih lanjut perlu dilakukan konversi format data sebagai berikut:

1. Konversi format data dengan GPR_CONV.EXE

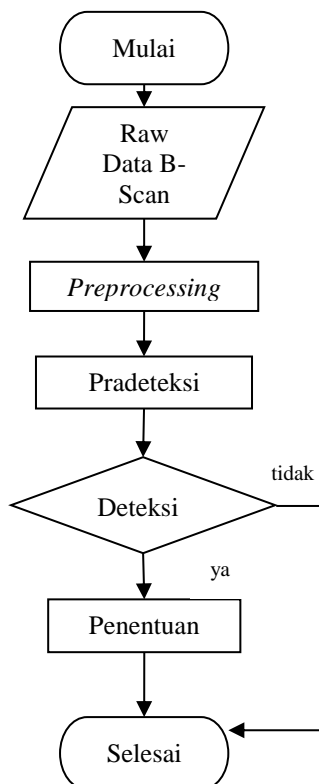
GPR_CONV berfungsi untuk mengkonversi data digital radar dari suatu format data ke format data yang lain. Input file untuk program ini adalah file “CMD”, yang merupakan text ASCII yang mengandung keyword (command). Dalam file *.CMD tersebut dituliskan input file dari data yang akan dikonversi dan output file hasil konversi data. Format data yang akan dikonversi adalah 'scanpr.*' (format data geozondas) dan file hasil konversinya adalah file '*.dzt'.

2. Konversi format data dengan RTOAW.EXE

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan file dengan format *.dzt adalah mengubahnya ke dalam format ASCII dengan menggunakan program RTOAW.EXE. File dengan format ASCII ini akan menjadi file input dalam pengolahan lebih lanjut menggunakan software Matlab.

Setelah diperoleh data dalam format ASCII (*.txt), perlu dilakukan perbaikan error konversi agar diperoleh data ASCII yang baik. Perbaikan hasil konversi ini menggunakan Matlab dengan fungsi `fix_ascii_data.m`. Selanjutnya data dengan format ASCII ini dapat disebut *Raw Data B-Scan* yang siap diolah lebih lanjut.

Pada pemrosesan digunakan Matlab sebagai *software* bantu, dengan langkah – langkah dapat digambarkan dengan diagram alir sebagai berikut :



Gambar 5. Diagram Alir Deteksi dan Penentuan Citra B-Scan GPR

2.2. Preprocessing Citra B-Scan

Pada tahap ini data yang didapat dari hasil survey menggunakan perangkat GPR yang sudah ada akan mengalami preprocessing terlebih dahulu sehingga didapatkan citra hasil yang nantinya akan digunakan untuk deteksi dan penentuan objek, tahap preprocessing ini terdiri atas;

2.2.1 Load File

Pada tahap ini data survey yang sudah dalam format ASCII (.txt) diubah menjadi data dengan format Binary MAT file (.mat) untuk diolah selanjutnya. Pada tahap ini, data masukan adalah GPRtest12.txt, GPRtest13.txt, GPRtest16.txt, GPRtest19.txt, GPRtest20.txt, GPRtest22.txt, GPRtest23.txt, kemudian dihasilkan data dalam format Binary MAT file (.mat) yaitu GPRtest12.mat, GPRtest13.mat, GPRtest16.mat, GPRtest19.mat, GPRtest20.mat, GPRtest22.mat, GPRtest23.mat.

2.2.2 Konversi Data Kedalam Nilai Pixel Citra Grayscale

Data survey yang diperoleh memiliki nilai variatif sehingga apabila kita ingin melakukan pengolahan terhadap data ini dengan berbasis pengolahan citra, maka diperlukan konversi atau penskalaan nilai data tersebut kedalam format citra yaitu yang dipilih pada penelitian ini format citra grayscale yang setiap nilai pikselnya memiliki rentang nilai 0 sampai 255. Selanjutnya data hasil konversi ini disimpan dalam format Binary MAT file (.mat) yang menjadi masukan dalam proses selanjutnya.

2.2.3 Konversi Black and White

Pada tahap bw conversion, citra grayscale yang telah disimpan dalam format .mat dikonversikan menjadi citra biner. Dimana citra biner disimpan sebagai matriks dimensi-2 yang berisi nilai 0 (menyatakan piksel = "off" dan berwarna hitam) dan nilai 1 (menyatakan piksel = "on" dan berwarna putih). Hal ini dilakukan untuk memudahkan pengolahan citra, yaitu membedakan objek dari latarbelakang.

2.2.4 Clear Border

Clear border adalah tahapan untuk menghilangkan objek yang menempel pada tepi citra. Dimana dari data yang ada, indikasi keberadaan objek bawah tanah terletak di bagian tengah citra, sehingga objek yang menempel pada tepi tidak perlu diolah lebih lanjut. Operasi clear border dilakukan dengan instruksi `z=imclearborder(bw)`. Citra yang tidak terhapus oleh operasi clear border disimpan dalam suatu matriks untuk kemudian diolah pada bagian pradeteksi.

2.3 Pradeteksi

Tahap pradeteksi digunakan dengan tujuan mendapatkan citra yang sesuai dengan kebutuhan sebagai masukan tahap deteksi, citra yang dibutuhkan adalah citra yang mempunyai indikasi terdapat objek pada citra B-Scan tersebut.

Pelabelan dilakukan terhadap matriks hasil preprocessing sehingga objek (ditandai dengan nilai 1 atau berwarna putih) yang satu dengan objek yang lain dapat dibedakan. Masing-masing objek dihitung luasnya dengan cara penjumlahan piksel. Jika luas objek memenuhi batas yang telah ditentukan maka objek tersebut dianggap bukan noise, sehingga selanjutnya dapat diproses untuk dihitung persentase luas objek terhadap luas cover yang melingkupinya. Penghitungan persentase objek ini dilakukan untuk menentukan apakah objek tersebut membentuk suatu hiperbola atau tidak. Objek yang mengindikasikan membentuk hiperbola kemudian disimpan dalam matriks baru untuk masukan proses deteksi.

2.4 Deteksi dan Penentuan

Pada tahap ini citra yang sudah mengalami pradeteksi akan digunakan sebagai masukan sistem deteksi sehingga nantinya akan didapatkan informasi mengenai bentuk objek.

Masukan dari proses deteksi adalah citra yang memuat hiperbola-hiperbola yang mengindikasikan adanya objek bawah tanah. Untuk penentuan bentuk objek bawah tanah, dipilih hiperbola teratas dari citra dengan cara pelabelan. Setelah didapatkan hiperbola teratas, ditentukan hiperbola tetangganya. Dari kedua hiperbola tersebut dicari posisi titik tengah masing-masing kemudian ditarik garis lurus dari titik tengah hiperbola teratas dengan titik tengah tetangganya. Dari garis gradien ini kemudian dihitung delta x kedua titik, jika delta x bernilai 0 maka didapatkan bentuk objek bawah tanah adalah persegi.

Jika delta x tidak sama dengan 0, maka dicari nilai gradien kedua titik. Dengan batas gradien < -25.00 atau gradien > 25.00 maka bentuk objek bawah tanah adalah persegi. Jika nilai gradien tidak memenuhi nilai bentuk persegi maka diputuskan bentuk objek bawah tanah adalah segitiga.

2.5 Spesifikasi Sistem

Penelitian ini diimplementasikan dengan menggunakan sejumlah perangkat keras dan lunak yang mendukung.

2.5.1 Perangkat Keras

Perangkat Keras (hardware) yang digunakan dalam sistem ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Processor Intel® Core™2 Duo
- RAM 2 GB DDR2
- Hard Disk 250GB

2.5.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak (software) yang digunakan dalam pembuatan dan pengujian sistem ini memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Sistem operasi Microsoft Windows Vista Home Premium
- Pemrograman menggunakan MATLAB 7.6.0 (R2008a)

Spesifikasi perangkat lunak di atas merupakan spesifikasi yang digunakan, namun untuk pengembangan selanjutnya, dapat pula digunakan perangkat lunak yang kompatibel dan memiliki versi lebih tinggi.

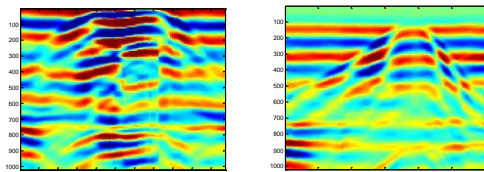
3. Analisa Hasil Perancangan

Secara umum proses deteksi bentuk objek pada citra B-Scan hasil survey GPR dikatakan berhasil jika informasi mengenai bentuk objek sesuai dengan kondisi yang sebenarnya.

Keberhasilan perancangan dan implementasi pada Penelitian ini akan diukur dengan menganalisis proses preprocessing, menganalisis proses pradeteksi, dan menganalisis proses deteksi dan penentuan bentuk objek bawah tanah.

3.1. Analisis Preprocessing

Pada sistem ini, semua citra B-scan hasil pengukuran akan melalui tahap preprocessing. Pada bab ini, yang ditampilkan adalah preprocessing dari file GPRtest12 yang merupakan hasil pengukuran objek persegi, dan GPRtest13 yang merupakan hasil pengukuran objek segitiga.



Gambar 6. (a) Citra asli GPRtest12 (b) Citra asli GPRtest13

Preprocessing pada citra B-scan dari GPRtest12 dan GPRtest13 melalui tahap-tahap seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. Preprocessing GPRtest12 dan GPRtest13

Proses	GPRtest12	GPRtest13
<i>Grayscale conversion</i>		
<i>Black and white conversion</i>		
<i>Clear border</i>		

Setiap citra B-Scan yang menjadi masukan proses preprocessing ini akan mengalami perlakuan serupa untuk tahap – tahap diatas. Data survey yang diperoleh memiliki nilai variatif sehingga apabila kita ingin melakukan pengolahan terhadap data ini dengan berbasis pengolahan

citra, maka diperlukan konversi atau penskalaan nilai data tersebut kedalam format citra yaitu yang dipilih pada penelitian ini format citra grayscale yang setiap nilai pikselnya memiliki rentang nilai 0 sampai 255. Untuk itu dilakukan grayscale conversion pada data untuk mengubah citra berintensitas RGB menjadi citra berintensitas grayscale. Citra grayscale dari seluruh data B-scan secara lengkap ditampilkan di bagian lampiran.

Pada tahap Black and White Conversion masing – masing citra grayscale akan dikonversi menjadi citra hitam dan putih dengan threshold tertentu. Tahap ini dilakukan untuk memudahkan pengolahan citra, yaitu membedakan objek yang berwarna putih dengan latar belakang yang berwarna hitam.

Tahap clear border akan menghasilkan citra B-Scan yang sudah tidak memiliki objek yang menempel pada tepi citra, hal ini bertujuan mengambil objek-objek yang berada di tengah karena disitulah objek bawah tanah diperkirakan berada. Clear border dilakukan dengan sintaks

```
z=imclearborder(bw);
```

Dari preprocessing dapat dilihat bahwa tahapan grayscale conversion, black and white conversion, dan operasi clear border dibutuhkan untuk semua data hasil survey. Setelah preprocessing didapatkan citra hitam putih yang memuat objek yang berada di tengah citra tersebut. Hal ini berguna untuk memfokuskan pengolahan citra pada bagian tengah citra, karena di sanalah hiperbola indikasi objek bawah tanah terlihat.

3.2 Analisis Pradeteksi

Pada tahap pradeteksi ini, citra yang menjadi masukan adalah citra keluaran tahap preprocessing, sehingga semua data awal akan mengalami pradeteksi. Pada bagian pradeteksi, dilakukan pelabelan pada matriks hasil preprocessing. Semua objek dinamakan sehingga dapat dibedakan antara suatu kumpulan piksel bertetangga dengan kumpulan piksel lain yang tidak terhubung. Kumpulan piksel ini mengindikasikan suatu objek dengan label tertentu. Kemudian diperoleh matriks dengan nilai yang menunjukkan penomoran objek pada citra tersebut.

Masing-masing objek dengan label 1,2,3 dan seterusnya kemudian dihitung luasnya. Penghitungan luas dilakukan dengan menjumlahkan komponen matriks secara baris dan secara kolom. Dari informasi luas objek akan diseleksi objek yang dianggap sebagai noise dan objek yang dianggap bukan noise. Objek yang dianggap membentuk noise adalah objek dengan luas pikselnya <400. Karena dari citra terlihat bahwa objek dengan luas 400 membentuk noise kecil yang dapat dihilangkan untuk memudahkan pendeteksian objek.

Selanjutnya dibuat suatu kotak yang melingkupi objek untuk menghitung persentase objek (berwarna putih) terhadap latar belakang (berwarna hitam) pada wilayah kotak tersebut. Objek yang tergolong bukan noise kemudian dijumlahkan nilai pikselnya dengan cara penjumlahan baris dan penjumlahan kolom. Dari penjumlahan secara baris dan kolom ini akan diketahui posisi awal dan akhir dari objek yaitu x_1 , x_2 , y_1 , y_2 . Kotak yang melingkupi objek digambarkan dengan sintaks sebagai berikut :

```
line([absis1 absis1], [ordinat2 ordinat1], 'color','y','linewidth',2);  
line([absis1 absis2], [ordinat2 ordinat2], 'color','y','linewidth',2);  
line([absis2 absis2], [ordinat2 ordinat1], 'color','y','linewidth',2);  
line([absis2 absis1], [ordinat1 ordinat1], 'color','y','linewidth',2);
```

Setelah kotak yang melingkupi objek ditampilkan, maka luas kotak tersebut dapat dihitung. Kemudian objek yang telah dilabelkan dibandingkan luasnya dengan luas kotak yang melingkupinya agar diperoleh persentase objek tersebut. Dari persentase objek dapat ditentukan objek tersebut membentuk hiperbola atau tidak. Untuk objek yang dianggap membentuk hiperbola adalah objek dengan persentase antara luas objek dengan kotak yang mengitarinya bernilai >0.88. Dimana jika persentase objek >0.88, kotak objek hampir penuh oleh piksel berwarna putih, sehingga objek lebih terlihat hampir kotak, bukan membentuk hiperbola.

Tahap pradeteksi dilakukan untuk semua semua citra sampai menghasilkan citra akhir yang memuat objek dan membentuk hiperbola.

3.3 Analisis Deteksi

Pada Penelitian ini bagian deteksi adalah bagian yang menjadi penentuan bentuk objek dari citra B-Scan. Untuk mendeteksi bentuk objek digunakan hiperbola teratas pada citra dan hiperbola tetangganya. Untuk memilih hiperbola teratas dan hiperbola tetangganya dilakukan pelabelan terhadap matriks hasil pradeteksi. Dari objek pertama yang menunjukkan hiperbola teratas ditentukan titik tengahnya dengan cara menghitung panjang objek dalam sumbu x dan sumbu y kemudian dibagi 2.

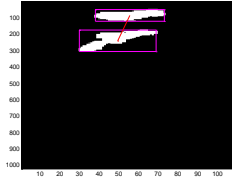
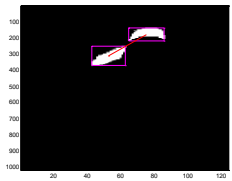
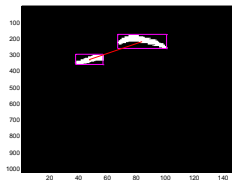
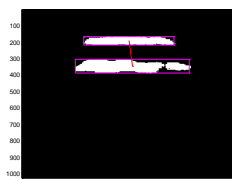
Dari titik tengah hiperbola teratas ditarik garis menuju hiperbola tetangganya. Dari posisi titik tengah masing-masing hiperbola ini dapat dihitung selisih dalam sumbu x (Δx) dan selisih dalam sumbu y (Δy). Gradien kedua titik akan diperoleh dari perbandingan Δy terhadap Δx .

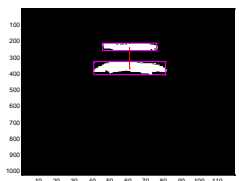
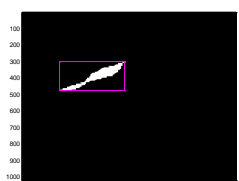
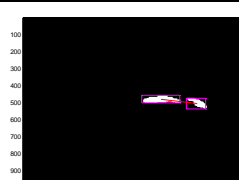
Jika Δx bernilai 0 ini mengindikasikan titik tengah dari dua hiperbola tersebut berada pada nilai x yang sama, atau hiperbola teratas dengan tetangganya sejajar atas bawah. Bentuk hiperbola seperti ini menunjukkan bentuk citra adalah persegi, sehingga tidak perlu dilakukan perhitungan gradien.

Jika Δx tidak bernilai 0, maka perlu dilakukan penghitungan gradien. Dalam penelitian ini digunakan batas gradien <-25.00 atau gradien >25.00 menunjukkan bentuk objek bawah tanah adalah persegi. Untuk nilai gradien di luar batas tersebut diputuskan bentuk objek adalah segitiga. Untuk objek bawah tanah berbentuk lingkaran belum dapat dipastikan karena belum diperoleh nilai gradien yang dapat membedakan segitiga dengan lingkaran.

Perbandingan penghitungan gradien untuk citra data survey seperti pada tabel berikut :

Tabel 5. Tahap Deteksi Bentuk Citra B-scan

Nama File	Citra	Nilai Delta x	Nilai Gradien	Bentuk
gprtest.012		-6	-25.75	Square
gprtest.013		-25,75	-5.9333	Triangle
gprtest.016		-36.5	-3.0274	Triangle
gprtest.019		2.5	61.8	Square

gprtest.020		0	Inf	Square
gprtest.022		-	-	-
gprtest.023		37	0.7027	Triangle

Nilai keberhasilan dari proses deteksi diperoleh dari hasil implementasi yang dilakukan dengan kondisi objek sebenarnya.

$$\text{Tingkat keberhasilan} = \frac{\sum \text{file berhasil dideteksi}}{\sum \text{data}} \times 100\% \quad (8)$$

Dari tabel 5 diperoleh hasil :

1. Program telah dapat mengenali objek dengan bentuk persegi pada tiga jenis ukuran yaitu file gprtest.012, gprtest.019, gprtest.020

Tingkat keberhasilan % = 100%

2. Dari data yang mengalami tahap deteksi, yaitu; file gprtest.012, gprtest.013, gprtest.016, gprtest.019, gprtest.020, gprtest.023, program telah berhasil membedakan bentuk persegi dengan bentuk segitiga namun belum berhasil untuk membedakan bentuk segitiga dengan lingkaran.

Tingkat keberhasilan % = 83,33%

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa yang dikerjakan dalam penelitian ini dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Citra B-scan dari GPR sebagai gambaran objek bawah tanah secara 2 dimensi berhasil digunakan untuk mendeteksi objek bawah tanah.
2. Pada tahap predetection and denoising, pelabelan yang dilakukan telah berhasil memberikan citra yang mengandung indikasi objek dan membentuk hiperbola yang menunjukkan adanya objek bawah tanah.
3. Dari hasil implementasi yang dilakukan pada data yang ada, program yang dikembangkan telah dapat mengenali bentuk persegi dengan tingkat keberhasilan 100%.
4. Dari data yang mengalami tahap detection, program telah berhasil membedakan bentuk persegi dengan bentuk segitiga namun belum berhasil untuk membedakan bentuk segitiga dengan lingkaran, diperoleh tingkat keberhasilan 83,33 %.

5. Untuk data pengukuran yang tersedia, urutan analisis preprocessing, predetection and denoising, dan detection yang dikembangkan telah berhasil menentukan bentuk objek bawah tanah.
6. Analisis bentuk objek bawah tanah menggunakan konsep gradien garis menjanjikan penentuan bentuk objek bawah tanah.

4.2 Saran

Untuk perkembangan selanjutnya yang dilakukan pada sistem pengolahan citra B-Scan pada sistem GPR:

1. Diperlukan data pengukuran yang lebih banyak agar dapat menambah informasi mengenai karakteristik dari bermacam bentuk objek bawah tanah dari GPR.
2. Analisis bentuk objek bawah tanah dari citra B-scan menggunakan gradien 2 garis atau lebih.
3. Analisis bentuk objek bawah tanah dari citra B-scan menggunakan proses migrasi atau pendekatan geofisika.
4. Dalam pengukuran menggunakan perangkat GPR, lebih diperhatikan kecepatan scanning agar diperoleh data yang lebih baik. Akan lebih akurat jika pengukuran menggunakan motor penggerak sehingga kecepatan scanning dapat terjaga secara konstan.

Daftar Pustaka

- [1]. C. M. Rappaport (2007), "Accurate Determination of Underground GPR Wavefront and B-Scan Shape From Above-Ground Point Sources," in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 45, no. 8, pp. 2429-2434,.
- [2]. C. Ozdemir, S. Demirci, dan E. Yigit (2008), Practical Algorithms to Focus B-Scan GPR, *Progress in Electromagnetics Research (PIER)*, Vol.6, pp 109-122
- [3]. Lu Gan, Long Zhou, Xinge You dan Juan Xiao (2012), "The instantaneous frequency extraction of GPR B-scan data based on HHT method," *2012 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, Xian, pp. 982-985.