PEMANFAATAN GPR DALAM PEMETAAN UTILITAS MENGGUNAKAN METODE *REAL TIME KINEMATIC*

(Studi Kasus: Jalan Raya Manyar KM 17, Kabupaten Gresik, Jawa Timur)

Fikru Nuruzzaman Mustakim, Ir Achmad Ruchlihadiana T., MM.[2]

[1]Mahasiswa Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung
[2]Dosen Pembimbing Teknik Geodesi Universitas Winaya Mukti, Bandung

ABSTRACT

Positioning using Global Navigation Satellite System (GNSS) Real Time Kinematic (RTK) method utilizes National Marine Electronics Association (NMEA) service that can connect the GNSS RTK method with Ground Penetrating Radar (GPR) that supports a remote point movement monitoring system in Real-Time. This study involves two methods that can determine subsurface and above-surface utilities.

This study was conducted to map the surface-carrying utilities produced by RTK and GPR survey methods. Data processing uses Geographic Information System (GIS) and GPR software to obtain utility position results below the surface.

The results of GNSS data processing and GPR data show several subsurface utilities spread across the research area and produce different utility depths. The 20 KV cable network is at a depth of 1,2 meters, the PGN gas pipe is at a depth of 1,2 - 2 meters, the PDAM pipe is at a depth of 0,5 - 1 meter, the fiber optic cable is at a depth of 0,2 - 1 meter, and there are unknown utilities.

Keywords: GNSS, RTK, GPR, NMEA, Utilities

ABSTRAK

Penentuan posisi menggunakan Global Navigation Satellite System (GNSS) metode Real Time Kinematic (RTK) memanfaatkan layanan National Marine Electronics Association (NMEA) yang dapat menghubungkan GNSS metode RTK dengan Ground Penetrating Radar (GPR) yang mendukung sistem pemantauan pergerakan titik jarak jauh secara Real-Time. Penelitian ini melibatkan dua metode yang dapat menentukan utilitas bawah permukaan maupun di atas permukaan.

Penelitian ini dilakukan untuk memetakan utilitas bawah permukaan yang dihasilkan dari survei metode RTK dan GPR. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) dan menggunakan perangkat lunak GPR untuk mendapatkan hasil posisi utilitas yang berada di bawah permukaan.

Hasil pengolahan data GNSS dan data GPR menunjukkan beberapa utilitas bawah permukaan yang tersebar di area penelitian dan menghasilkan kedalaman utilitas yang berbeda-beda. Jaring kabel 20 KV berada di kedalaman 1,2 meter, pipa gas PGN berada di kedalaman 1,2 - 2 meter, pipa PDAM berada di kedalamen 0,5 - 1 meter, kabel fiber optic berada di kedalaman 0,2 – 1 meter, dan adapun utilitas yang tidak ketahui.

Kata kunci: GNSS, RTK, GPR, NMEA, Utilitas

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Penentuan posisi mengalami perkembangan yang semakin cepat dimana tidak hanya untuk keperlutan bidang geodesi dan geomatika, akan tetapi hampir ke semua bidang kehidupan seperti transportasi, ekonomi, perdagangan, telekomunikasi dll. Hal tersebut erat kaitannya dengan perkembangan teknologi GNSS yang telah berkembang sangat pesat, dari segi metode, ketelitian dan jumlah satelit GNSS.

Pemetaan utilitas merupakan proses yang penting dalam berbagai bidang, termasuk konstruksi, teknik sipil, dan lingkungan. Pemetaan ini melibatkan identifikasi dan lokasi utilitas bawah tanah seperti pipa air, kabel listrik, dan sistem saluran. Namun, pemetaan utilitas tradisional sering kali membutuhkan penggalian fisik yang bisa mengganggu operasi sehari-hari dan berpotensi merusak utilitas itu sendiri. (Daniels, 2019)

Dalam konteks ini, *Ground Penetrating Radar* (GPR) muncul sebagai solusi yang efektif. GPR adalah metode geofisika yang menggunakan gelombang radar untuk menggambar gambaran bawah permukaan tanah. Teknologi ini telah digunakan secara luas dalam berbagai aplikasi, mulai dari arkeologi hingga deteksi ranjau darat (Smith & L, 2020).

Pada dasarnya, GPR bekerja dengan mengirimkan pulsa energi ke bawah permukaan tanah dan kemudian merekam waktu yang dibutuhkan untuk pulsa tersebut memantul kembali ke permukaan. Dengan demikian, GPR dapat memberikan gambaran tentang apa yang ada di bawah permukaan tanah tanpa perlu melakukan penggalian fisik. (Lee & Kim, 2021)

Namun, meskipun potensinya, penggunaan GPR dalam pemetaan utilitas masih memiliki beberapa tantangan. Misalnya, interpretasi data GPR bisa sangat sulit karena kompleksitas struktur bawah tanah dan variasi dalam properti material. Selain itu, GPR mungkin tidak efektif dalam kondisi tertentu, seperti tanah yang sangat lembab atau berbatu.

Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengoptimalkan penggunaan GPR dalam pemetaan utilitas.

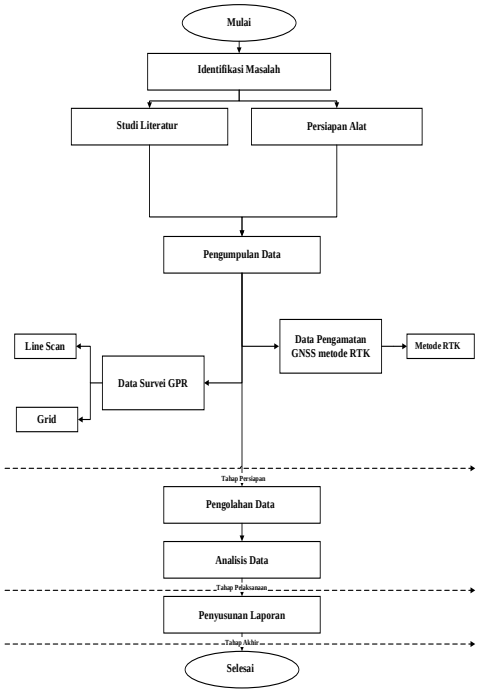
Selain itu, teknologi *Real Time Kinematic* (RTK) juga memiliki peran penting dalam pemetaan utilitas menggunakan GPR. RTK adalah teknik penentuan posisi yang meningkatkan akurasi data yang diperoleh dari sistem navigasi satelit, seperti GPS. Dengan menggunakan RTK, posisi utilitas bawah tanah yang dideteksi oleh GPR dapat ditentukan dengan akurasi sentimeter (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger, & Wasle, 2008).

Pemanfaatan RTK dalam pemetaan utilitas memungkinkan penentuan posisi utilitas bawah tanah secara *Real-Time* dan akurat, yang sangat penting dalam berbagai aplikasi, seperti perencanaan konstruksi dan pemeliharaan infrastruktur. Namun, integrasi RTK dengan GPR dalam pemetaan utilitas juga memiliki tantangan tersendiri, seperti kebutuhan akan infrastruktur pendukung dan isu-isu terkait dengan multi-path dan gangguan sinyal. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi tantangan ini dan mengoptimalkan pemanfaatan RTK dalam pemetaan utilitas menggunakan GPR.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah data hasil Survey Pengukuran GPR menggunakan metode RTK untuk memetakan utilitas bawah permukaan. Salahsatu format data GNSS yang mendukung sistem pemantauan

pergerakan titik jarak jauh adalah *National Marine Electronics Association* (NMEA). NMEA adalah format data yang meliputi struktur, isi, dan protokol data GNSS yang diterapkan untuk keperluan komunikasi GNSS dengan peralatan elektronik lain. Data penelitian tersebut berupa data primer yang diperoleh dari hasil survei lapangan. Survei GPR dilakukan dengan menggunakan pemindaian grid dan garis. Setiap posisi garis dan sudut grid dicatat menggunakan GNSS metode RTK. GNSS metode RTK mengukur dan mencatat data XYZ (terintegrasi dengan instrumen GPR) yang dilakukan dari titik kontrol atau benchmark (BM) sebagai referensi. Data tersebut kemudian dilakukan pengumpulan, pengolahan dan analisis dengan menggunakan metode penelitian kuantitatif.



Gambar 1. Rancangan Penelitian

Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian merupakan pengembangan dari kerangka pemikiran. Pengembangan kerangka berpikir diwujudkan dalam bentuk diagram alir penelitian yang diawali dari pengidentifikasian masalah yang terjadi, kemudian studi literatur, proses pengumpulan data, pengolahan data, Analisis data hingga proses pengambilan kesimpulan dan pembuatan laporan penelitian.

Secara garis besar, tahapan penelitian yang direncanakan dalam 3 tahap yaitu tahap persiapan, pelaksanaan dan tahap akhir. Lalu kemudian dibuat perinciannya dan dituangkan dan digambarkan dalam diagram berikut:

Tahap Pengolahan Data

Tahapan ini dilakukan setelah pelaksanaan pengambilan data GNSS metode RTK dan survei GPR. Tahap selanjutnya adalah dilakukan pengolahan terhadap data yang telah didapatkan dan data penunjang lainnya, kemudian dilakukan analisa pada keseluruhan perolehan data. Termasuk ke dalam analisis data tersebut dilakukan penyelarasan antara koordinat penentuan posisi menggunakan RTK dengan data hasil survei menggunakan GPR. Hasil yang diharapkan adalah tersedianya data penentuan posisi untuk pemetaan utilitas di lokasi yang ditentukan. Secara rinci, kegiatan ini meliputi:

a. Pengolahan Data
   Hasil pengukuran GPR direprentasikan sebagai penampang 2D atau radargram yang merupakan fungsi jarak dan waktu pembacaan Setiap posisi garis dan sudut grid dicatat menggunakan GNSS metode RTK. GNSS metode RTK mengukur dan mencatat data XYZ dengan format NMEA tipe GGA dengan pengambilan data *sampling interval* 0.1 detik (terintegrasi dengan

instrumen GPR) yang dilakukan dari titik kontrol atau *benchmark* (BM) sebagai referensi.

b. Analisis Data
Data GPR didukung oleh pengamatan lapangan seperti utilitas yang terekpos di permukaan tanah, pilar atau patok penanda utilitas, atau as-built drawing. Dimana pilar pilar tersebut di ambil menggunakan *reicever Rover*. Dilapangan, jalur kabel dan pipa bawah permukaan dikenali melalui pilar semen yang dipasang di atasnya. Pengukuran GPR dilakukan dengan arah lintasan dibuat tegak lurus terhadap arah jalur kabel dan pipa tersebut.

c. Tahap Akhir
Penyusunan laporan merupakan kegiatan atau tahap akhir dari tugas akhir ini, dimana laporan ini mencakup seluruh kegiatan dari proses persiapan, pelaksanaan, pengolahan data hingga hasil akhir dari penelitian.

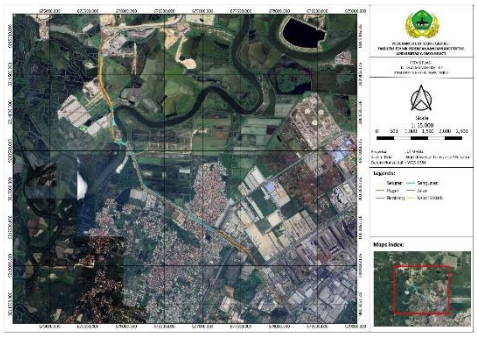
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Akuisisi Data GNSS RTK

Pengambilan data GNSS metode RTK dilakukan di sepanjang Jalan Raya Manyar KM 17, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. BM yang digunakan untuk pelaksanaan yaitu BM-03 yang ada di sekitar lokasi pengukuran sebagai titik ikat dalam melakukan pengukuran GNSS metode RTK dan pengukuran GPR yang diterapkan menggunakan format data NMEA. Data keluaran yang dihasilkan oleh *receiver* GNSS pada *rover station* adalah posisi 3D dalam format NMEA dengan *sampling interval* 1 detik. Hasil dari penentuan posisi selama 1 jam 18 menit 3 detik, dihasilkan data NMEA sebesar 421 kb (4687 Baris data NMEA tipe GGA), sehingga untuk setiap detiknya diperoleh data NMEA GGA dengan besar *file* 0.09 kB. Pengambilan data dilaksanakan tanggal 27-29 Januari 2022. Alat yang digunakan adalah GNSS Comnav T300.

Table 1. Sebagian hasil data .csv dari controller GNSS RTK

NO	EASTING	NOTRHING	ELEVASI	DESKRIPSI
1	676843.441	9215665.257	2.326	TMN
2	676843.440	9215665.230	2.501	TMN
3	676843.317	9215665.174	1.869	TMN
4	676812.305	9215670.684	3.317	PJU
5	676811.886	9215671.035	3.312	TMN
6	676813.868	9215672.254	3.422	TMN
7	676811.404	9215670.819	3.339	TMN
9	676811.305	9215670.913	3.110	JALANN
10	676804.404	9215672.250	2.998	JALANN
11	676804.274	9215672.167	3.198	TMN
12	676803.091	9215672.492	3.151	TMN
13	676801.542	9215672.779	3.307	SAL
14	676800.216	9215673.156	3.333	SAL
15	676798.557	9215673.722	3.041	TMN

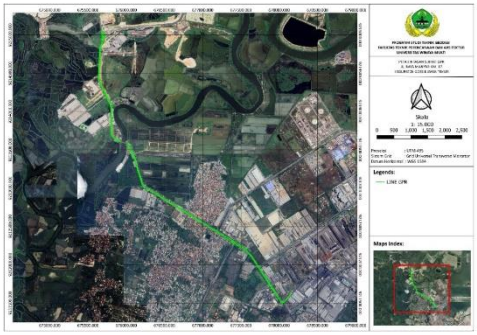


Gambar 2. Hasil Pengkuran Situasi

B. Hasil Akusisi Data GPR

Pengambilan data GNSS metode RTK dilakukan di sepanjang Jalan Raya Manyar KM 17, Kabupaten Gresik, Jawa Timur. Pengukuran survei GPR dilakukan dengan metode *Line Scan*, dimana main unit GPR didorong ke satu arah sesuai dengan desain survey pengukuran sepanjang maksimal 25 m.

Differential Global Positioning System: *Real Time Kinematic* (DGPS RTK) digunakan dalam positioning data GPR. Hal ini dapat mengikat setiap traces GPR (interval 5 cm) untuk mendapatkan koordinat yang akurat (±1 cm). Seluruh kegiatan survei ini menghasilkan total lintasan sebanyak 684 lintasan dengan total panjang lintasan adalah 13,9 Km yang tersebar di area yang ditunjukkan pada gambar 4.4. Survei Pengambilan data dilaksanakan tanggal 27-29 Januari 2022. Alat yang digunakan GPR tipe RD1500.



Gambar 3. Hasil Jalur Pengukuran GPR

Gambar 4. Situasi Jalur Pengukuran GPR

C. Hasil Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh dari Pengukuran GNSS metoode RTK dan GPR kemudian diproses untuk mendapatkan beberapa hasil sesuai dengan rumusan masalah yang telah ditentukan.

Pengolahan data GNSS metode RTK dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak pengolahan SIG dan sejenisnya dengan cara memasukkan seluruh data pengukuran RTK situasi dan GPR kemudian melakukan pemrosesan *Interpertasi* untuk dapat mengetahui utilitas bawah permukaan yang di cari di area pengukuran tersebut lalu di petakan dan di buat *layout*, seperti disajikan pada sub bagian berikut. Umumnya, data yang didapatkan oleh GPR memiliki keterbatasan dalam menampilkan respon utilitas bawah permukaan yang berada di kedalaman lebih dari 3m. Hal ini terjadi karena gelombang elektromagnetik GPR mengalami peluruhan yang lebih cepat yang diakibatkan oleh kondisi bawah permukaan yang cenderung konduktif. Maka dari itu di butuhkan informasi data atas permukaan agar dapat mendukung informasi utilitas bawah permukaan, informasi tersebut di marking dengan GNSS metode RTK sebagai situsi. Beberapa informasi atas permukaan yang tersebar di area survei seperti kenampakan tanda patok jaringan kabel, patok *Fiber optic*, patok KV20, patok pipa air, patok pipa gas dan lain-lain.

Pengolahan data Pengukuran Utilitas dan situasi dengan GNSS metode RTK. Proses pengolahan ini adalah dengan memasukkan seluruh data hasil Pengukuran RTK situasi agar memudahkan interpertasi utilitas bawah permukaan. Pengukuran topografi dilakukan dengan metode GPS RTK untuk menghasilkan data koordinat (X,Y,Z) secara *Real-Time* saat dilakukan di lapangan. Data dikoreksi secara langsung dengan menentukan toleransi maksimum yang dihasilkan tidak lebih dari 0.010 m untuk horisontal dan 0.025 m untuk vertikal sehingga data yang dihasilkan akan sangat akurat.

Data pengukuran berupa koordinat (X,Y,Z) disajikan dalam format .csv maupun .txt yang digunakan untuk proses input penggambaran pada perangkat lunak pengolah data SIG selanjutnya di buat layout dengan skala 1:1000 di buat menjadi 16 lembar yang berisi Situasi area survey, Line GPR dan *positioning interpretation Utility.* Dibuat menggunakan perangkat lunak pengolah data SIG QGIS 3.30.

Gambar 5. Contoh informasi atas permukaan di lokasi penelitian yang tersebar

Tabel 2. Koordinat Benchmark yang di pakai

No	Nomor BM	X (m)	Y (m)	Elevasi LWS (m)
1	BM-02	675872.985	9213625.550	4.286
2	BM-03	678115.932	9211580.202	4.060

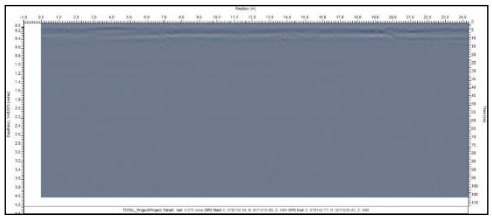
Tabel 3. Koordinat Benchmark yang di pakai

No	Hasil Survei	Jumlah Lembar	Skala
1	Deskripsi BM	2	N/A
2	Peta Hasil Survey	19	1:15000, 1:1000

Hasil yang diperoleh dari survei ini adalah gambar situasi skala 1:15000 yang akan di lampirkan menjadi 15 lembar peta kerja skala 1 : 1000.

D. Hasil Analisis Pengolahan data GPR dan Material pada Utilitas

Data yang didapatkan dari pengukuran GPR ini berbentuk penampang 2D atau yang biasa disebut radargram yang merupakan fungsi jarak dan waktu pembacaan. Data-data hasil pengukuran ini disebut ‘raw data’, dimana perlu dilakukan pemrosesan data agar dapat mengubah fungsi waktu menjadi kedalaman, menghilangkan faktor noise, dan memperjelas citra data untuk mempermudah proses interpretasi. Pengolahan ini dilakuka dengan bantuan software EKKO Project V6.

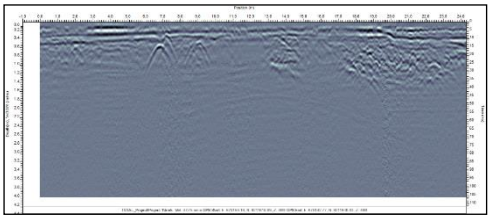


Gambar 5. Contoh Raw Data GPR

Tahapan pengolahan data yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. *Time zero correction*
2. *Dewow filtering*
3. *Gain*
4. *Background removal (optional)*

Hasil dari tahapan pengolahan data adalah radargram yang lebih jelas seperti pada (Gambar 6).



Gambar 5. Contoh Radagram yang sudah di proses

Ground Penetrating Radar (GPR) juga dapat memberikan petunjuk tentang jenis material utilitas bawah tanah dengan menganalisis bagaimana gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh GPR bereaksi terhadap berbagai material yang ada di bawah permukaan tanah.

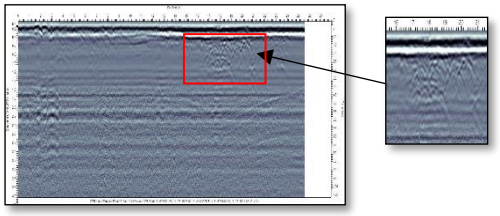
Setiap material memiliki karakteristik elektromagnetik yang berbeda, seperti konduktivitas dan konstanta dielektrik, yang memengaruhi cara gelombang elektromagnetik GPR dipantulkan. Hal ini menciptakan perbedaan dalam intensitas dan bentuk pantulan yang direkam oleh GPR.

- Material konduktif (logam): Gelombang GPR tidak dapat menembus material konduktif seperti pipa logam. Akibatnya, GPR akan memberikan sinyal pantulan yang kuat dan sangat jelas pada permukaan logam, tetapi gelombang tidak akan menembus lebih jauh di bawah utilitas tersebut. Pantulan dari logam biasanya menghasilkan garis yang sangat tajam pada radargram.
- Material *non-konduktif* (plastik, beton, PVC, HDPE): Material seperti pipa PVC, plastik, atau beton bersifat dielektrik dan tidak terlalu konduktif. Gelombang GPR dapat menembus material ini sebagian, sehingga memberikan pola pantulan yang berbeda dari logam. Refleksi dari material *non-konduktif* biasanya lebih lemah dan lebih menyebar dibandingkan dengan refleksi dari logam.

1. Interpretasi Kabel 20 KV

Kabel bertegangan 20 KV (kilovolt), yang termasuk dalam kategori kabel tegangan menengah (medium voltage), biasanya menggunakan kombinasi material tertentu untuk memastikan keamanan, efisiensi, dan ketahanan terhadap tegangan tinggi yang lapisi pelindung luar seperti PVC. Jaringan Kabel 20 KV ada penumpukan refleksi di radargram. Refleksi dari kabel yang berdekatan menghasilkan *hiperbola* yang tampak berimpitan. Jaringan Kabel 20KV umumnya diketahui dari tanda patok, berdasarkan data GPR umumnya berada dikedalaman 1.2 meter.

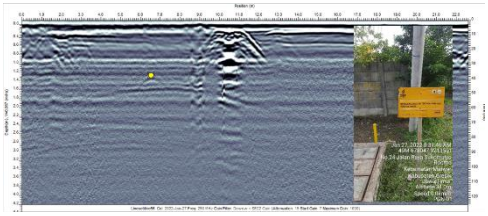
Gambar 6. Interpretasi utilitas kabel 20kv



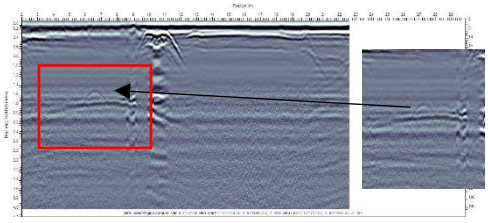
Gambar 7. Contoh Reflector kabel 20kV

2. Interpretasi Pipa Gas PGN

Pipa Gas PGN yang menggunakan material logam. Pipa logam menghasilkan refleksi yang lebih kuat dan lebih mudah dideteksi. Faktor-faktor seperti material pipa, kedalaman, dan kondisi tanah akan mempengaruhi pola yang muncul di radargram. memiliki respon *reflector* yang cukup baik dilapangan. Berdasarkan data GPR Pipa PGN umunya berada di kedalaman 1.2 - 2 meter.



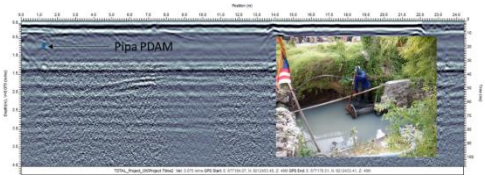
Gambar 8. Contoh Interpretasi Pipa PGN



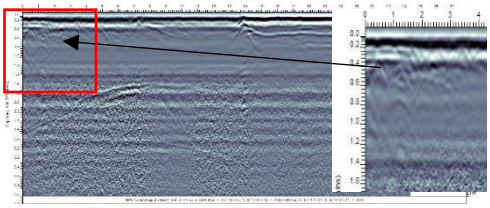
Gambar 9. Contoh Interpretasi Pipa PGN

3. Pipa Air Bersih (PDAM)

Pipa air Bersih (PDAM) umumnya menggunkan material dari pipa HDPE. Pipa berbahan HDPE cenderung memantulkan sinyal radar lebih sedikit dibandingkan dengan material logam, karena sifat *non-konduktif* plastik. Oleh karena itu, pada radargram, pipa HDPE biasanya menghasilkan pola *hiperbola* yang lebih redup. Respon reflector GPR hasilnya tidak akan sebaik pipa logam. Dilapangan ditemukan ada dikedalaman 0.5 hingga 1 meter.



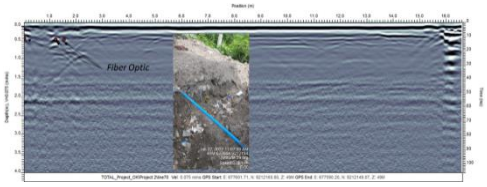
Gambar 10. Contoh Interpretasi Pipa PDAM



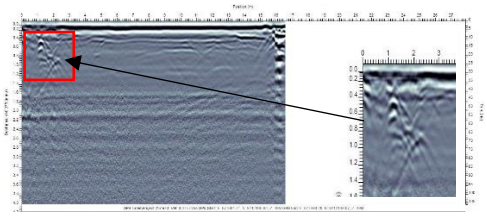
Gambar 10. Contoh Interpretasi Pipa PDAM

4. Interpretasi Kabel *Fiber optic*

Kabel *fiber optic* menggunakan material *non-konduktif* PVC/Plastik Refleksi dari material *non-konduktif* biasanya lebih lemah dan lebih menyebar dibandingkan dengan refleksi dari logam. Kabel *fiber optic* dengan pelindung PVC sering kali terkubur pada kedalaman lebih dari 1 meter. Pada kedalaman ini, pola *hiperbola* akan lebih landai dan redup, menunjukkan bahwa objek berada lebih jauh dari permukaan. Semakin dalam kabel terkubur, semakin sulit bagi GPR untuk mendeteksi kabel, terutama karena sifat *non-konduktif* dari PVC dan *fiber optic*. Dari data dilapangan ditemukan cukup banyak dan berada dikedalaman yang *relative* dangkal, yaitu itu mulai dari 0.2 hingga maksimal 1 meter.



Gambar 11. Contoh Interpretasi Pipa *Fiber Optic*



Gambar 12. Contoh Interpretasi kabel *Fiber Optic*

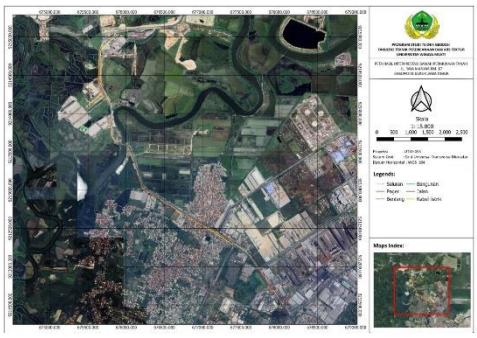
Area penelitian GPR dibatasi oleh lintasan GPR itu sendiri. Utilitas Bawah permukaan yang tidak dilalui oleh lintasan GPR tidak dapat diketahui keberadaannya. Interpretasi data dan hasil pengamatan survei kelurusan anomaly GPR dibagi menjadi 5, yaitu:

1. Kabel yang mencakup *fiber optic*,
2. Kabel Listrik 20 KV
3. Pipa PGN
4. Pipa PDAM
5. Interpretasi kelurusan yang tidak diketahui

Dalam melakukan interpretasi atau pengelompokan kelurusan anomaly akan ditentukan berdasarkan patok dan penampakan tanda utilitas yang nampak di atas permukaan. Jika tidak diketahui dan tidak ada informasi maka kelurusan tersebut kita kelompokan menjadi interpretasi kelurusan yang tidak diketahui.

Tabel 4. Hasil Analisis Pengolahan Data GPR dan Material Pada Utilitas

UTILITAS	KEDALAMAN (Meter)	MATERIAL
Kabel Listrik 20kv	1 - 2	HDPE
Pipa gas PGN	1,2 - 2	Logam
Pipa air bersih PDAM	0,5- 1	HDPE
Fiber optic	0,2 - 1	PVC/Plastik



Gambar 13. Peta Interpretasi Keseluruhan

Hasil interpretasi seluruh lintasan GPR beserta interpretasi kelurusan (Kabel 20kv, FO, Pipa Gas PGN, Pipa PDAM dll)

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu:

1. Interpretasi radargram GPR bergantung pada material, kedalaman, kondisi tanah, dan keberadaan objek lain di sekitar utilitas bawah tanah. Material konduktif, seperti logam, menghasilkan pola *hiperbola* yang lebih terang dan lebih mudah dikenali, sementara material *non-konduktif* (seperti HDPE dan PVC) memunculkan pola yang lebih redup. Kedalaman objek juga mempengaruhi kejelasan pola, dengan objek yang lebih dalam menghasilkan *hiperbola* yang lebih landai dan redup. Pemahaman tentang pola-pola ini sangat penting untuk menentukan lokasi dan jenis utilitas bawah tanah secara akurat.
2. Kabel *fiber optic*, ditemukan mulai dari kedalaman 0,2 hingga maksimal 1 meter. Kabel listrik 20 kV umunya berada dikedalaman 1,2 meter. Pipa air bersih (PDAM) ditemukan ada dikedalaman 0,5 hingga 1 meter, Sebagian kecil ditemukan bisa ada dikedalaman 1,5 Km umumya ada di persimpangan Jalan. Pipa gas PGN memiliki kedalaman antara 1,2 – 2 meter.

SARAN

Saran yang dapat diberikan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adalah:

1. Apabila lokasi yang cenderung kompleks dengan adanya utilitas bawah permukaan yang merata di sepanjang jalur penelitian dan ketersediaan ruang yang terbatas membuat penentuan posisi SKTT menjadi lebih rumit. Disarankan posisi rencana kabel SKTT berada dikedalaman lebih dari 3 meter guna menghindari utilitas yang ada dan lokasinya berseberangan dengan Pipa Gas.

DAFTAR PUSTAKA

Abidin. (2007). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya.* Bandung.

Abidin, H. Z. (2007). *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya.* Jakarta.

Abidin, H. Z., Jones, A., & Kahar, J. (2011). *Survei Dengan GPS, Cetakan Ketiga.* Jakarta: PT Pradnya Paramita.

AsGIS. (2017, March 17). *What Is PDOP? And Why It's Obsolete*. Retrieved from AsGIS:https://www.agsgis.com/

What-is-PDOP-And-Why-its Obsolete_b_43.html

Badan Informasi Geospasial. (2020). *Ina-CORS.* Bogor: Badan Informasi Geospasial.

Badan Informasi Geospasial. (2020). *Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2020 Tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar Untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar*. Bogor: Badan Informasi Geospasial.

BIG - Badan Informasi Geospasial. (2020). *Kerangka Acuan Kerja Pusat Pemetaan Rupabumi Dan Toponim.* Bogor: Satuan Kerja Pusat Pemetaan Rupabumi Dan Toponim.

Daniels, J. (2019). *Ground Penetrating Radar for Utility Mapping*: Methods and Applications. *Geophysical Journal International*, 1593-1608.

Geospasial, B. I. (2020). Peraturan Badan Informasi Geospasial. Peraturan Badan Informasi Geospasial Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2020 Tentang Standar Pengumpulan Data Geospasial Dasar Untuk Pembuatan Peta Dasar Skala Besar (pp. 15, 31, 43). Bogor: Badan Informasi Geospasial.

Hewerdine, W. (2005). *NMEA Reference Manual.* San Jose: SiRF Technology Inc.

Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2008). *GNSS – Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more.* Springer Science & Business Media.

Lee, K., & Kim, J. (2021). Optimizing the Use of GPR in Utility Mapping: A Case Study. *International Journal of Remote Sensing*, 2567-2581.

Leica Geosystems AG. (2023). *GPS Reference Stations and Networks - An introductory guide.* Retrieved from Guide to Reference Stations: https://leica-geosystems.com/products/gnss-reference-networks/antennas

Nathania, C. (2013). *Kajian Pengaruh Penggunaan Metode Survei GNSS Jaring Tertutup dan Radial Terhadap Ketelitian Posisi.* Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.

NOAA. (2006). *Guidelines for New and Existing Continuously Operating Reference Stations (CORS).* National Ocean Survey (NOAA).

Seeber, G. (2002). *Satellite Geodesy. Cetakan Kedua.* Germany: Hannover.

Smith, A., & L, B. (2020). The impact of GNSS on utility mapping using GPR and RTK methods.