

Skripsi Geofisika

**PENCITRAAN 3D UTILITAS BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE GEORADAR DI TAMAN BLOK F PERUMAHAN DAGO
GREEN HILL, KOTA BANDUNG**



OLEH:

ALFIAN

H061181328

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

HALAMAN JUDUL

**PENCITRAAN 3D UTILITAS BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN
METODE GEORADAR DI TAMAN BLOK F PERUMAHAN DAGO
GREEN HILL, KOTA BANDUNG**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains

Pada Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH:

**ALFIAN
H061181328**

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PENGESAHAN

PENCITRAAN 3D UTILITAS BAWAH PERMUKAAN MENGGUNAKAN METODE GEORADAR DI TAMAN BLOK F PERUMAHAN DAGO GREEN HILL, KOTA BANDUNG

Disusun dan Diajukan oleh:

ALFIAN

H061181328

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian Sidang yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada 17 Juli 2023

Dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Dr. Muhammad Hamzah S., S.Si, M.T
NIP. 196105011991031003

Pembimbing Pertama

Syamsuddin., S.Si, M.T
NIP. 197401152002121001

Ketua Departemen Geofisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin Makassar

Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP.196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Alfian
NIM : H061181328
Program Studi : Geofisika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul Pencitraan 3D Utilitas Bawah Permukaan Menggunakan Metode Georadar di Taman Blok F Perumahan Dago Green Hill, Kota Bandung adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilalihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 17 juli 2023

Yang menyatakan,


ALFIAN

SARI BACAAN

Metode georadar merupakan salah satu metode geofisika yang menggunakan sinyal gelombang elektromagnetik yang dipancarkan dan diterima oleh antena untuk menghasilkan gambaran bawah permukaan dengan frekuensi gelombang elektromagnetik sekitar 10 Mhz – 1.5 Ghz. Penelitian ini menggunakan metode georadar dengan sistem akuisisi data *fixed offset profiling* di Taman Blok F Perumahan Dago Green Hill. Panjang lintasan 5x5 meter berbentuk grid dan jumlah lintasan pengukuran sebanyak 42 lintasan. Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan citra yang mampu mengidentifikasi lokasi utilitas bawah permukaan serta menghasilkan ilustrasi kondisi bawah permukaan secara 3D. Data georadar yang dihasilkan berupa radargram sebaran nilai amplitudo gelombang elektromagnetik yang menggunakan frekuensi 250 Mhz dengan penetrasi kedalaman yang terukur sekitar 3 meter. Pengolahan data dilakukan menggunakan paket RGPR pada perangkat lunak RStudio. Hasil interpretasi pada radargram georadar memiliki dua pola kemenerusan refleksi hiperbola terduga sebagai letak utilitas bawah permukaan yang terletak pada kedalaman sekitar 0.31 m dan 0.39 m. Hasil *depth slice* seluruh lintasan menunjukkan nilai yang sama dengan hasil interpretasi radargram 2D. Melalui hasil interpretasi radargram 2D, dapat dihasilkan penampang 3D dengan bantuan paket *R Graphics Language* (RGL) pada perangkat lunak RStudio sehingga hasil identifikasi utilitas memiliki ilustrasi yang lebih interaktif.

Kata kunci : Georadar, Geoteknik, RGPR, Rstudio, Utilitas.

ABSTRACT

The ground penetrating radar (GPR) method is a geophysical method that uses electromagnetic wave signals transmitted and received by antennas to produce subsurface images with electromagnetic wave frequencies around 10 Mhz – 1.5 Ghz. This research uses the GPR method with the fixed offset profiling data acquisition method in Blok F Park, Dago Green Hill Housing which has a 5x5 meter track length in the form of a grid and a total of 42 measurement lines to produce subsurface images that are able to identify the location of subsurface utilities and produce illustrations of subsurface conditions in 3D. The GPR data generated is in the form of a radargram of the distribution of electromagnetic wave amplitude values using a frequency of 250 Mhz with a measured penetration depth of about 3 meters. Data processing was carried out using the RGPR package on the RStudio software. The results of the interpretation of the GPR radargram have two patterns of continuity of suspected hyperbolic reflections as the location of subsurface utilities which are located at a depth of about 0.31 m and 0.39 m. The results of the depth slices for all trajectories show the same depth value as the depth value from the 2D radargram interpretation. Through the results of 2D radargram interpretation, 3D cross-sections can be generated with the help of the R Graphics Language (RGL) package in the RStudio software so that the utility identification results have a more interactive illustration.

Keywords: GPR, Geotechnical, RGPR, Rstudio, Utilities.

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil'alamin, segala puji bagi Allah SWT yang senantiasa memberikan limpahan rahmat berupa nikmat kesempatan dan kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Pencitraan 3D Utilitas Bawah Permukaan Menggunakan Metode Georadar di Taman Blok F Perumahan Dago Green Hill, Kota Bandung**”. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada baginda Rasullullah SAW, keluarga, para sahabat, dan seluruh pengikutnya.

Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang pendidikan strata satu (S1) pada Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan manusia-manusia yang sangat baik di sekitar lingkungan penulis. Pada kesempatan ini dengan segala hormat dan kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terimakasih yang tak terhingga kepada orang tua penulis **Ibu Nosma** dan **Bapak Dalle** sebagai orang tua yang selalu memberikan segala kasih yang tak hingga, doa, dan kesempatan untuk melanjutkan pendidikan kepada penulis. Terimakasih kepada seluruh **Keluarga Besar Hj.Dame** yang telah memberikan dukungan baik secara moril maupun materiil selama penulis menempuh pendidikan.

Ucapan terima kasih juga penulis haturkan kepada pihak lain yang terlibat dalam memberikan bantuan serta bimbingan selama proses penyelesaian pendidikan penulis. Oleh karena itu, dengan segala hormat dan kerendahan hati penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak **Dr. Muhammad Hamzah, S.Si, MT** selaku pembimbing utama dan Bapak **Syamsuddin, S.Si, MT** selaku pembimbing pertama dan dosen pembimbing akademik penulis yang senantiasa selalu memberikan arahan, bimbingan, serta motivasi kepada penulis untuk dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak **Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si**, dan Ibu **Dra. Maria, S.Si** selaku penguji yang telah memberikan kritik, saran, serta motivasi kepada penulis dalam penyelesaian skripsi agar lebih baik.
3. Bapak **Dr. Eng Amiruddin** selaku Dekan FMIPA Unhas, Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Assagaf, M.Eng** selaku Ketua dan Bapak **Dr. Erfan Syamsuddin, M.Si** selaku Sekretaris Departemen Geofisika FMIPA Unhas, seluruh Bapak/Ibu dosen di Departemen Geofisika: **Alm. Prof. Dr. Dadang Ahmad Suriamihardja, M.Eng.**, **Alm. Dr. Paharuddin, M.Si.**, **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc.**, **Drs. Hasanuddin, M.Si.**, **Dr. Ir. Muh. Altin Massinai, MT. Surv. IPM.**, **Dra. Maria, S.Si.**, **Dr. Sakka, M.Si.**, **Dr. Samsu Arif, M.Si.**, **Ir. Bambang Harimei, M.Si.**, **Makhrani, S.Si, M.Si.**, **Sabrianto Aswad, S.Si, M.T.**, **Muh. Fawzy Ismullah Massinai, S.Si, MT**, **Aswar Syafnur, S.Si, M.Eng.**, **Saaduddin, M.Sc.** dan **Andi**

Muhammad Pramatadie, ST., M.Eng., Ph.D yang telah memberikan banyak pengetahuan baru kepada penulis selama menempuh pendidikan.

4. Bapak **Anto**, Bapak **Putra**, dan Bapak **Fadli** selaku staf Departemen Geofisika yang telah mempermudah segala urusan administrasi selama penulis menempuh pendidikan.
5. Bapak **Dr. Diky Irawan** selaku direktur PT. Geo Stroom Indonesia dan Kak **Viraldi Diyesa Kanaatmaja** selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian serta memberikan banyak pengetahuan terkait penelitian yang penulis lakukan.
6. Ibu **Nurnaning Aisyah** selaku pembimbing penulis selama Kerja Praktik (KP) di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta yang telah memberikan pengetahuan mengenai lingkungan kerja dan mitigasi bencana Gunung Merapi.
7. Anana **Tongkrongan (Marni dan Fya)** yang senantiasa menjadi beban penulis selama penelitian tugas akhir di Bandung.
8. Saudara dan saudari penulis **HMGF 2018 (Agung Putra, Ahmad Fauzy Arif, Aini Suci Febrianti, Ainul Fatima, Andi Muh. Yusuf Abdullah, Andri Moh. Wahyu Laode, Asmiyeni Islamiyati, Dede Muhaimin Aziz, Dhea Eka Putri, Evy Sulfiani, Fhauzia Suci Ramadhani, Fina, Fira Angraini Syamsul, Hasnan Sutadi, Herald Chresto Saranga, Inrawati Onding, Irmawati, Iswatun Khazanah, Jihan Faruk Zubedi, Johanna Diharti, Juni Annisa Karim, Komang Yuda Putra Bendesa, Marniati Ramli, Masdar, Muhammad Syaifullah, Muhammad Yusran,**

Mutmainnah, Nilam Syukur, Nur Annisa, Nur Fiskah, Nurfadillah, Nurhasana, Nurul Fhaika, Rahmat Rastin, Resky Amelia, Safira Fauzianingsih, Sarwan Hendrick, Sheren Fairuz Zahira Rohmana, Siti Wahyuni M. Wael, Sri Wahyuni, Windy Sari, Wirawan Saleh, Yansen Barumbun, Yusril Ashar Arfandi, Zefanya Eveline Sharon Kailem, dan Wilda Wahyu Ramadhani) dan **HIMAFI 2018** yang turut menemani proses kader dan menemani penulis selama menjalani pendidikan. Tetap **“Satu Tekad Taklukkan Waktu”**.

9. Kanda dan Adinda selingkup **KM FMIPA Unhas, HMGF, dan HIMAFI** yang telah memberikan pengalaman berlembaga selama penulis menempuh pendidikan.
10. Seluruh anggota **UKM Fotografi Unhas** yang telah memberikan pengetahuan dalam berkarya dan suasana rumah selama penulis menempuh pendidikan.
11. Teman-teman **Posko KKN Toraja Utara 2 Gel.107 (Kolang, Heral, Sarwan, Sandi, Ciko, Agung, Remil, Yudi, Irma, Egi dan Anggi)** yang turut bersama mengukir kisah selama berlangsungnya kuliah kerja nyata penulis.
12. Seluruh anggota dan alumni **Society Exploration of Geophysics Student Chapter Hasanuddin University** yang memberikan pengetahuan terkait keilmuan geofisika secara internasional.

13. Seluruh pengurus **Himpunan Mahasiswa Geofisika Indonesia** periode 2020/2021 yang memberikan pengalaman dan relasi keilmuan secara nasional kepada penulis.
14. Berbagai pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terimakasih dimanapun kalian berada.

Penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya apabila terdapat kekurangan dalam skripsi ini. Saran dan kritik dari pembaca selalu terbuka dan sangat berguna bagi penulis untuk penelitian berikutnya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua manusia.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Makassar, Mei 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	Error! Bookmark not defined.
SARI BACAAN.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Rumusan Masalah	3
I.3 Ruang Lingkup Penelitian	3
I.4 Tujuan Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
II.1 Geologi Regional.....	4
II.2 Gelombang Elektromagnetik.....	6
II.3 Metode Georadar	9
II.3.1 Sistem Georadar	10
II.3.2 Prinsip Georadar.....	11
II.3.3 Kedalaman Penetrasi.....	12
II.3.4 Resolusi Vertikal.....	13
II.3.5 Akuisisi Data.....	14
II.3.6 Prosesing Data.....	15
II.3.7 Visualisasi Data.....	17
II.4 Utilitas Bawah Permukaan	18
II.5 Bahasa Pemrograman R	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	20
III.1 Lokasi Penelitian.....	20
III.2 Alat dan Bahan.....	21

III.2.1	Alat.....	21
III.2.2	Bahan	21
III.3	Teknik/Prosedur Penelitian.....	21
III.3.1	Prosedur Pengambilan Data	21
III.3.2	Prosedur Pengolahan Data	22
III.4	Bagan Alir.....	23
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	24
IV.1	Hasil Pengolahan Radargram 2D.....	24
IV.2	Hasil Penampang 3D Bawah Permukaan	29
IV.3	<i>Depth Slice</i>	30
IV.4	Peta Sebaran Interpretasi Utilitas.....	32
BAB V	PENUTUP	34
V.1	KESIMPULAN	34
V.2	SARAN	34
	DAFTAR PUSTAKA	35
	LAMPIRAN.....	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Geologi Regional Lembar Bandung, Jawa Barat.....	4
Gambar 2.2 Peta Geologi Regional Kecamatan Cidadap, Kota Bandung, Jawa Barat.....	5
Gambar 2.3 Komponen Utama Sistem Georadar.....	11
Gambar 2.4 (a) Fixed offset profiling (b) Commond mid-point.....	14
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian.....	20
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian.....	23
Gambar 4.1 (a) Penampang radargram 2D lintasan x0 dengan parameter waktu tempuh gelombang dan jarak lintasan (b) Penampang radargram 2D lintasan x0 dengan parameter kedalaman dan jarak lintasan.....	25
Gambar 4.2 (a) Penampang radargram 2D lintasan x0 (b) Penampang radargram 2D lintasan x10 (c) Penampang radargram 2D lintasan x20.....	27
Gambar 4.3 (a) Penampang radargram 2D lintasan y0 (b) Penampang radargram 2D lintasan y10 (c) Penampang radargram 2D lintasan y20.....	29
Gambar 4.4 Penampang radargram 3D.....	30
Gambar 4.5 (a) Depth slice 0.39 m (b) Depth slice 0.31 m.....	31
Gambar 4.6 (a) Grid lintasan (b) Hasil plot hiperbola seluruh lintasan.....	32
Gambar 4.7 Peta sebaran interpretasi utilitas.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Interaksi antara frekuensi antena dan kedalaman penetrasi.....	13
---	----

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Kota Bandung merupakan Ibukota Provinsi Jawa Barat yang memiliki luas wilayah 167,31 km² (BPS, 2021). Kenaikan angka jumlah perumahan juga dialami Kota Bandung yang memiliki akses yang cukup baik ke jalur kota besar lainnya dan posisinya sebagai ibukota membuat seluruh pusat pemerintahan berada di Kota Bandung (Komarudin, 1999). Istilah perumahan telah tercantum dalam Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 tahun 2011 yaitu kumpulan rumah sebagai bagian dari permukiman, baik perkotaan maupun perdesaan, yang dilengkapi dengan prasarana, sarana, dan utilitas umum sebagai hasil upaya pemenuhan rumah yang layak huni (Pemerintah Indonesia, 2011). Perumahan merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia yang memiliki banyak fungsi dalam kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, pembangunan perumahan hal yang paling penting dan menjadi indikator keberhasilan yang perlu direncanakan dengan baik dalam menciptakan kesejahteraan bagi setiap masyarakat (Hilman, 2004).

Keinginan untuk memiliki rumah baru terus meningkat tiap tahunnya. Namun, peningkatan ini tidak diiringi dengan kelengkapan prasarana, sarana, dan utilitas umum yang mencukupi. Kelengkapan ini menjadi masalah dalam pembangunan suatu perumahan dengan kondisi lingkungan dan ketersediaan yang di bawah kualitas pada umumnya sehingga memperburuk situasi perumahan (Kemen PUPR, 2016).

Pemasangan jaringan utilitas di bawah tanah seperti pipa air, pipa gas, kabel listrik dan kabel telekomunikasi terkadang belum terpetakan secara baik sehingga posisinya sering tidak diketahui secara pasti oleh masyarakat dan pemerintah setempat (Banin dkk, 2017). Salah satu cara untuk mengetahui posisi keberadaan jaringan utilitas adalah dengan mendeteksi posisi dan memetakan jaringan. Identifikasi keberadaan pipa air, pipa gas, kabel listrik dan kabel telekomunikasi bawah tanah untuk mengetahui jaringan utilitas dapat menggunakan metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) atau lebih dikenal dengan metode Georadar. Georadar merupakan salah satu metode aktif geofisika yaitu metode yang menggunakan sistem radar untuk mendapatkan gambaran kondisi bawah permukaan (Jol, 2009).

Penelitian terdahulu telah dilakukan oleh Muhammad Arief dan Lena Sumargana dengan judul “Penggunaan Metode *Ground Penetrating Radar* (GPR) Untuk Identifikasi Utilitas Bawah Tanah” pada tahun 2021 dan membuktikan bahwa metode georadar efektif digunakan untuk mengidentifikasi utilitas bawah permukaan.

Berdasarkan uraian latar belakang, penelitian ini akan menggunakan metode georadar untuk mengidentifikasi utilitas bawah tanah. Hasil yang diperoleh merupakan radargram yang memberitahukan informasi kondisi 3D bawah permukaan. Penelitian ini berjudul “Pencitraan 3D Utilitas Bawah Permukaan Menggunakan Metode Georadar Di Taman Blok F Perumahan Dago Green Hill, Kota Bandung” dengan harapan dapat memberikan informasi sehingga dapat

meningkatkan efisiensi dalam pembangunan kedepannya dan menjadi referensi dari penelitian berikutnya.

I.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil identifikasi utilitas bawah permukaan pada lokasi penelitian?
2. Bagaimana hasil penampang 3D utilitas bawah permukaan pada lokasi penelitian?

I.3 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah membuat pemetaan 3D utilitas bawah permukaan area taman blok F perumahan Dago Green Hill dengan menggunakan data *Ground Penetrating Radar*. Data berupa data primer dalam bentuk pembacaan radargram yang diambil dengan menggunakan alat *Radiodetection*. Pengolahan data menggunakan *software* R studio.

I.4 Tujuan Penelitian

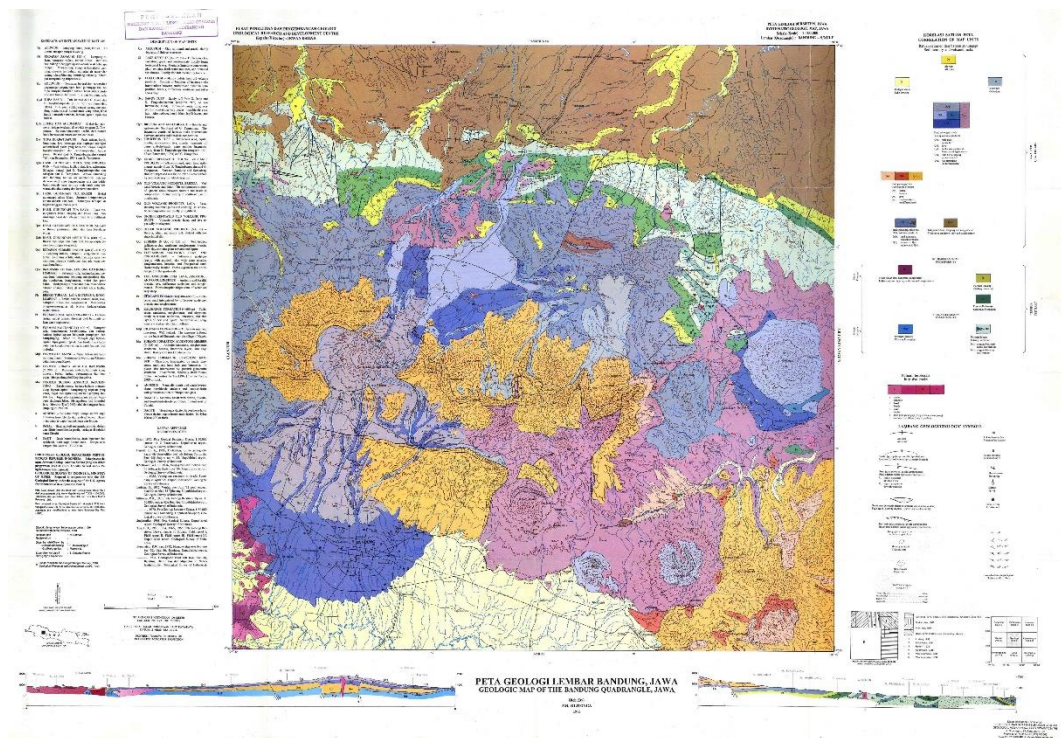
1. Mengidentifikasi utilitas bawah permukaan pada lokasi penelitian.
2. Mengetahui hasil penampang 3D utilitas bawah permukaan pada lokasi penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Geologi Regional

Bandung merupakan salah satu daerah gunungapi yang sebagian besar diisi oleh endapan hasil gunung api tua dan endapan vulkanik muda yang dihasilkan dari gunungapi di sekitarnya. Daerah ini mulanya merupakan zenit geantilkin Jawa Barat yang kemudian runtuh sesudah terjadinya *uplift* dan terisi endapan gunungapi muda. Pada **Gambar 2.1** terlihat bahwa daerah Bandung mempunyai banyak gunungapi baik yang sudah tidak aktif dan aktif.

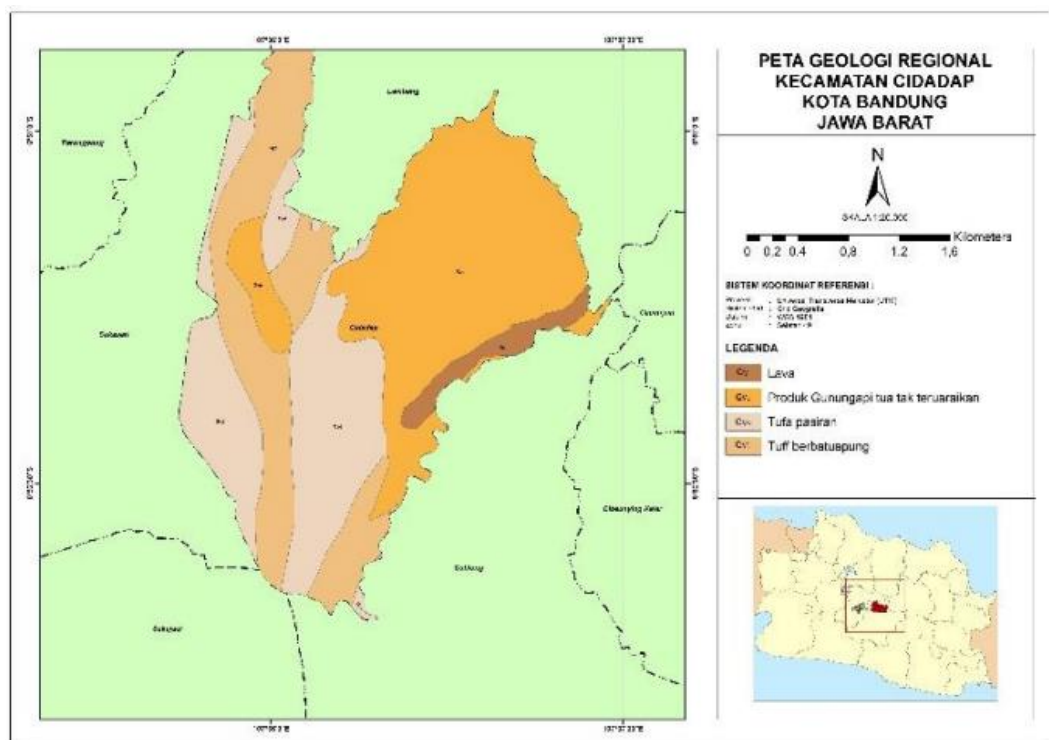


Gambar 2. 1 Peta Geologi Regional Lembar Bandung, Jawa Barat (Silitonga, 1937)

Hal ini dapat dilihat dari pola penyebaran jenis batuan yang mendominasi di peta geologi regional lembar Bandung yaitu di sisi tenggara peta didominasi oleh hasil

gunung api tua breksi sedangkan di sisi selatan peta didominasi oleh hasil gunung api muda tak teruraikan (Silitonga, 1937).

Zona Bandung sebagian diisi oleh endapan vulkanik dan aluvial muda, tetapi dataran tinggi ini kadang-kadang diselingi oleh perbukitan dan punggung pegunungan radjamandala tersier bawah dan miosen, selatan tjiandjur. Bagian tengah zona Bandung ditempati oleh dataran tinggi batudjadar dan Bandung. Peralihan ke gunung selatan dibatasi oleh gunung api tilu dan malabar sedangkan peralihan ke zona bogor terkubur di bawah kompleks gunung api lembang (Bemmelen, 1949).



Gambar 2. 2 Peta Geologi Regional Kecamatan Cidadak, Kota Bandung, Jawa Barat.

Informasi geologi regional pada daerah penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2.2** yang diperoleh dari hasil pengolahan menggunakan *software arcgis* yaitu terdapat

struktur tufa berbatuapung (Qyt), hasil gunung api tua tak teruraikan (Qyu), Tufa pasir (Qyd), dan lava (Qyl).

II.2 Gelombang Elektromagnetik

Gelombang merupakan getaran yang merambat dalam dimensi ruang dan waktu. Gelombang merambatkan energi serta dapat diklasifikasikan berdasarkan media perambatan, arah rambatan, dan amplitudonya. Melalui medium perambatannya, gelombang terbagi menjadi dua jenis yaitu gelombang mekanis dan gelombang elektromagnetik. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang yang bisa merambat walaupun tidak ada medium perantaranya (Ruwanto, 2007). Gelombang elektromagnetik terbentuk karena fenomena yang terjadi antara medan magnetik dan medan listrik yang mengalami perubahan terhadap waktu (Hirose dan Lonngren, 1985). Melalui prinsip gelombang seorang geofisikawan dapat melakukan interpretasi kondisi bawah permukaan pada daerah penelitian yang dilakukan berdasarkan metode yang diterapkan. Salah satu metode yang menerapkan prinsip gelombang elektromagnetik adalah metode georadar.

Dasar teori metode georadar yaitu persamaan Maxwell yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0} \quad (2.1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (2.2)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.3)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (2.4)$$

E = Vektor kuat medan listrik (V/m)

ρ = Rapat muatan listrik (C/m³)

B = Vektor kerapatan fluks magnet (T)

J = Vektor kerapatan arus listrik (A/m²)

D = Vektor perpindahan listrik (C/m)

t = Waktu (s)

H = Intensitas medan magnet (A/m)

Hubungan besaran pada persamaan (2.1) – (2.4) adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H} \quad (2.5)$$

$$\mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E} \quad (2.6)$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} \quad (2.7)$$

Konduktivitas listrik (σ) merupakan ukuran dari kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Jika beda potensial listrik ditempatkan pada ujung-ujung konduktor maka muatan-muatan bergerak akan berpindah sehingga menghasilkan arus listrik. Konduktivitas listrik didefinisikan sebagai ratio dari rapat arus terhadap kuat medan listrik. Permittivitas dielektrik (ϵ) merupakan suatu nilai yang menggambarkan bagaimana medan listrik memengaruhi dan dipengaruhi oleh suatu medium dielektrik. Nilainya ditentukan oleh kemampuan bahan dari medium untuk terpolarisasi sebagai respon dari medan tersebut yang akhirnya mengurangi medan listrik dalam bahan. Permeabilitas magnetik (μ) merupakan kemampuan

sebuah material untuk menunjang terbentuknya medan magnet dalam material tersebut (Jol, 2009).

Melalui persamaan Maxwell pada (2.3) dan (2.4) dapat diketahui persamaan untuk penjalaran gelombang elektromagnetik pada medium linear dengan menerapkan operasi curl pada persamaan gelombang medan magnet dan medan listrik:

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{E} = -\nabla \times \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (2.8)$$

$$\nabla \times \nabla \times \mathbf{H} = \nabla \times \mathbf{J} + \nabla \times \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (2.9)$$

Maka diperoleh,

$$\nabla^2 \mathbf{E} - \epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{E}}{\partial t^2} - \sigma \mu \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} = 0 \quad (2.10)$$

$$\nabla^2 \mathbf{H} - \epsilon \mu \frac{\partial^2 \mathbf{H}}{\partial t^2} - \sigma \mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = 0 \quad (2.11)$$

Sehingga dapat dituliskan persamaan gelombang elektromagnetik pada medium linear sebagai berikut (Reitz, 1979):

$$\left(\nabla^2 - \frac{\partial}{\partial t} \mu \left(\sigma + \epsilon \frac{\partial}{\partial t} \right) \right) \begin{bmatrix} \mathbf{E} \\ \mathbf{H} \end{bmatrix} = 0 \quad (2.12)$$

Kecepatan perambatan dari gelombang elektromagnetik dapat membantu mendeteksi kedalaman suatu objek. Kecepatan ini bergantung pada kecepatan perambatan cahaya di udara dan konstanta dielektrik relatif medium (ϵ_r) yang dilalui oleh gelombang elektromagnetik. Secara matematis dituliskan sebagai berikut:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2.13)$$

II.3 Metode Georadar

Ground Penetrating Radar (GPR) pada bidang geofisika sering dikenal sebagai *Ground Radar* atau Georadar, metoda geofisika ini menggunakan sinyal gelombang elektromagnetik dan bersifat *non-destruktif*. Gelombang elektromagnetik akan dipancarkan ke dalam bumi dan direkam oleh antena pada saat gelombang telah mencapai ke permukaan. Gelombang elektromagnetik diteruskan, dipantulkan dan dihamburkan oleh struktur permukaan dan anomali yang terdapat di bawah permukaan. Gelombang elektromagnetik yang dipantulkan dan dihamburkan akan direkam oleh antena di permukaan (Ali dkk, 2021).

Metode ini dapat menghasilkan gambaran bawah permukaan dengan resolusi yang tinggi terhadap kontras material dielektrik, karena gelombang yang dipancarkan oleh georadar memiliki frekuensi sekitar 10 MHz – 1.5 Ghz. Metode ini setidaknya mengalami perkembangan setelah kurang lebih dua dekade dengan memiliki penetrasi kedalaman yang tinggi, resolusi kedalaman yang baik, meningkatkan kecepatan akuisisi, lokasi yang presisi, dan perkembangan lainnya (Sinharay, 2019).

Metode georadar dalam aplikasinya pada disiplin ilmu geofisika secara primer digunakan untuk investigasi hidrogeologi, investigasi situs lingkungan, mendeteksi rongga bawah permukaan, memetakan lokasi objek metalik yang terpendam, survei arkeologi, dan geofisika forensik. Fungsi sekunder dari metode ini adalah investigasi badan air tanah yang telah dipengaruhi oleh adanya pencemar di dalam tanah atau akuifer dan mendeteksi UXO (*Unexploded Ordnance*) (Reynold, 2011).

Georadar telah memiliki banyak penelitian khususnya di bidang penelitian dekat permukaan dan mendapatkan hasil yang cukup baik. Penelitian ini bisa dilihat pada penelitian studi kutub yang berhasil mengukur ketebalan lapisan es kutub dan topografi subglasial di Oasis Schimacher (Gergan, 2006), percobaan eksplorasi bulan yang bertujuan untuk memetakan stratigrafi dangkal juga dipertimbangkan menggunakan metode georadar karena kelebihan yang dimiliki (Angelopoulos dkk, 2013), penyelidikan geoteknik yang bertujuan untuk meminimalisir kerusakan jaringan bahwa permukaan berhasil mengidentifikasi jaringan bawah permukaan melalui profil radargram (Bachiri dkk, 2020), penyelidikan pertanian untuk mengukur properti bawah tanah menggunakan metode georadar yang dianggap lebih baik dibandingkan menggunakan metode tradisional yang lebih bersifat destruktif (Liu dkk, 2016), deteksi ranjau darat menggunakan metode georadar terbukti efektif walaupun masih terbatas pada satu jenis ranjau darat (Ko dkk, 2012), dan survei terowongan menggunakan metode georadar untuk melakukan pencitraan sehingga dapat diketahui ketebalan struktur terowongan, karakteristik distribusi, serta gejala kerusakan struktural (Zhai dkk, 2022). Berdasarkan potensinya yang luar biasa, metode georadar menjadi salah satu metode geofisika dekat permukaan yang paling terkenal di masa sekarang dengan penawaran kemudahan kecepatan, resolusi, maupun ketersediaan data (Sinharay, 2019).

II.3.1 Sistem Georadar

Pada dasarnya sistem georadar secara konsep tidak rumit, kunci utamanya adalah unit waktu yang menjadi kontrol pembangkitan maupun pendeteksi sinyal. Tujuan dari sistem ini adalah untuk mencari nilai amplitudo medan terhadap waktu.

dengan konduktivitas listrik yang tinggi akan melemahkan gelombang georadar dan sebaliknya.

Frekuensi antena pemancar merupakan hal yang penting untuk menentukan kedalaman gelombang elektromagnetik. Pilihan frekuensi harus dipertimbangkan dengan baik agar bisa memastikan batas kompromi antara kedalaman dan resolusi spasial objek yang dideteksi (Bachiri dkk, 2020).

II.3.3 Kedalaman Penetrasi

Kedalaman penetrasi dapat berpengaruh pada sifat kelistrikan di bawah permukaan dengan prinsip kerja pengiriman dan penerimaan pulsa gelombang elektromagnetik, sehingga apabila di bawah permukaan ditemukan adanya anomali maka struktur itu dapat dideteksi oleh radargram. Tinggi rendahnya frekuensi antena yang digunakan mempengaruhi besarnya kedalaman penetrasi yang akan dicapai gelombang radar. Dimana jika digunakan frekuensi antena penerima yang rendah maka kedalaman penetrasi yang akan dicapai gelombang radar semakin besar begitupun sebaliknya (William dkk, 2011).

Hubungan antara kedalaman penetrasi dan frekuensi memiliki hubungan yang berbanding terbalik. Kedalaman penetrasi bergantung pada frekuensi yang digunakan. Hal ini menyebabkan ukuran dari subjek penelitian perlu diperhitungkan batasnya agar dapat ditentukan frekuensi yang tepat digunakan untuk melakukan survei. Nilai frekuensi dan kedalaman penetrasi dapat dilihat pada **Tabel 2.1** (Tamura dkk, 2016).

Kedalaman penetrasi pada metode GPR tidak hanya dipengaruhi oleh frekuensi dari antenna tetapi juga dipengaruhi oleh efisiensi dari antenna dan sifat-sifat kelistrikan dari lapisan batuan di bawah permukaan (Benson, 1995).

Tabel 2.1 Interaksi antara frekuensi antenna dan kedalaman penetrasi (Tamura dkk, 2016).

Frekuensi (MHz)	Kedalaman (m)
1000	0,5
500	1
200	2
100	7
50	10
25	30
10	50

Pada medium konduktor, kedalaman penetrasi ketika menggunakan metode georadar sangat dipengaruhi oleh frekuensi yang digunakan saat melakukan akuisisi data. Kedalaman penetrasi dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad (2.14)$$

δ = Kedalaman penetrasi (m)

ρ = Resistivitas material (Ωm)

f = Frekuensi (Hz)

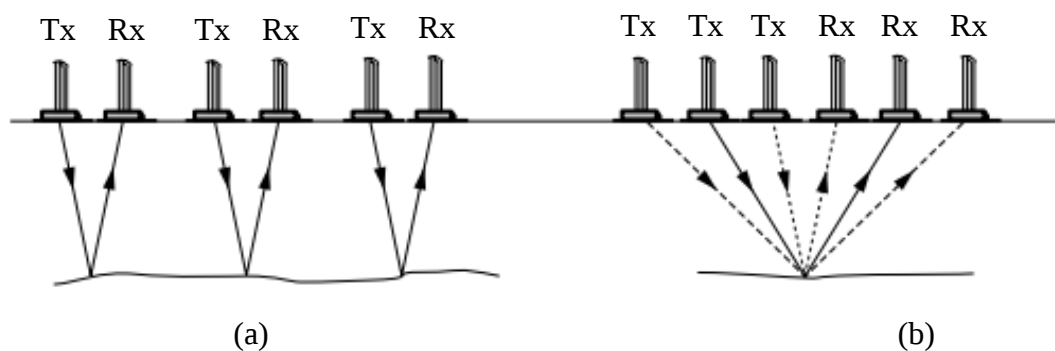
II.3.4 Resolusi Vertikal

Data GPR yang telah didapatkan akan terekam dan menggambarkan penampang dalam bentuk vertikal ke bawah permukaan tanah yang biasanya akan

menghasilkan profil yang disebut profil radargram. Pada metode GPR, resolusi vertikal menjelaskan mengenai kedalaman pemisahan minimum antara dua target atau dapat dikatakan juga resolusi ini dapat menentukan ketebalan objek yang dapat dideteksi. Resolusi vertikal tidak bergantung pada kedalaman (Reynold, 2011).

II.3.5 Akuisisi Data

Sebagian besar akuisisi data dilakukan dengan menggunakan jarak antenna yang konstan atau lebih dikenal dengan istilah *fixed offset* (Gabrys dan Ortyl, 2020). Namun, ada cara lain yang bisa digunakan namun memiliki kekurangan yaitu membutuhkan waktu yang cukup lama dalam proses akuisisi datanya. Cara ini adalah digunakan dengan membuat variasi jarak kedua antenna dari titik tengah yang tetap untuk mendapatkan titik CMP (*commond mid-point*). Ilustrasi dari kedua cara akuisisi data bisa dilihat pada Gambar 2.3 (Milsom, 2003).



Gambar 2. 4 (a) *Fixed offset profiling* (b) *Commond mid-point* (Milsom, 2003)

Penyebaran sistem radar terbagi menjadi tiga mode penyebaran yaitu profil pembuatan refleksi, pemantulan sudut lebar dan pembiasan atau *wide angle reflection and refraction* (WARR), titik tengah (CMP), dan *trans-iluminasi* atau radar tomografi. Profil pembuatan refleksi didapatkan dengan cara satu atau lebih antenna radar dijalankan secara bersamaan diatas permukaan objek penelitian yang

menghasilkan tampilan waktu tempuh pada sumbu vertikal dan jarak pada sumbu horizontal (Reynold, 2011).

Pemantulan sudut lebar dan pembiasan (WARR) dilakukan dengan cara pemancar radar diletakkan pada lokasi yang tetap dan penerimanya ditarik sesuai dengan peningkatan offset nya. Pemancar dan penerima diletakkan di lokasi yang datar atau agak miring kemudian diasumsikan bahwa sifat material pada lokasi seragam dan memiliki karakteristik reflektor yang sama di bawah permukaan. Asumsi ini sering tidak sesuai dengan semua kasus penelitian sehingga alternatif yang dihasilkan adalah CMP. Dalam CMP, pemancar dan penerima dipindahkan namun titik tengahnya berada di lokasi yang tetap (Reynold, 2011).

Metode penyebaran trans-iluminasi dilakukan dengan cara pemancar dan penerima diletakkan di sisi yang berlawanan dari lokasi penelitian maka dari itu metode ini banyak digunakan di bawah tanah lokasi pertambangan salah satu contoh penerapannya adalah antenna pemancar diletakkan di bawah lubang bor dan salah satu antenna penerima diletakkan di permukaan (Reynold, 2011).

II.3.6 Prosesing Data

Data georadar direkam secara digital melalui instrumen yang digunakan. Setiap instrumen memiliki kekurangan masing-masing sehingga dibutuhkan pemrosesan data yang lebih lanjut. Beberapa filter dapat digunakan sesuai fungsinya masing-masing dan secara umum teknik pemrosesan yang digunakan sama dengan pemrosesan data seismik yang hampir tidak mengalami perubahan sedikitpun untuk memaksimalkan hasil data georadar (Milsom, 2003).

Penerapan filter yang digunakan sejalan dengan tujuan pemrosesan data yaitu menghilangkan *noise* yang terekam. Adapun beberapa proses yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut (Reynold, 2011) :

1. *Editing*

Editing digunakan untuk menghapus atau menyaring data yang memiliki kualitas tidak baik.

2. *Rubber-banding*

Rubber-banding digunakan untuk mengoreksi kenaikan kondisi spasial.

3. *Dewow*

Dewow digunakan untuk menghilangkan frekuensi rendah dan efek bias pada data.

4. *Time Zero Correction*

Time Zero Correction digunakan untuk mengoreksi waktu tempuh gelombang pertama di area permukaan.

5. *Filtering 1D dan 2D*

Filtering 1D dan 2D digunakan untuk merubah signal agar mengurangi *noise* pada data.

6. *Deconvolution*

Deconvolution digunakan untuk meningkatkan kontraksi sinyal refleksi.

7. *Velocity Analysis*

Velocity Analysis digunakan untuk menentukan nilai kecepatan gelombang radar yang melalui medium.

8. *Topographic Correction*

Topographic Correction digunakan untuk mengoreksi efek topografi yang tidak merata.

9. *Migration*

Migration digunakan untuk menghilangkan difraksi.

10. *Depth Conversion*

Depth Conversion digunakan untuk mengonversi tampilan *two-way travel* menjadi tampilan kedalaman.

11. *Display Gains*

Display Gains digunakan untuk meningkatkan visualisasi data.

12. *Image Analysis*

Image Analysis digunakan untuk pengenalan pola pada radargram.

13. *Attribute Analysis*

Attribute Analysis digunakan untuk mengubah data refleksi ke dalam besaran frekuensi

14. *Modelling Analysis*

Modelling Analysis digunakan untuk simulasi georadar yang menghasilkan radargram sintesis.

II.3.7 Visualisasi Data

Perkembangan proses visualisasi data telah mengikuti perkembangan dunia komputer pada saat ini sehingga data bisa disajikan dalam bentuk 3D secara umum. Hasil ini diperoleh dari pemrosesan yang dilakukan di komputer berupa migrasi maupun perbaikan signal yang diterapkan (Jol, 2009).

II.4 Utilitas Bawah Permukaan

Pembangunan di sebuah kota membuat jaringan utilitas bawah permukaan menjadi cukup kompleks. Hal ini menjadi tantangan untuk membuat sebuah pemetaan jaringan utilitas yang berguna untuk pembangunan kedepannya. Namun hal ini tidak mudah karena kemampuan interpretasi dari operator sangat subjektif bergantung pengalaman yang dimilikinya untuk memberikan informasi dari radargram hasil *B-scan* (Ali dkk, 2021).

Penentuan posisi dan pemetaan utilitas perkotaan menjadi salah satu pengaplikasian ilmu teknik sipil yang paling sulit dikarenakan respon hiperbolik yang didapatkan bisa berasal dari anomali yang berada di daerah penelitian dengan kontras dielektrik yang berbeda. Namun, metode ini menjadi efisien dalam proses pengambilan data skala besar dan memetakan utilitas secara 3D (Bachiri dkk, 2020).

II.5 Bahasa Pemrograman R

R merupakan bahasa pemrograman yang dilengkapi dengan kemampuan untuk mengubah, menghitung, dan menampilkan data. Fitur yang dimiliki mempunyai fungsi untuk menangani dan menyimpan data secara efektif. Sebagian operator yang dimiliki dapat digunakan untuk melakukan operasi perhitungan matriks. Fitur grafis digunakan untuk menampilkan data dengan kualitas baik di komputer.

Istilah lingkungan yang berada pada bahasa pemrograman R dimaksudkan sebagai suatu sistem yang terencana, bersifat koheren, dan tidak memerlukan penambahan alat yang spesifik sehingga lebih fleksibel dibandingkan perangkat lunak untuk analisis data lainnya. R memiliki kemampuan untuk melakukan metode analisis

data secara interaktif. Perkembangan yang pesat telah diperluas dengan perkembangan paket yang tersedia (Venables dan Smith, 2022).

Salah satu paket yang terdapat di bahasa pemrograman R adalah RGPR yang merupakan paket perangkat lunak sumber terbuka dan gratis untuk membaca, mengeksplor, menganalisis, memproses, dan memvisualisasikan data georadar. RGPR ditulis dalam bahasa R, bahasa pemrograman tingkat tinggi untuk komputasi statistik dan grafik yang tersedia secara gratis di bawah lisensi publik umum GNU yang mampu dioperasikan pada sistem operasi Linux, Windows, dan MacOS. Melalui sifatnya yang fleksibel, bahasa pemrograman R memiliki banyak pengguna yang sangat aktif. Hal ini dibuktikan terdapat lebih dari 10.000 paket yang telah dibuat di penyimpanan secara global yang dimiliki CRAN dan membuat bahasa R menempati posisi keenam sebagai bahasa pemrograman pada tahun 2017 oleh Institute of Electrical and Electronic Engineer (Huber dan Hans, 2018).