

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan dan kemajuan rekayasa geoteknik pada ke-21, peran pengujian metode geofisika semakin meningkat. Hal ini karena metode geofisika memiliki keunikan tersendiri termasuk dasar teori, kemampuan untuk melakukan pengukuran baik di lapangan maupun di laboratorium dan bersifat non-invasif. Selain itu, peran metode geofisika mampu menjawab tantangan-tantangan yang dialami dunia geoteknik. Tantangan-tantangan tersebut seperti infrastruktur yang sudah lama, konstruksi di daerah yang kritis/sensitif, daerah pengukuran yang terbatas, bangunan tanpa parit, dan tuntutan untuk menjaga lingkungan (Stokoe & Santamarina, 2000). Metode geofisika mampu menyajikan cakupan ruang lingkup pengukuran yang luas dengan waktu pengukuran yang lebih efektif dan biaya yang tidak terlalu mahal jika dibandingkan dengan metode pengukuran secara tradisional yaitu menggunakan metode *boring* (SPT-N, CPT, dsb) (Williams dkk., 2003). Kendati demikian, metode geofisika sebagai alternatif pengganti tidak dapat diartikan menggantikan metode tradisional geoteknik sepenuhnya dalam menentukan parameter geoteknik sebuah area (Anda dkk., 2021). Hal ini karena dengan adanya hasil pengukuran dengan metode tradisional (*boring*) kita dapat melakukan perbandingan dan validasi hasil pengukuran metode geofisika.

Salah satu metode geofisika yang sering digunakan dalam dunia geoteknik yaitu metode yang memanfaatkan data mikrotremor. Data mikrotremor digunakan untuk menggambarkan kondisi bawah permukaan bumi. Metode ini memanfaatkan getaran alami bumi atau biasa disebut dengan aktivitas mikrotremor. Aktivitas mikrotremor memiliki frekuensi sekitar 0.5 – 10 Hz dan terjadi secara terus menerus serta saling beresonansi dengan *amplitude displacement* sekitar 0,1-1 mikrometer dan *amplitude velocity* 0,001-0,01 cm/ss (Mirzaoglu & Dýkmen, 2003). Getaran alami bumi ini dapat bersumber dari alam seperti gelombang laut, angin, atmosfer, dan aktivitas manusia seperti lalu lintas, mesin-mesin industri dan lain-lain (Konno & Ohmachi, 1998).

Di dalam pengukuran data mikrotremor salah satu parameter yang digunakan atau diperlukan adalah kecepatan gelombang geser atau *shear wave velocity* (V_s). Kecepatan gelombang geser (V_s) merupakan parameter penting untuk menggambarkan tingkat kekerasan tanah di bawah permukaan. Hal ini dapat digunakan untuk mengetahui respon lokasi terhadap aktivitas seismik, kekuatan



jifaksi, kepadatan tanah, material bawah permukaan atau stratigrafi tanah (Dehghanian dkk., 2022). Untuk mendapatkan nilai gelombang geser suatu daerah kita dapat menggunakan beberapa metode geofisika yang bersifat pasif seperti *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr), *Horizontal to Vertical Time-Frequency Analysis* (HVTF), *Array Measurement* (MAM) dan *Spatial Auto Correlation* (SAC), (2021). Selain menggunakan metode geofisika pasif, kita juga

dapat menggunakan metode geofisika non-in pasif, seperti analisis spektral gelombang permukaan (SASW), analisis gelombang permukaan multi saluran (MASW), mikrotremor refraksi (ReMi) juga dapat memperkirakan Vs di lokasi (Daag dkk., 2022).

Dalam dunia geoteknik yang memanfaatkan data mikrotremor, metode geofisika yang sering digunakan untuk memperoleh nilai kecepatan gelombang geser (Vs) yaitu metode HVTFA dan SPAC. Metode *Horizontal to Vertical Time-Frequency Analysis* (HVTFA) bertujuan untuk meminimalisir efek gelombang *love* pada kurva eliptisitas sehingga kurva eliptisitas yang didapatkan berupa kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh*. Pengukuran rasio pada metode HVTFA tidak melibatkan semua spektrum dari komponen horizontal dan vertikal dari data mikrotremor (Syafitri dkk., 2022). Sedangkan *Spatial Autocorrelation* (SPAC) adalah metode analisis untuk mengukur korelasi spasial antara sinyal mikrotremor antar-stasiun dalam array. SPAC dilakukan dengan cara mengukur komponen vertikal gelombang permukaan dengan mengasumsikan bahwa komponen vertikal tersebut merupakan gelombang *Rayleigh* (Mukhbitah dkk., 2024). Salah satu contoh penggunaan metode SPAC untuk mendapatkan nilai Vs yaitu di Kota Palu yang digunakan untuk mengetahui tingkat kerentanan tanah terhadap liquifaksi (Tohari dkk., 2022).

Selain menggunakan metode geofisika pasif maupun non-in pasif, Vs juga dapat diperoleh dari metode geoteknik *boring*. Dimana dalam data bor akan didapatkan nilai N dari uji penetrasi standar (SPT) seperti yang dilakukan di Kota Palu (JICA, 2019). Nilai SPT-N yang didapatkan dapat di ubah menjadi nilai Vs berdasarkan hubungan korelasi empiris yang dikemukakan oleh beberapa ahli geoteknik (Dehghanian dkk., 2022). Dalam penelitian ini metode yang digunakan untuk menggambarkan nilai gelombang geser adalah metode mikrotremor, SPAC, dan data bor. Dari profil Vs nantinya akan disandingkan untuk menjadi perbandingan dalam menilai korelasi hasil pengukuran metode mikrotremor dengan data bor dan hasil pengukuran metode mikrotremor dengan metode SPAC.

1.2 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengestimasi profil kecepatan gelombang geser (Vs) bawah permukaan menggunakan metode inversi eliptisitas gelombang *Rayleigh* dengan pendekatan HVTFA.
2. Membandingkan hasil estimasi profil Vs eliptisitas gelombang *Rayleigh* pendekatan HVTFA dengan metode SPAC dan nilai SPT-N dari data bor untuk menggambarkan karakteristik bawah permukaan.



ian

diperoleh dari penelitian ini adalah tingkat akurasi data metode HVTFA dalam memetakan struktur geologi dan kondisi ukaan.

1.4 Landasan Teori

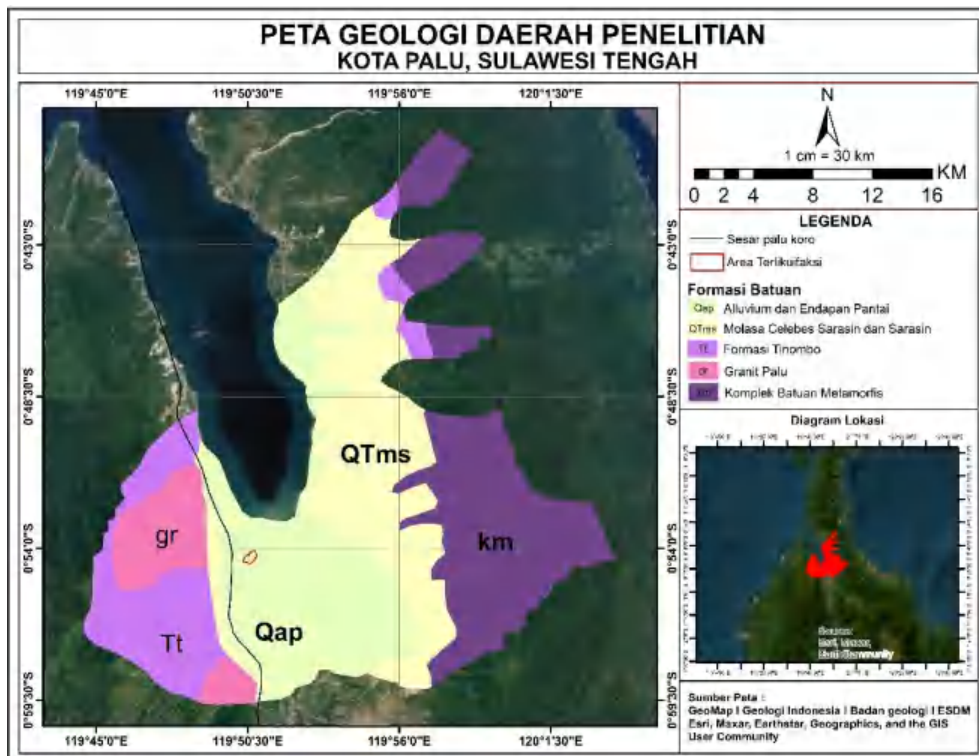
1.4.1 Geologi Regional

Berdasarkan Peta Geologi Tinjau Lembar Palu, Sulawesi dengan skala 1:250.000 yang dibuat oleh RAB. Sukanto pada tahun 1973, wilayah administrasi Kota Palu memiliki kondisi geologi regional yang terdiri dari 5 formasi batuan, yaitu formasi Alluvium dan Endapan Pantai (Qap), formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin (QTms), formasi Tinombo (Tt), formasi Granit Palu (gr), dan Komplek Batuan Metamorfis (km) seperti pada **gambar 1**. Formasi batuan yang mendominasi geologi regional Kota Palu yaitu formasi Aluvium dan endapan pantai (Qap) dan formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin (QTms). Formasi Aluvium dan endapan pantai (Qap) merupakan formasi batuan yang di dominasi oleh batuan berupa kerikil, pasir, lumpur, dan batugamping koral. Proses pembentukannya berada di lingkungan sungai, delta, dan laut dangkal. Formasi batuan ini merupakan sedimen termuda yang berumur Holosen. Kondisi formasi aluvium dan endapan pantai (Qap) umumnya belum mengalami kompaksi dan memiliki bentuk yang berbukit-bukit rendah. Sedangkan formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin (QTms) memiliki bentuk yang tidak selaras dengan Formasi Tinombo dan Kompleks batuan metamorfis dan berada pada ketinggian yang rendah pada sisi-sisi pematang. Formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin (QTms) mengandung rombakan material yang berasal dari formasi yang memiliki umur lebih tua seperti material batuan konglomerat, batupasir, baulumpur, batugamping koral, dan napal yang memiliki kekerasan yang rendah. Untuk batuan batugamping dan napal pada formasi ini mengandung beberapa fosil dari makhluk hidup seperti *Operculina sp*, *Cycloclypeus sp*, *Rotalia sp*, *Orbulina universa*, *Amphistegina sp*, *Miliolidae*, *Globigerina*, *Foraminifera pasiran*, *ganggang gampingan*, *pelesipoda*, dan *gastropoda*. Berdasarkan fosil yang ditemukan pada batuan formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin (QTms) menunjukkan bahwa formasi ini berumur Pliosen-Plistosen (Badan Geologi, 2018).

Selain formasi Alluvium dan Endapan Pantai (Qap) dan formasi Molasa Celebes Sarasin dan Sarasin (QTms), berdasarkan **gambar 1** Kota palu juga memiliki formasi Tinombo (Tt), formasi Granit Palu (gr), dan Komplek Batuan Metamorfis (km). Formasi Tinombo (Tt) terdiri dari material seperti serpih, batupasir, konglomerat, batuan vulkanik, batugamping, rijang termasuk filit, sabak, dan kuarsit (Adni Pesma & Sitanggang, 2024). Formasi Granit palu (gr) merupakan formasi batuan yang terbentuk karena adanya intrusi batuan granit yang menerobos kompleks batuan metamorfis dan formasi Tinombo yang diperkirakan berumur Oligosen. Sedangkan



dan Metamorfis (km) merupakan formasi batuan tertua yang yang tersingkap di pematang timur sebagai intinya. Kompleks imfibolit, sekis, gneiss, dan pualam. Sekis yang tersingkap pada awesi berumur Paleozoikum (Sukanto, 1973).



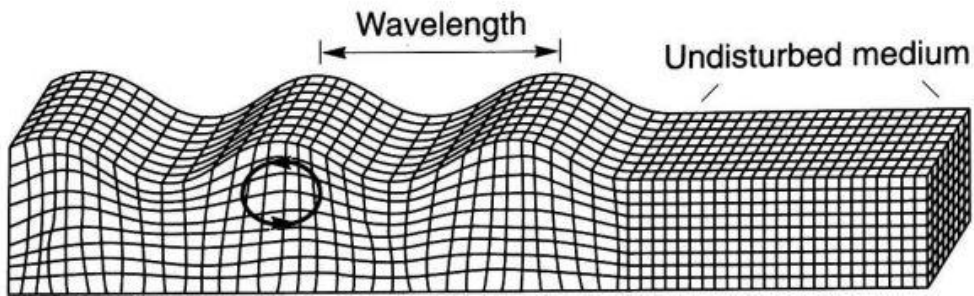
Gambar 1. Peta Geologi Palu (Sukanto, 1973)

1.4.2 Eliptisitas Gelombang *Rayleigh*

Salah satu gelombang seismik yang dimanfaatkan dalam data mikrotremor yaitu gelombang *Rayleigh* yang terukur menggunakan sensor seismik tunggal dengan tiga komponen yaitu komponen horizontal *north-south*, komponen horizontal *east-west*, dan komponen vertikal *up-down*. Gelombang *Rayleigh* merupakan salah satu gelombang permukaan yang terbentuk akibat adanya interferensi gelombang P dan S yang sudut datangnya lebih besar dari sudut kritisnya. Bentuk gerakan partikel ketika dilewati oleh gelombang ini berbentuk elips dimana merupakan kombinasi dari gerak partikel gelombang P dan SV seperti pada **gambar 2**. Perbedaan rasio dari gerakan partikel yang bergerak vertikal dan horizontal inilah yang disebut eliptisitas gelombang *Rayleigh* (Hobiger dkk., 2013). Eliptisitas gelombang *Rayleigh* telah banyak dimanfaatkan untuk menentukan struktur bawah permukaan. Dalam metode ini mengasumsikan bahwa bentuk kurva H/V sebagian besar di dominasi oleh



an dalam hal ini gelombang *Rayleigh* (Irfan Ullah, 2017). Pada eliptisitas gelombang *Rayleigh* digunakan untuk memperoleh gelombang geser (V_s) melalui proses inversi. Hasil inversi amplitudo yang digunakan mendekati nilai data observasi melalui gan. Tingkat keakuratan hasil proses inversi dapat dilihat dari Semakin kecil nilai misfit yang didapatkan dalam proses iterasi gelombang geser semakin baik (Syafitri et al., 2022).



Gambar 2. Ilustrasi Gelombang *Rayleigh* (Shoushtari, 2016)

1.4.3 Metode HVTFA (*Horizontal to Vertical Time Frequency Analysis*)

Metode *Horizontal to Vertical Time-Frequency Analysis* (HVTFA) digunakan untuk mengekstraksi kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh* dan mengurangi efek gelombang *love* dan gelombang *body* dari data mikrotremor yang diolah. Hasil ekstraksi kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh* berupa nilai kecepatan gelombang geser (V_s). Metode HVTFA mengubah komponen sinyal dari domain waktu menjadi sinyal dalam domain waktu-frekuensi. Representasi dari komponen horizontal dan vertikal dapat dihitung menggunakan *Continuous Wavelet Transform* (CWT). Dalam CWT, transformasi wavelet dari fungsi $x(t)$ terhadap wavelet $\psi(t)$ dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$CWT_{\{x\}(a,b)} = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) \cdot dt \quad (1)$$

Dimana a merupakan parameter dilatasi dan b parameter translasi, ψ^* adalah konjugat kompleks dari fungsi wavelet. Jika t adalah waktu, maka a berbanding terbalik dengan frekuensi dan b parameter translasi dalam waktu. Fungsi $\psi(t)(a,b)$ didefinisikan pada persamaan (2) yang dihasilkan dengan menskalakan dan mentransaksikan wavelet $\psi(t)$ sehingga membentuk sekumpulan wavelet analisis. Lebar wavelet analisis dalam domain waktu atau spektral berbanding dengan a . Serangkaian fungsi ini disebut sebagai *wavelet family*.

$$\psi(t)_{(a,b)} = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi \left(\frac{t-b}{a} \right), (a, b \in \mathbb{R}, a \neq 0) \quad (2)$$

Kemudian representasi untuk wavelet dari kedua komponen horizontal digabung menjadi satu (CWT_H) dengan persamaan berikut:

$$|CWT_H| = \sqrt{CWT_{NS}^2 + CWT_{EW}^2} \quad (3)$$

CWT_{EW} merupakan kompleks dari CWT untuk semua komponen yang digunakan dalam analisis HVTFA ada beberapa algoritma untuk menghapus nilai rata-rata dari sinyal yang tidak berubah atau memiliki frekuensi (Komponen DC) pada ketiga komponen,



spektrum fourier, dan modifikasi wavelet Morlet dalam domain frekuensi (Atashband & Esfahanizadeh, 2012).

Pemilihan parameter *wavelet* dalam metode HVTFA sangat penting. Hal ini karena parameter *wavelet* Morlet merupakan nilai nondimensional (tanpa satuan) yang menentukan jumlah siklus dalam gelombang *wavelet* Morlet sebelum mengalami peredaman. Nilai parameter *wavelet* yang disarankan pada kisaran 4-16 untuk mendapatkan keseimbangan yang baik antara resolusi waktu dan frekuensi serta memastikan hasil analisis yang optimal dalam identifikasi mode fundamental gelombang *Rayleigh* dalam rentang frekuensi 0.5 – 15 Hz. Visualisasi kurva eliptisitas akan ditampilkan pada *Max2curve* yang memiliki fungsi membaca, memfilter dan menampilkan histogram dengan jumlah Nppm (*Number of peaks per minute*) yang dipilih per menit kisaran 5 atau lebih rendah sehingga dapat mengidentifikasi bagian stabil kurva eliptisitas model fundamental (Fäh dkk., 2009).

1.4.4 Inversi Kurva Eliptisitas Gelombang *Rayleigh*

Untuk mendapatkan kurva eliptisitas gelombang selanjutnya adalah inversi. Inversi kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh* dilakukan untuk memperoleh parameter fisis, seperti kedalaman lapisan bawah permukaan, kecepatan gelombang primer (V_p), densitas (ρ), dan kecepatan gelombang geser (V_s) (Fadhilah et al., 2022). Dalam proses inversi untuk meminimalkan misfit antara puncak frekuensi kurva eliptisitas dengan mode fundamental teoritis RWE (*Rayleigh wave ellipticity*) untuk setiap model yang dihasilkan dengan nilai yang bervariasi dari V_p , V_s , dan ρ pada kedalaman tertentu. Persamaan untuk meminimalkan misfit dari model yang didapatkan yaitu persamaan berikut:

$$Misfit = \frac{(f)_{observed} - (f)_{modelled}}{(df)_{observed}} \quad (4)$$

Dimana $(f)_{observed}$ merupakan puncak frekuensi observasi, $(df)_{observed}$ adalah standar deviasi, dan $(f)_{modelled}$ merupakan puncak frekuensi model fundamental RWE yang dirumuskan pada persamaan berikut:

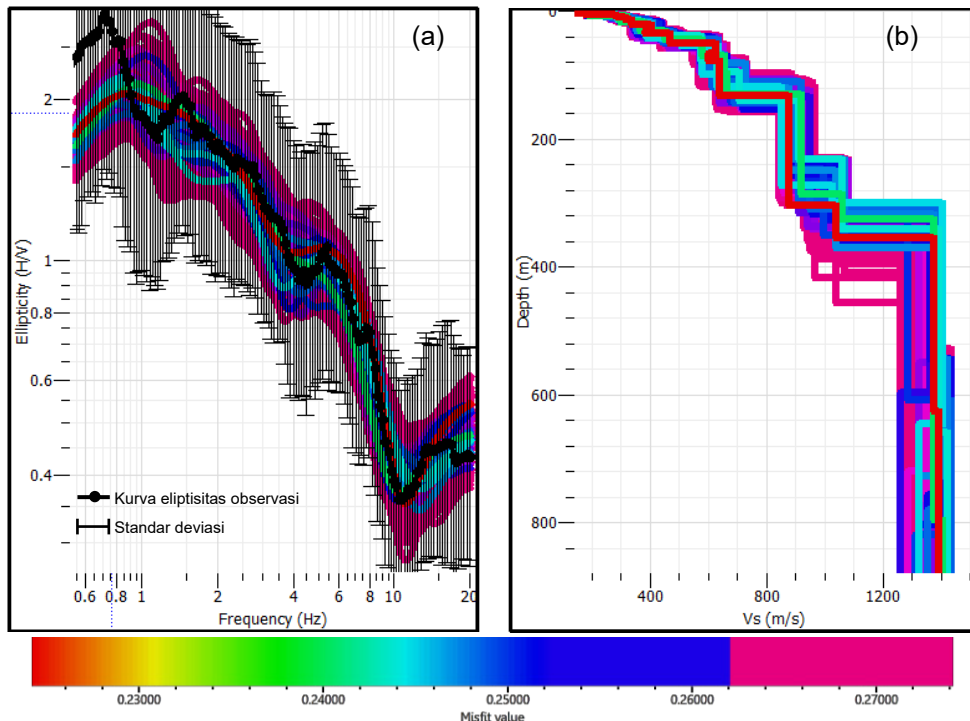
$$RWE = 2 \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{V_R}{V_S}\right)^2}}{2 - \left(\frac{V_R}{V_S}\right)^2} \quad (5)$$

Dimana V_R adalah kecepatan gelombang *Rayleigh* dalam satuan m/s dan V_s adalah kecepatan gelombang geser dalam m/s. Dalam proses inversi, *software dinver* akan menghasilkan kurva eliptisitas model fundamental RWE untuk setiap model dan membandingkannya dengan kurva eliptisitas observasi yang sesuai sehingga diperoleh profil V_s dengan nilai misfit yang kecil (Layadi et al., 2018).



software dinver merupakan model awal untuk menggambarkan karakteristik kurva eliptisitas pada suatu tempat seperti halnya V_p , *poisson ratio*, dan *rock*

density (Sunardi, 2019). Beberapa parameter awal tersebut akan berpengaruh dalam proses iterasi pendekatan kurva atau model yang aktual. Semakin kecil nilai inialisasi kondisi lapangan maka semakin baik model yang dihasilkan. Untuk mendapatkan nilai misfit minimal, proses inversi didasarkan pada algoritma Neighborhood (Sambridge, 1999). Jika nilai misfit yang dihasilkan masih tinggi ($>0,3$) maka perlu dilakukan perubahan pada parameter model awal. Misfit dengan nilai terendah ($0 \leq \text{misfit} \leq 0,3$) akan digunakan sebagai model terbaik (Sunardi, 2019).



Gambar 3. (a) Kurva eliptisitas dan (b) profil kecepatan gelombang geser

Pada **gambar 3** menunjukkan hasil pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVTFA untuk memperoleh kurva eliptisitas kemudian dilakukan proses inversi untuk memperoleh profil kecepatan gelombang geser. Kedua model gambar hasil pengolahan data memiliki warna sesuai dengan nilai misfitnya. Hasil inversi dengan misfit yang mendekati kurva eliptisitas berwarna merah sedangkan warna lainnya merupakan keseluruhan dari misfit yang didapatkan.

1.4.4 Korelasi Antara Kecepatan Gelombang Geser (V_s) dan SPT-N



elitian, nilai N dikoreksi menggunakan analisis regresi untuk i gelombang geser yang lebih akurat daripada percobaan n. Namun, secara ekonomi investigasi bawah permukaan SPT-N untuk mendapatkan nilai V_s sangat tidak efisien (Naik analisis yang digunakan dalam korelasi ini yaitu analisis regresi dapat dilihat pada rumus dibawah ini.

$$V_s = aN^b \quad (6)$$

Berdasarkan rumus empiris di atas, hubungan antara V_s dan SPT-N telah banyak dikembangkan oleh para peneliti dengan mengembangkan korelasi antara V_s dan nilai penetrasi standar (N) untuk berbagai jenis tanah, seperti tanah liat, pasir, lanau dan semua jenis tanah di beberapa lokasi yang berbeda (Jhinkwan dkk., 2016). Hubungan korelasi antara keduanya dari beberapa penelitian dapat dilihat pada **tabel 1**.

Tabel 1. Korelasi antara kecepatan gelombang geser (V_s) dan ketahanan penetrasi standar (SPT-N) berdasarkan jenis tanah.

Penulis	Semua Jenis Tanah	Pasir	Lanau	Lempung
Kanai (1996)	$19N^{0.6}$	-	-	-
Shibata (1970)	-	$31.7N^{0.54}$	-	-
Imai and Yoshimura (1970)	$76N^{0.33}$	-	-	-
Ohba and Tpriumi (1970)	$84N^{0.31}$	-	-	-
Ohta dkk (1972)	-	$87.2N^{0.36}$	-	-
Fujiwara (1972)	$92.1N^{0.337}$	-	-	-
Ohsaki dan Iwasaki (1973)	$81.4N^{0.39}$	-	-	-
Imai dkk (1975)	$89.9N^{0.314}$	-	-	-
Imai (1997)	$91N^{0.337}$	$80.6N^{0.331}$	-	$80.2N^{0.292}$
Ohta dkk (1978)	$85.35N^{0.348}$	-	-	-
Seed dan Idriss (1981)	$61.4N^{0.5}$	-	-	-
Imai dan Tonouchi (1982)	$96.9N^{0.314}$	-	-	-
Seed dkk (1983)	-	$56.4N^{0.5}$	-	-
Sykora dan Stokoe (1983)	-	$100.5N^{0.29}$	-	-
Fumal dan Tinsley (1985)	-	$152 + 51N^{0.27}$	-	-
Tonouchi dkk (1983)	$97N^{0.314}$	-	-	-
Jinan (1987)	$116(N+0.3185)^{0.6}$	-	-	-
Okamoto dkk (1989)	-	$125N^{0.3}$	-	-
Lee (1990)	-	$57.4N^{0.49}$	$105.64N^{0.319}$	$114.43N^{0.31}$
Athanasopoulos (1995)	$107.6N^{0.36}$	-	-	$76.55N^{0.445}$
Yokota dkk (1981)	$121N^{0.27}$	-	-	$114N^{0.31}$
Kalteziotis dkk (1992)	$76.2N^{0.24}$	-	-	-
Pitilakis dkk (1992)	-	$162N^{0.17}$	-	-
	-	$100.7N^{0.24}$	-	-
	$32.8N^{0.51}$	-	-	-
	$51.5N^{0.516}$	-	-	-
	-	$175 + (3.75N)$	-	-
	$22N^{0.85}$	-	-	-



Pitilakis dkk (1999)	-	$145(N_{60})^{0.178}$	-	$132(N_{60})^{0.27}$
Kiku dkk (2001)	$68.3N^{0.292}$	-	-	-
Jafari dkk (2002)	-	-	$22N^{0.77}$	$27N^{0.73}$
Hasancebi dan Ulusay (2007)	$90N^{0.309}$	$90.82N^{0.319}$	-	$97.89N^{0.269}$
Hasancebi dan Ulusay (2007)	$104.8 (N_{60})^{0.26}$	$131 (N_{60})^{0.205}$	-	$107.6(N_{60})^{0.237}$
Dikmen (2009)	$58N^{0.39}$	$73N^{0.33}$	$60N^{0.36}$	$44N^{0.48}$
Uma Maheswari dkk (2010)	$95.64N^{0.301}$	$100.53N^{0.265}$	-	$89.3N^{0.358}$
Fauzi (2014)	$105.03N^{0.286}$	-	-	-
Daag dkk (2022)	$56.82N^{0.4861}$	$45.07N^{0.5534}$	-	$70.26N^{0.4420}$

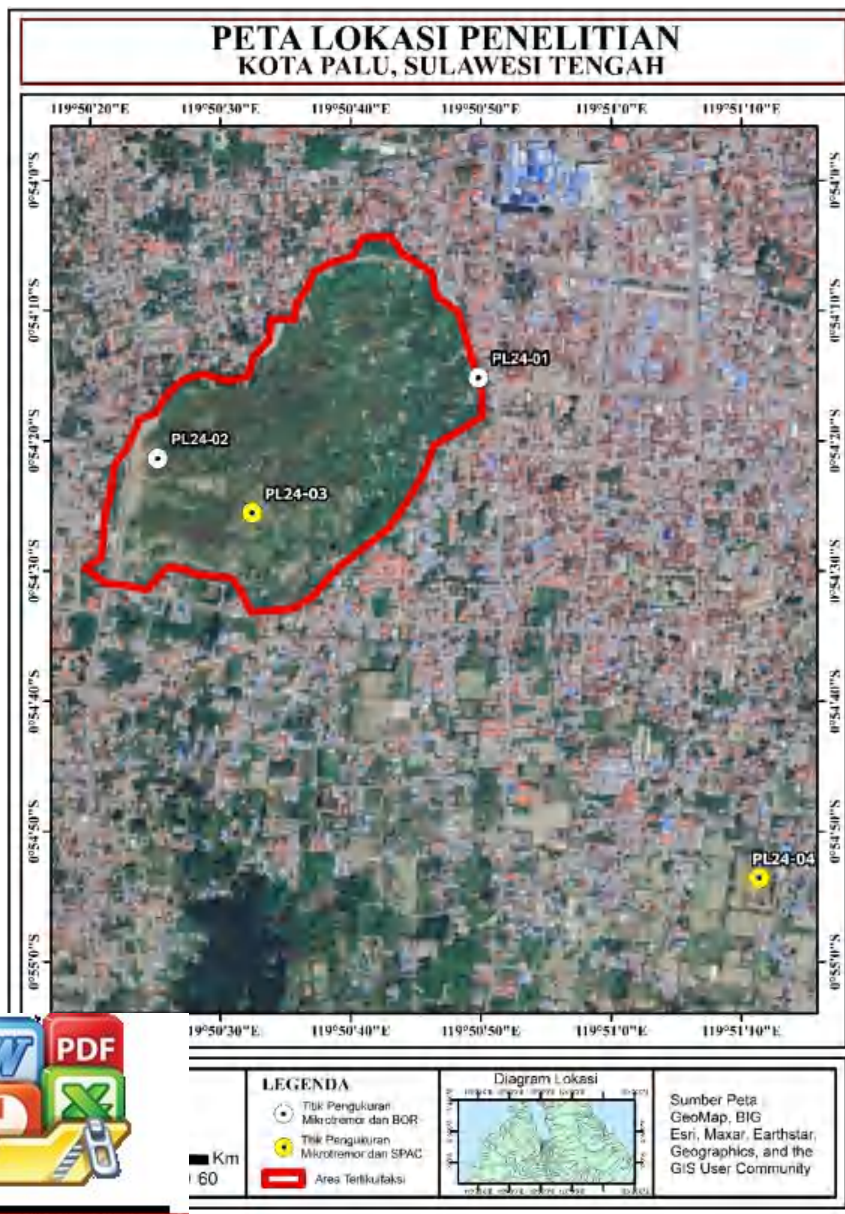
Dari **tabel 1**, dapat diamati bahwa terdapat perbedaan korelasi dari para peneliti. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi geologi suatu daerah dan juga kesalahan dalam pengukuran nilai SPT dan kecepatan gelombang geser (V_s). Dalam penelitian ini, korelasi empiris yang digunakan yaitu korelasi dari Daag pada tahun 2022 dimana korelasi nya memiliki nilai koefisien regresi $R^2 = 0.7515$ yang menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara nilai V_s dan SPT-N.



BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan sejak bulan Mei 2024 dengan melakukan studi literatur mengenai kondisi geologi daerah penelitian, metode yang digunakan, data bor yang telah ada, proses akuisisi data, dan pengolahan data. Lokasi penelitian terletak di Kota Palu, Sulawesi Tengah dengan beberapa titik pengukuran.



Gambar 4. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Metode Pendekatan dan Jenis Data

Secara umum, hal pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah studi literatur mengenai lokasi penelitian dan pembuatan desain survei. Studi literatur sangat penting, hal ini karena survei yang dilakukan membutuhkan aspek-aspek penting dalam menentukan parameter pendukung untuk memaksimalkan hasil dari penelitian. Selain itu, dengan adanya studi literatur akan membantu mempermudah dalam proses interpretasi hasil pengukuran.

Adapun jenis data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil akuisisi lapangan menggunakan metode mikrotremor stasiun tunggal tiga komponen. Sedangkan data sekunder yang digunakan berupa data bor (SPT-N) yang diperoleh dari *website* openjicareport.jica.go.jp dan profil Vs metode SPAC dari *jurnal Understanding of flow liquefaction phenomena in Palu City from shear wave velocity profiles*. Data primer dan data sekunder diolah untuk mendapatkan profil Vs kemudian profil dari data mikrotremor disandingkan dengan profil Vs dari data bor dan metode SPAC.

2.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

2.3.1 Alat

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*). Adapun perangkat yang digunakan sebagai berikut.

a. Perangkat Keras (*Hardware*)

- 1) Seismometer tipe MBB-2 (*Miniature Broadband Seismometer*) berfungsi sensor untuk mengukur getaran tanah atau mikrotremor.
- 2) Q8, berfungsi sebagai digitizer yang mencatat dan mengubah sinyal analog ke sinyal digital.
- 3) *Global Positioning System* (GPS) yang terhubung dengan *digitizer*, berfungsi untuk menentukan waktu pada titik pengambilan data mikrotremor.
- 4) *Global Positioning System* (GPS) *Handheld* tipe *Garmin Monterra* digunakan untuk menentukan koordinat titik pengukuran.
- 5) Kompas, digunakan untuk menentukan arah mata angin ketika memasang seismometer
- 6) Laptop, digunakan untuk akuisisi dan analisis data mikrotremor
- 7) Lembar catatan akuisisi data mikrotremor untuk mencatat kondisi lapangan saat melakukan pengukuran.



Software)

an program yang digunakan untuk akuisisi data mikrotremor MINI SEED (.msd).

3.4.2, digunakan untuk mengolah data hasil akuisisi lapangan *ice 2016*, terdiri dari *Ms. Word 2016* untuk menyusun laporan dan *Ms. Excel 2016* yang digunakan untuk melakukan pengolahan data yang diperoleh dari aplikasi *Geopsy*.

2.3.2 Bahan

1. Data primer berupa data mikrotremor hasil akuisisi lapangan
2. Data sekunder berupa data bor yang diperoleh dari *website* openjicareport.jica.go.jp. dan profil gelombang geser dari jurnal *Understanding of flow liquefaction phenomena in Palu City from shear wave velocity profiles*. E3S Web of Conferences

2.4 Pengolahan Data

2.4.1 Pengolahan Data Lapangan

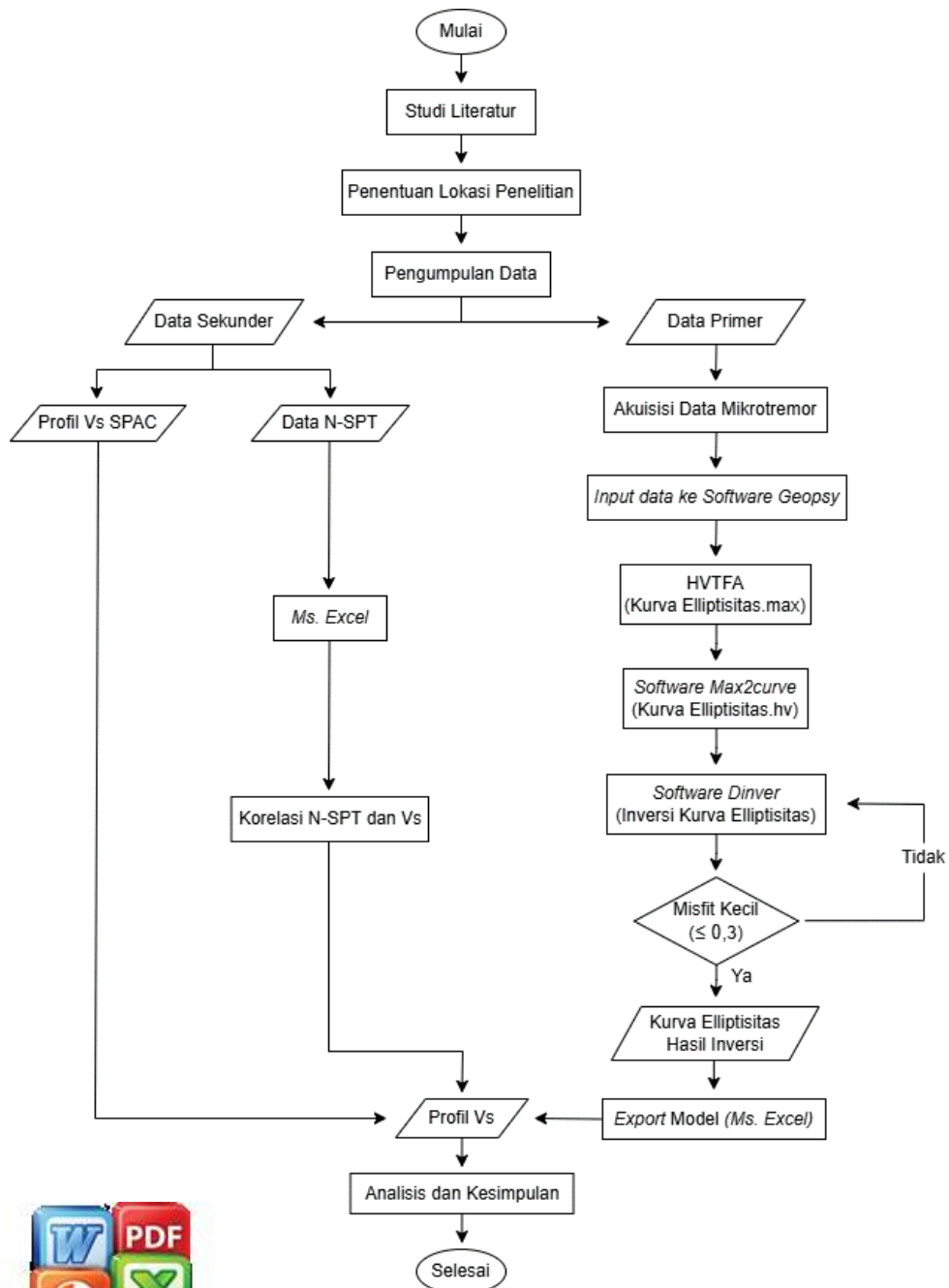
Penelitian diawali dengan proses akuisisi data lapangan dengan menggunakan metode mikrotremor kemudian melakukan pengolahan data baik data metode mikrotremor maupun nilai SPT-N yang di dapatkan dari data bor. Pengolahan data metode mikrotremor menggunakan *software Geopsy* metode *ellipticity curve* untuk mendapatkan hasil inversi menggunakan fitur HVTFA yang selanjutnya diproses menggunakan *software max2curve* dan *dinver* untuk sehingga memperoleh kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh*. Dari kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh* diperoleh nilai V_p , V_s , dan densitas material bawah permukaan titik pengukuran. Selanjutnya nilai V_s yang didapatkan dari kurva eliptisitas gelombang *Rayleigh* diolah menggunakan *Ms. Excel* untuk menggambarkan profil V_s bawah permukaan. Nilai SPT-N yang didapatkan dari data bor diubah menjadi nilai V_s dengan menggunakan rumus hubungan empiris, nilai V_s yang diperoleh disajikan dalam bentuk grafik. Profil V_s data SPAC dan SPT-N disandingkan dengan profil V_s mikrotremor kemudian dilakukan analisis.

2.4.2 Analisis dan Interpretasi Data

Hasil yang didapatkan dalam penelitian ini adalah profil V_s baik dari mikrotremor, SPAC, dan *boring*. Profil yang telah didapatkan kemudian di dibandingkan untuk mengetahui tingkat keakuratan metode mikrotremor dalam melakukan pemetaan kondisi material bawah permukaan. Perbedaan nilai V_s pada kedalaman tertentu akan mempengaruhi perubahan profil yang didapatkan hal ini karena material bawah permukaan memiliki perbedaan nilai V_s setiap jenis.



2.5 Bagan Alir Penelitian



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian

