

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kabupaten Magelang, Jawa Tengah, memiliki potensi sumber daya panas bumi yang berkaitan dengan keberadaan Gunung Sumbing dan Gunung Merbabu sebagai bagian dari deretan gunung api aktif di Jawa menurut Hamilton (1979). Aktivitas vulkanisme kedua gunung tersebut membentuk kondisi geologi regional yang didominasi oleh satuan batuan vulkanik, yang berperan dalam mengontrol sistem hidrotermal dan kemunculan manifestasi panas bumi berupa mata air panas di beberapa lokasi. Keberadaan manifestasi tersebut menunjukkan adanya interaksi antara sumber panas, fluida, serta struktur geologi yang berkembang pada skala lokal hingga regional. Gunung Sumbing sebagai salah satu pusat aktivitas vulkanik di kawasan ini merupakan stratovulkano dengan produk vulkanik berkomposisi andesit hingga basalt yang berkembang sebagai material piroklastik serta aliran dan kubah lava (Erlinawati dkk., 2023).

Salah satu manifestasi tersebut berada di Dusun Dimanjar, Desa Sumberarum, Kecamatan Tempuran, berupa mata air panas yang dimanfaatkan sebagai pemandian oleh masyarakat. Pemanfaatan ini berkontribusi pada aspek ekonomi dan kesehatan masyarakat, misalnya sebagai terapi tradisional untuk keluhan kulit dalam kajian oleh Syarifah dkk. (2021). Namun, pemanfaatan energi panas bumi di kawasan ini masih terbatas pada penggunaan langsung (*direct use*) berupa pemandian air panas oleh masyarakat setempat, dan belum diarahkan pada bentuk pemanfaatan lain sebagaimana di beberapa wilayah yang telah mengembangkan pemanfaatan berskala lebih besar, seperti pembangkit listrik, sistem pengeringan hasil pertanian, atau instalasi budidaya (Wibowo dkk., 2021).

Meskipun manifestasi air panas telah teridentifikasi di berbagai wilayah, kajian ilmiah yang secara khusus menjelaskan karakteristik fisik manifestasi serta kondisi bawah permukaan yang mengontrol kemunculannya masih terbatas. Informasi mengenai struktur geologi bawah permukaan, jalur pergerakan fluida,

dan zona prospek air panas sering kali belum tercatat dengan baik. Keterbatasan tersebut menunjukkan perlunya studi yang mampu menggambarkan kondisi bawah permukaan secara terukur sebagai dasar evaluasi potensi panas bumi dan pengembangan pemanfaatannya secara berkelanjutan, sekaligus memperkuat temuan penelitian sebelumnya.

Dalam konteks kawasan Tempuran, khususnya Umbul Banyu Roso, kondisi tersebut semakin nyata. Meskipun kajian geologi regional telah mengidentifikasi stratigrafi dan litologi penyusun wilayah ini, informasi yang tersedia masih bersifat umum dan belum mampu menggambarkan karakter bawah permukaan secara detail. Padahal, pemahaman mengenai struktur dan sifat fisis bawah permukaan merupakan aspek penting untuk menjelaskan mekanisme kemunculan manifestasi panas bumi. Kekosongan data inilah yang menjadi celah ilmiah utama yang mendorong perlunya penelitian lebih lanjut di kawasan ini. Dengan demikian, diperlukan pendekatan yang mampu mengkarakterisasi variasi sifat fisis lapisan dangkal hingga menengah yang berperan dalam pengontrol kemunculan manifestasi panas bumi di Umbul Banyu Roso.

Karakterisasi bawah permukaan pada sistem panas bumi secara umum dapat dilakukan melalui berbagai metode geofisika, seperti geolistrik resistivitas, magnetik, gravitasi, maupun seismik aktif. Setiap metode memiliki keunggulan dan keterbatasan, serta umumnya memerlukan peralatan khusus, sumber energi buatan, atau cakupan survei yang luas. Pada kawasan dengan keterbatasan akses dan sensitivitas lingkungan, penerapan metode-metode tersebut tidak selalu optimal. Kondisi ini menuntut pemilihan metode alternatif yang tetap mampu memberikan gambaran bawah permukaan secara representatif dengan tingkat gangguan lingkungan yang minimal.

Salah satu pendekatan yang relevan adalah metode mikrotremor dengan analisis *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Mikrotremor merupakan getaran alami tanah beramplitudo sangat kecil yang berlangsung terus-menerus dan bersumber dari aktivitas alam maupun manusia menurut Kanai (1983). Getaran ini dimanfaatkan dalam analisis *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (HVSr), yang

menghasilkan kurva rasio spektral untuk menentukan frekuensi dominan dan faktor amplifikasi sebagai representasi respons dinamis tanah menurut Nakamura (1989). Parameter tersebut berkaitan dengan ketebalan sedimen dan kontras sifat fisis antar lapisan, sehingga melalui proses inversi dapat digunakan untuk memperkirakan karakteristik bawah permukaan secara umum menurut Arai & Tokimatsu (2004). Sebagai salah satu pendekatan geofisika, metode mikrotremor mampu memberikan gambaran awal kondisi bawah permukaan tanpa melalui prosedur survei invasif, seperti pengeboran eksplorasi, penggalian tanah, atau penggunaan sumber energi buatan yang berpotensi mengganggu kondisi lingkungan setempat. Karakteristik metode yang relatif cepat dan efisien menjadikan analisis HVSR relevan untuk mendukung tahap eksplorasi awal panas bumi. Dalam penelitian ini, interpretasi hasil HVSR difokuskan pada kedalaman dangkal hingga menengah sesuai dengan keterbatasan dan karakteristik metode, sehingga analisis yang dilakukan tidak dimaksudkan untuk menginterpretasi sistem reservoir panas bumi secara langsung.

Dalam sistem hidrotermal, analisis HVSR tidak hanya berperan dalam karakterisasi dinamis tanah, tetapi juga sensitif terhadap perubahan litologi dan kontras sifat mekanik batuan yang berkaitan dengan keberadaan sesar atau zona lemah struktural. Variasi lateral nilai frekuensi dominan (f_0) dan faktor amplifikasi (A_0) terbukti mampu merepresentasikan diskontinuitas bawah permukaan yang berfungsi sebagai jalur migrasi fluida. HVSR mampu menunjukkan distribusi kecepatan gelombang geser (V_s) yang menginformasikan tingkat kekakuan material. Zona dengan nilai V_s rendah umumnya diinterpretasikan sebagai material terdeformasi atau zona rekahan yang secara konseptual menjadi jalur pergerakan fluida panas menuju permukaan. Dalam konteks panas bumi, parameter f_0 , A_0 , dan V_s digunakan sebagai indikator tidak langsung untuk mengidentifikasi keberadaan struktur geologi dangkal yang berpotensi mengontrol kemunculan manifestasi panas bumi.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode HVSR efektif dalam memetakan struktur pengontrol manifestasi panas bumi. Arintalofa dkk. (2020) mengidentifikasi sesar normal sebagai jalur migrasi fluida panas bumi di

wilayah Diwak dan Derekan. Sudjono dkk. (2019) di Sangubanyu menemukan pola sesar berarah barat laut ke tenggara yang berperan dalam kemunculan mata air panas. Selain itu, penelitian oleh Harmoko dkk. (2021) di Lapangan Panas Bumi Kaliulo menunjukkan bahwa puncak HVSR mampu merepresentasikan ketebalan sedimen dan variasi sifat fisis batuan yang berkaitan dengan interaksi fluida panas dan meteoritik. Hasil-hasil tersebut menegaskan peran HVSR dalam karakterisasi awal bawah permukaan zona panas bumi.

Di sisi lain, kajian di kawasan Tempuran dan sekitarnya menekankan pentingnya faktor litologi, struktur, dan hidrogeologi. Kajian *Fault Fracture Density* (FFD) oleh Khoirunnisa dkk. (2024) menunjukkan bahwa kemunculan air panas di daerah Tempuran tidak selalu dikontrol oleh kepadatan rekahan, melainkan oleh variasi litologi dan sesar lokal. Fatimah dkk. (2025) menggunakan metode resistivitas dan geokimia serta mengidentifikasi variasi litologi dangkal daerah Tempuran serta dua sistem akuifer yang berpotensi menjadi jalur fluida panas. Studi-studi tersebut menegaskan bahwa litologi, struktur geologi, dan kondisi hidrogeologi merupakan faktor penting dalam menjelaskan kemunculan manifestasi panas bumi di Tempuran.

Berdasarkan belum tersedianya karakterisasi bawah permukaan berbasis metode HVSR di Umbul Banyu Roso, penelitian ini difokuskan pada penerapan metode mikrotremor melalui analisis HVSR untuk mengkarakterisasi kondisi bawah permukaan di kawasan Umbul Banyu Roso, Kecamatan Tempuran. Analisis kecepatan gelombang geser (V_s) dilakukan untuk mengevaluasi variasi kekakuan lapisan bawah permukaan. Selain itu, analisis rasio gelombang kompresi terhadap gelombang geser (V_p/V_s) dan rasio *Poisson* (ν) dilakukan untuk memberikan pemahaman lebih lanjut mengenai zona potensial jalur migrasi fluida dan keberadaan zona prospek air panas. Hasil dari kedua analisis ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah yang signifikan dalam pemahaman karakteristik bawah permukaan di area penelitian, sekaligus menyediakan dasar yang kuat dan valid untuk penyusunan model konseptual sistem panas bumi. Model konseptual tersebut dirancang untuk menggambarkan jalur aliran fluida panas bumi secara

rinci, memetakan distribusi zona manifestasi panas, serta menilai interaksi antara struktur geologi dengan dinamika hidrotermal. Dengan demikian, hasil penelitian tidak hanya memperkaya pengetahuan geofisika lokal, tetapi juga mendukung perencanaan pemanfaatan sumber daya panas bumi secara optimal dan berkelanjutan.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengidentifikasi sebaran nilai kecepatan gelombang geser (V_s) untuk mengevaluasi variasi kekakuan lapisan bawah permukaan.
2. Menganalisis nilai V_p/V_s dan rasio *Poisson* (ν) untuk mengidentifikasi jalur aliran fluida panas bumi dalam mendukung penyusunan model konseptual sistem panas bumi di area penelitian.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini diharapkan mampu memberikan informasi mengenai struktur bawah permukaan pada manifestasi mata air panas Umbul Banyu Roso, Magelang, sebagai dasar evaluasi potensi panas bumi. Informasi tersebut diperoleh melalui analisis sebaran kecepatan gelombang geser (V_s) untuk mengidentifikasi variasi kekakuan material dan indikasi keberadaan struktur geologi, serta analisis rasio V_p/V_s dan rasio *Poisson* (ν) untuk mengidentifikasi zona potensial jalur migrasi fluida panas bumi dalam mendukung penyusunan model konseptual sistem panas bumi di area penelitian. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi masyarakat, pemerintah, dan pihak terkait dalam mendukung pemanfaatan manifestasi mata air panas secara lebih luas dan berkelanjutan, baik untuk pengembangan ilmu pengetahuan, perencanaan wilayah, maupun peningkatan kesejahteraan masyarakat.