

Identifikasi Mata Air dan Penentuan Batas Hutan Konservasi Pada Bentang Alam Karst Desa Baumata

Aisyah Ahmad^{1*}, Noni Banunaek²

^{1,2}*Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana, Kupang 85361, Nusa Tenggara Timur, Indonesia*

**Email: aisyah.ahmad@staf.undana.ac.id*

Abstrak

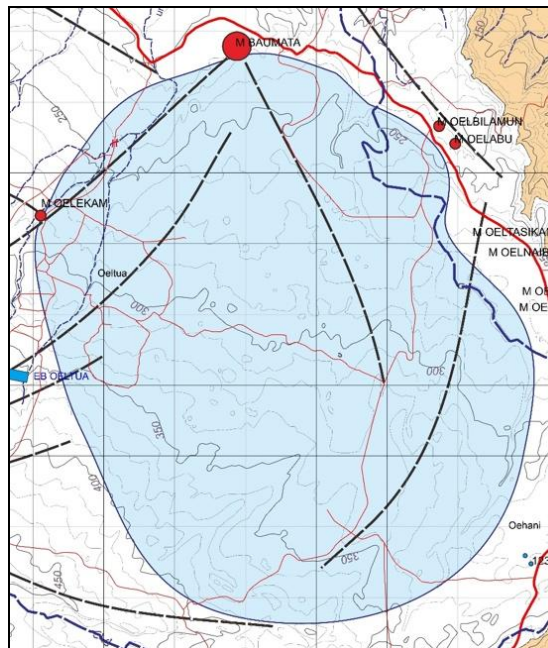
Secara geomorfologi, Cekungan Air Tanah (CAT) di Desa Baumata, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang, merupakan kawasan bentang alam karst yang memiliki sistem mata air dengan total debit rata-rata lebih dari 150 L/detik. Arah aliran serta kapasitas tampungan air tanah di kawasan ini dikontrol oleh morfologi batas bawah batu gamping, ketebalan lapisan batu gamping, serta pola rekahan, rongga, dan gua bawah permukaan. Penelitian ini dilakukan dengan mengintegrasikan pemetaan tutupan lahan, analisis morfologi karst, serta pendugaan bawah permukaan menggunakan metode geolistrik konfigurasi Wenner 2D dan Vertical Electrical Sounding (VES). Hasil sintesis antara data lapangan, citra permukaan, dan geolistrik memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi tutupan lahan, potensi kawasan Hutan Taman Wisata Alam Baumata, serta arah aliran air tanah yang berperan dalam pembentukan dan keberlanjutan mata air. Berdasarkan hasil pemetaan, kawasan hutan pada daerah penelitian memiliki total luas tutupan vegetasi lebat sebesar 58.68 ha, dengan 36.21 ha di antaranya termasuk dalam kawasan Hutan Konservasi/Taman Wisata Alam Baumata, dan sekitar 4,23 ha berupa lahan semak belukar. Analisis geolistrik menunjukkan bahwa aliran air tanah di daerah penelitian mengalir melalui sistem rongga dan gua karst menuju Gua Mata Air Baumata, yang berperan sebagai titik keluaran utama sistem akuifer karst setempat.

Kata kunci: *Air tanah, gua, karst, rekahan, rongga*

PENDAHULUAN

Cekungan Air Tanah (CAT) Baumata merupakan kawasan karst yang berkembang pada batu gamping dengan sistem rekahan, rongga, dan jaringan conduit yang mengontrol dinamika aliran air tanah. Sistem ini mencerminkan karakteristik akuifer karst yang memiliki heterogenitas tinggi dan dikontrol oleh struktur bawah permukaan (Sun *et al.*, 2025). Kondisi geomorfologi lokal di wilayah Baumata telah dilaporkan dalam studi sebelumnya (Banunaek, 2005). Berdasarkan pemetaan hidrogeologi regional, CAT Baumata tersusun oleh batu gamping dengan sistem rekahan yang berkembang, yang mengindikasikan karakteristik akuifer karst kompleks. Fenomena ini sejalan dengan

konsep akuifer karst modern yang memiliki dual porosity dan heterogenitas tinggi (Sun *et al.*, 2025; Mostafa, 2026). Potensi sumber daya air tanah yang besar menjadikan kawasan Baumata tidak hanya penting secara hidrogeologis, tetapi juga memiliki nilai strategis bagi konservasi serta pengembangan geowisata berbasis karst. Cekungan air tanah Baumata disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Cekungan air tanah Baumata.

Struktur geologi regional di sekitar CAT Baumata menunjukkan keberadaan sistem sesar yang berperan dalam pembentukan cekungan air tanah serta mengontrol kemunculan mata air di permukaan. Dalam sistem akuifer karst, rekahan dan sesar diketahui menjadi jalur utama aliran air tanah dan sangat memengaruhi dinamika imbuhan serta respons hidrologi (Naufal *et al.*, 2024; Sun *et al.*, 2025). Deskripsi struktur geologi wilayah ini didasarkan pada pemetaan geologi regional sebelumnya. Kajian pada sistem karst ekstrem di berbagai wilayah dunia juga menunjukkan bahwa struktur geologi (rekahan dan patahan) serta sejarah speleogenetik berperan besar dalam menentukan distribusi aliran dan sirkulasi air tanah karst (Fandel *et al.*, 2023). Namun demikian, informasi rinci mengenai pola rekahan, morfologi batas bawah batu gamping, serta distribusi rongga bawah permukaan yang memengaruhi sistem hidrogeologi kawasan karst Baumata masih terbatas. Keterbatasan data ini menimbulkan kesenjangan pengetahuan dalam memahami pola aliran air tanah dan potensi penyimpanan air di kawasan karst Kupang. Untuk mengatasi kesenjangan tersebut, diperlukan pendekatan terintegrasi yang menggabungkan analisis geomorfologi, struktur geologi, dan hidrogeologi bawah permukaan. Salah satu metode yang efektif adalah pemetaan kelurusan berbasis foto udara (*drone*) untuk mengidentifikasi jalur rekahan permukaan. Data tersebut kemudian dapat divalidasi melalui pengamatan lapangan dan metode geolistrik guna mendeteksi variasi tahanan jenis yang merepresentasikan ketebalan batu gamping, keberadaan rongga, serta jalur aliran bawah permukaan (Loke, 2000; Utama & Anindya, 2025).

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan dan mengidentifikasi jalur rekahan, rongga, serta morfologi batas bawah batu gamping guna memahami pola aliran air tanah di CAT Baumata. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah bagi konservasi bentang alam karst dan pengelolaan sumber daya air berkelanjutan di wilayah Kupang, serta mendukung pengembangan potensi geowisata berbasis keunikan geologi kawasan karst Baumata.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan merupakan kombinasi antara survei lapangan, pemetaan foto udara (drone), dan pendugaan geolistrik. Pendekatan ini dipilih untuk memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai kondisi geomorfologi karst, struktur rekahan, serta karakteristik bawah permukaan batu gamping di Cekungan Air Tanah (CAT) Baumata, Kabupaten Kupang, Nusa Tenggara Timur.

1. Survei Lapangan dan Pengukuran Geomorfologi

Survei lapangan dilakukan untuk memperoleh data primer mengenai bentuk-bentuk bentang alam karst dan kondisi geologi permukaan. Kegiatan ini meliputi:

- Pengamatan morfologi karst, seperti perbukitan, lembah, dolina, uvala, polje, rekahan, gua, dan bukaan vertikal.
- Pengukuran dan pendataan geomorfologi, termasuk ketinggian, kemiringan lereng, orientasi rekahan, arah jurus dan kemiringan lapisan batu gamping, serta kondisi tutupan lahan.
- Pendokumentasian visual melalui foto lapangan dan sketsa geologi.
- Inventarisasi hubungan antara tutupan lahan, vegetasi, dan keberadaan mata air, untuk memahami interaksi antara sistem karst dan air tanah.

Alat yang digunakan dalam survei lapangan antara lain: kompas geologi: brunton, GPS, clinometer, meteran, kamera digital, drone, serta alat pencatat data: lembar observasi dan peta dasar. Fokus utama dari survei ini adalah mengidentifikasi pola rekahan, kondisi permukaan karst, serta indikasi keluaran air (*spring points*) yang berhubungan dengan sistem bawah permukaan.

2. Pemetaan Foto Udara Menggunakan Drone

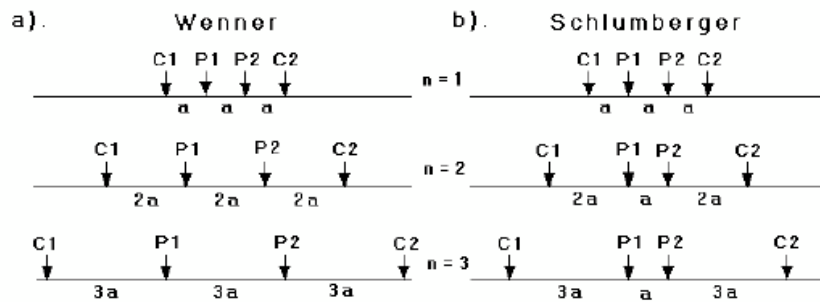
Pemetaan foto udara dilakukan untuk memperoleh citra spasial beresolusi tinggi yang menggambarkan morfologi karst secara menyeluruh. Pengambilan foto dilakukan menggunakan drone jenis multirotor dengan kamera beresolusi tinggi (≥ 20 MP). Tahapan kegiatan meliputi:

- Perencanaan jalur terbang (*flight plan*) menggunakan perangkat lunak *DroneDeploy* atau *Pix4D*, dengan tinggi terbang ± 100 – 150 m dan overlap foto 70–80%.
- Akuisisi foto udara pada area penelitian dengan mempertimbangkan kondisi cuaca cerah dan stabilitas angin.
- Proses ortomosaik dan koreksi geometrik menggunakan perangkat lunak *Agisoft Metashape* atau *Pix4D Mapper* untuk menghasilkan peta ortofoto dan model elevasi digital (DEM/DSM).
- Interpretasi morfologi dan kelurusan (*lineament mapping*) dari hasil ortofoto untuk mengidentifikasi jalur rekahan, patahan, lembah memanjang, serta hubungan antara pola kelurusan dan arah aliran air permukaan.

Data hasil pemetaan drone digunakan untuk mendukung analisis struktur geologi permukaan dan korelasi dengan hasil pengukuran geolistrik.

3. Pemetaan Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geolistrik

Metode geolistrik digunakan untuk mendeteksi variasi tahanan jenis bawah permukaan yang berkaitan dengan ketebalan batu gamping, keberadaan rongga (*voids*), konduit air tanah, serta batas kontak batuan. Terdapat beberapa konfigurasi elektroda yang sering dipakai pada metode geolistrik, yaitu konfigurasi *Wenner* dan konfigurasi *Schlumberger*. Gambar 2 memperlihatkan dua konfigurasi elektroda dan faktor geometri yang dikenal dalam metode geolistrik (Loke, 2000).



Gambar 2. Konfigurasi Wenner dan Konfigurasi Schlumberger (Loke, 2000).

a) Geolistrik 2D (Konfigurasi Wenner)

Pengukuran dilakukan dengan konfigurasi Wenner 2D, menggunakan alat resistivity meter multichannel.

- Spasi elektroda diatur antara 5–10 meter tergantung pada panjang lintasan dan topografi.
- Data diolah menggunakan perangkat lunak Res2Dinv untuk menghasilkan penampang resistivitas 2D.
- Interpretasi dilakukan untuk mengenali lapisan batu gamping kompak, zona rekahan, serta anomali berresistivitas rendah yang diindikasikan sebagai rongga berisi air atau zona pelapukan.

Tujuan utama metode ini adalah mengidentifikasi distribusi lateral dari zona rekahan dan rongga bawah permukaan pada lintasan terpilih.

b) Geolistrik VES (*Vertical Electrical Sounding*)

Metode VES (*Vertical Electrical Sounding*) digunakan untuk memperoleh informasi vertikal atau kedalaman lapisan batuan.

- Pengukuran dilakukan dengan konfigurasi Schlumberger.
- Data pengukuran dianalisis menggunakan perangkat lunak IPI2Win untuk memperoleh model tahanan jenis terhadap kedalaman.
- Interpretasi VES difokuskan untuk memperkirakan ketebalan batu gamping, posisi lapisan akuifer karst, dan keberadaan batuan dasar (*bedrock*).

Hasil pengukuran VES dikorelasikan dengan penampang 2D Wenner serta kondisi geologi permukaan.

4. Analisis dan Sintesis Data

Tahap analisis melibatkan integrasi data hasil survei lapangan, pemetaan foto udara, dan geolistrik untuk menghasilkan pemahaman menyeluruh tentang sistem karst Baumata. Langkah-langkah analisis meliputi:

- Interpretasi geomorfologi berdasarkan data lapangan dan ortofoto untuk menentukan bentuk lahan karst utama.
- Analisis kelurusan (*lineament analysis*) dari citra drone untuk mengidentifikasi pola rekahan dan arah dominan struktur geologi.
- Analisis geolistrik untuk menentukan distribusi resistivitas dan indikasi rongga atau konduit bawah tanah.
- Korelasi antardata permukaan dan bawah permukaan untuk memetakan pola aliran air tanah dan hubungan dengan mata air.
- Sintesis spasial menggunakan GIS untuk menggabungkan seluruh informasi menjadi peta tematik (peta morfologi karst, peta kelurusan, peta resistivitas bawah permukaan).

5. Interpretasi Akhir dan Penyusunan Peta Tematik

Hasil analisis kemudian disintesis menjadi peta interpretatif yang mencakup:

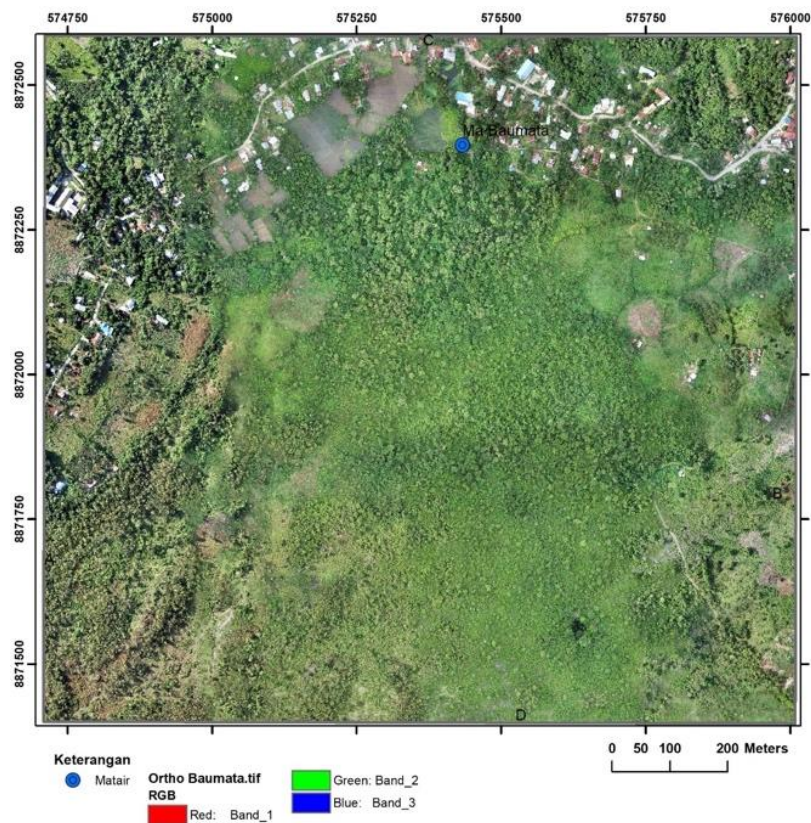
- Peta morfologi karst dan bentuk lahan utama.
- Peta kelurusan dan rekahan hasil interpretasi drone.
- Peta distribusi resistivitas bawah permukaan (hasil Wenner 2D dan VES).
- Peta integrasi sistem aliran air tanah dan mata air.

Interpretasi akhir ini digunakan untuk menyusun rekomendasi konservasi sumber daya air tanah karst serta pengembangan potensi geowisata berbasis keunikan geologi kawasan Baumata.

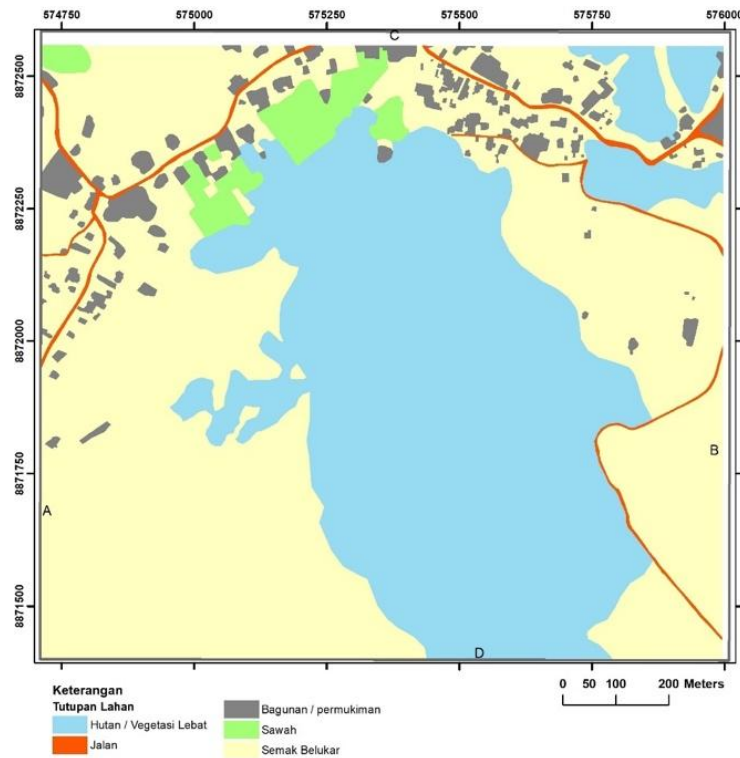
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemetaan Vegetasi dan Bentang Alam Karst

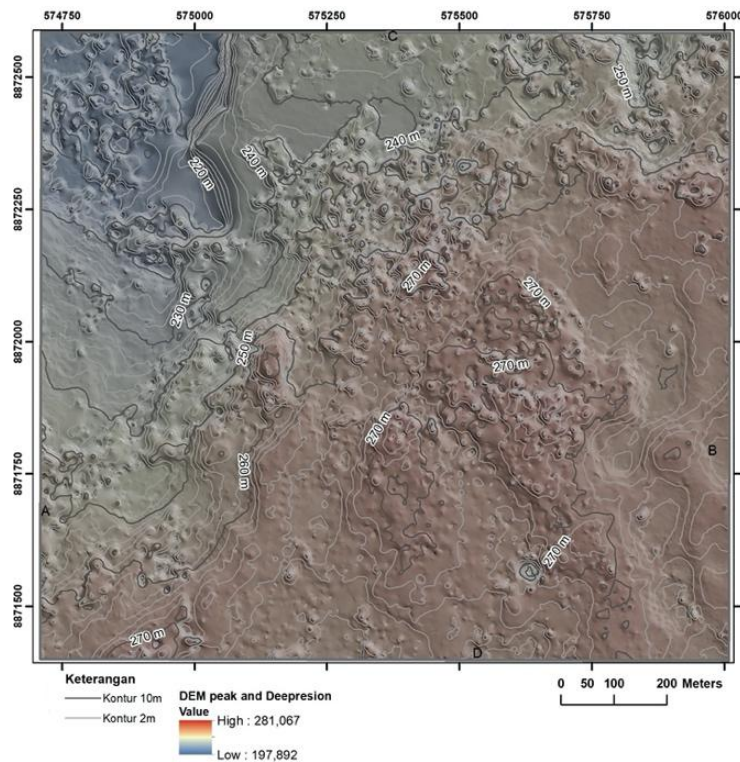
Bentang alam karst di Desa Baumata, Kecamatan Taebenu, dan Hutan Taman Wisata Alam diamati melalui penginderaan jauh menggunakan *drone* serta survei lapangan. Data *drone* diolah menjadi *orthophoto* dan *Digital Surface Model (DSM)*, yang memungkinkan identifikasi morfologi karst, tutupan lahan, serta bukit dan lembah dengan resolusi tinggi (Gambar 3–5). Berdasarkan *orthophoto*, total luas tutupan vegetasi lebat di daerah penelitian mencapai 58.68 ha, di mana 36.21 ha merupakan bagian dari Kawasan Hutan Konservasi/ Hutan Taman Wisata Alam Baumata. Area tambahan seluas 22.47 ha, meskipun berada di luar kawasan konservasi resmi, tetap menunjukkan vegetasi lebat dan kondisi karst yang intensif.



Gambar 3. Hasil Orthophoto Daerah Penelitian.



Gambar 4. Peta Tutupan Lahan Daerah Penelitian.

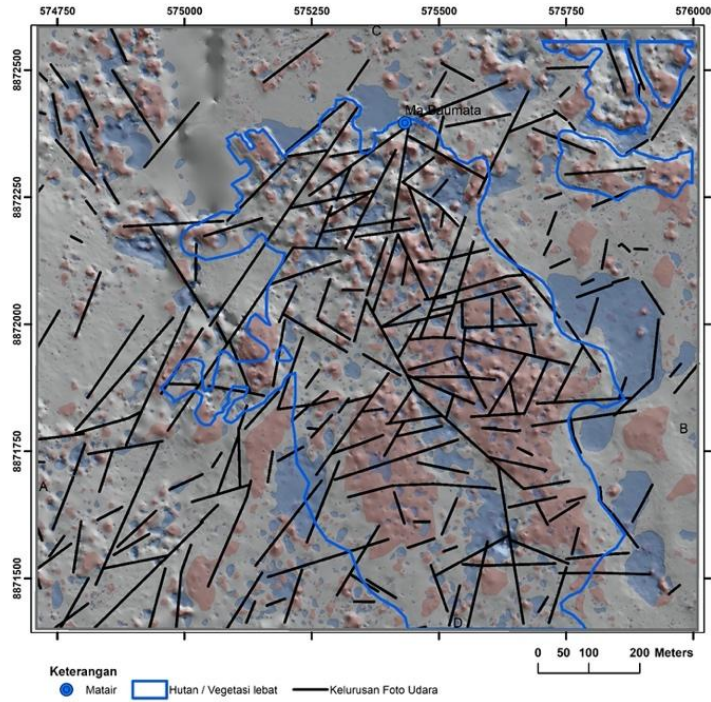


Gambar 5. DEM Daerah Penelitian Bersama Kontur Interval 2 m dan Bayangan Bukit.

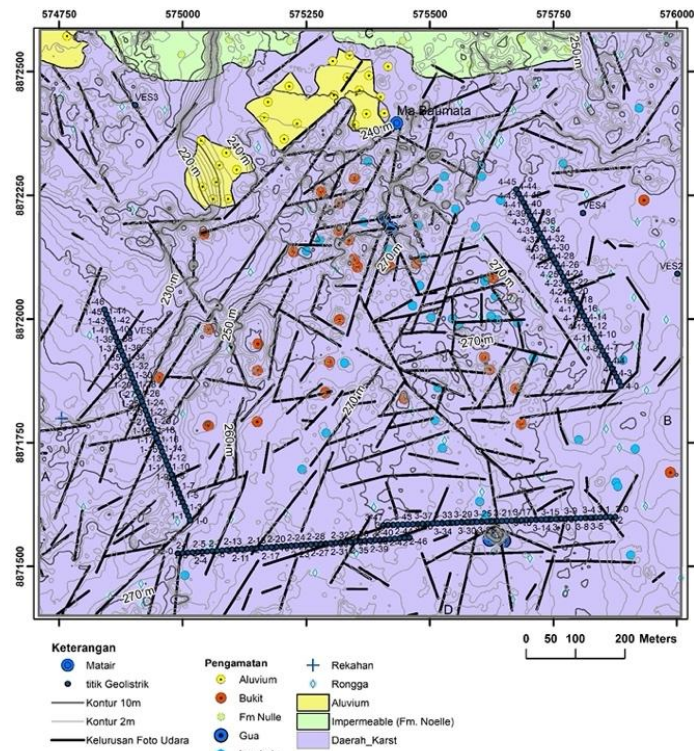
Pemetaan ini mengungkapkan bahwa vegetasi lebat tidak hanya menutupi daerah datar, tetapi juga lereng dan lembah yang dikontrol oleh jalur rekahan. Distribusi vegetasi lebat ini menandakan peran ekologis penting dalam mempertahankan kelembapan tanah, mendukung infiltrasi air, serta menyediakan perlindungan terhadap erosi pada bentang alam karst yang rentan.

Analisis Kelurusan dan Kontrol Struktural

Analisis kelurusan dari citra drone mengidentifikasi pola rekahan dan patahan yang mengontrol pembentukan bukit, lembah memanjang, gua, serta jalur aliran air bawah permukaan (Gambar 6-7).



Gambar 6. Interpretasi Kelurusan pada Karst dan Vegetasi Lebat.



Gambar 7. Peta Sebaran Batuan, Kelurusan, dan Vegetasi Lebat di Daerah Penelitian.

Karstifikasi paling intensif ditemukan di daerah bervegetasi lebat, yang mengikuti jalur rekahan utama. Hubungan antara vegetasi dan karstifikasi bersifat timbal balik:

1. Akses air mudah melalui rekahan dan rongga: Vegetasi lebat cenderung berkembang di sepanjang zona rekahan karena ketersediaan air lebih tinggi, yang mendukung pertumbuhan pohon dan semak.
2. Percepatan pelarutan batu gamping oleh vegetasi: Akar pohon dan senyawa organik dari vegetasi mempercepat pelarutan batu gamping (biokarst), sehingga memperkuat pengembangan lembah dan bukit.

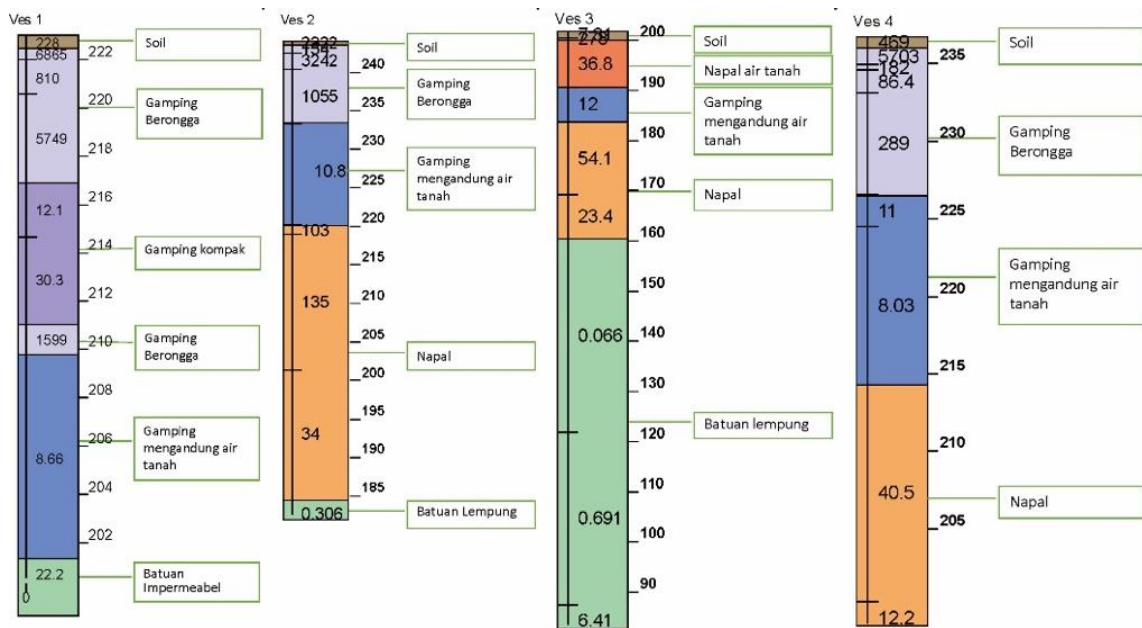
Dengan demikian, jalur rekahan tidak hanya memfasilitasi vegetasi lebat, tetapi vegetasi tersebut juga memperkuat proses karstifikasi. Fenomena ini menegaskan bahwa area dengan vegetasi lebat dan rekahan intensif adalah zona penting bagi aliran air bawah permukaan dan pembentukan morfologi karstik.

Pemetaan Geolistrik dan Morfologi Bawah Permukaan

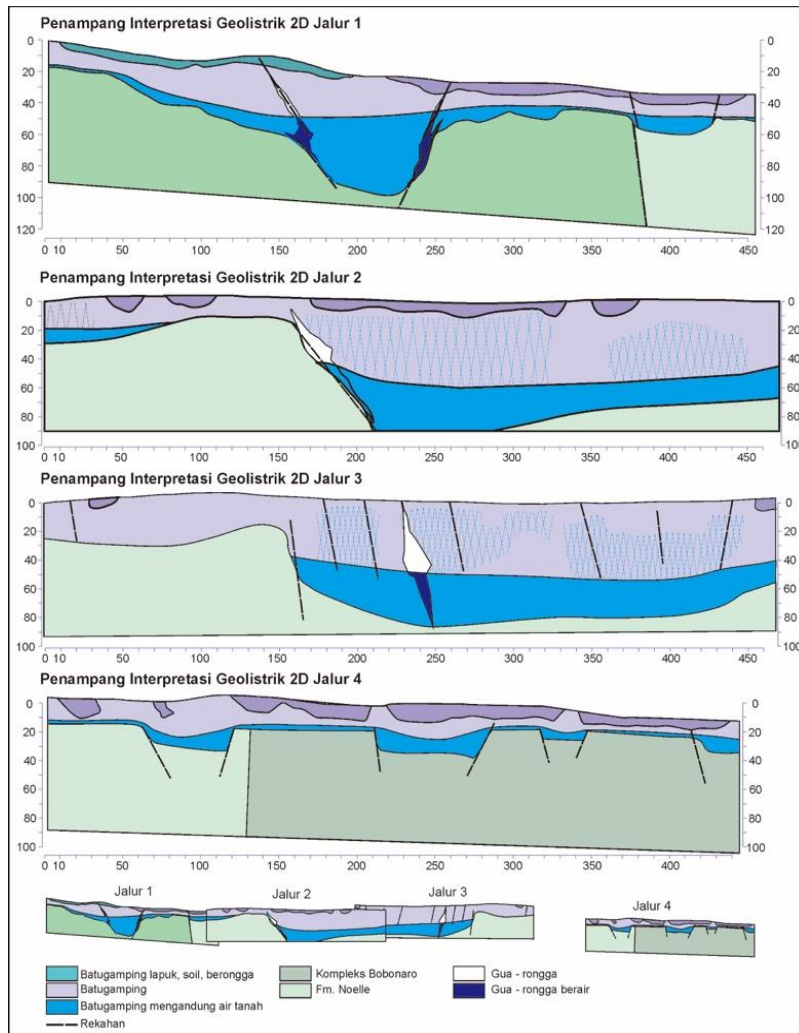
Pemetaan bawah permukaan dilakukan menggunakan metode geolistrik VES Schlumberger dan 2D Wenner. Pengukuran VES di 4 lokasi bertujuan untuk mengetahui ketebalan batu gamping:

- VES1: 22 m (barat)
- VES2 & VES4: ±20 m (timur)
- VES3: 17 m (tengah)

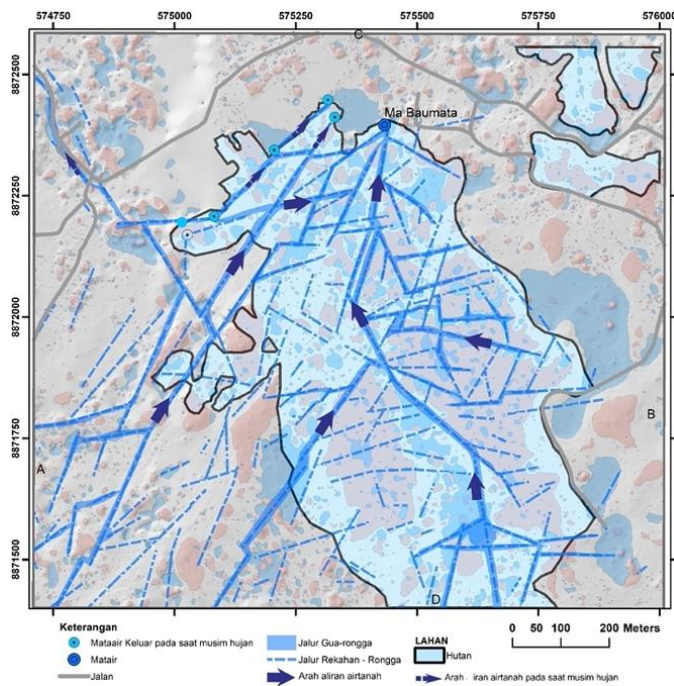
Sedangkan pengukuran 2D Wenner di 4 penampang lateral memungkinkan identifikasi ketebalan batu gamping yang bervariasi dari 15 hingga 90 m, serta jalur rongga, gua, dan rekahan bawah permukaan (Gambar 8–9). Data ini memungkinkan pemetaan aliran air tanah melalui rongga dan gua menuju Mata Air Baumata (Gambar 10).



Gambar 8. Hasil Interpretasi Geolistrik Ves Di Daerah Penelitian.



Gambar 9. Hasil Interpretasi Geolistrik 2D Daerah Penelitian.



Gambar 10. Aliran Air Tanah pada Rongga dan Gua Batu Gamping di Daerah Penelitian.

Hasil geolistrik menunjukkan bahwa jalur air tanah terpusat di sepanjang rekahan dan rongga utama, yang sebagian besar berada di daerah bervegetasi lebat. Kombinasi ini menegaskan bahwa area seluas 58.68 ha berperan sebagai zona imbuhan utama, termasuk 22.47 ha yang berada di luar kawasan konservasi resmi.

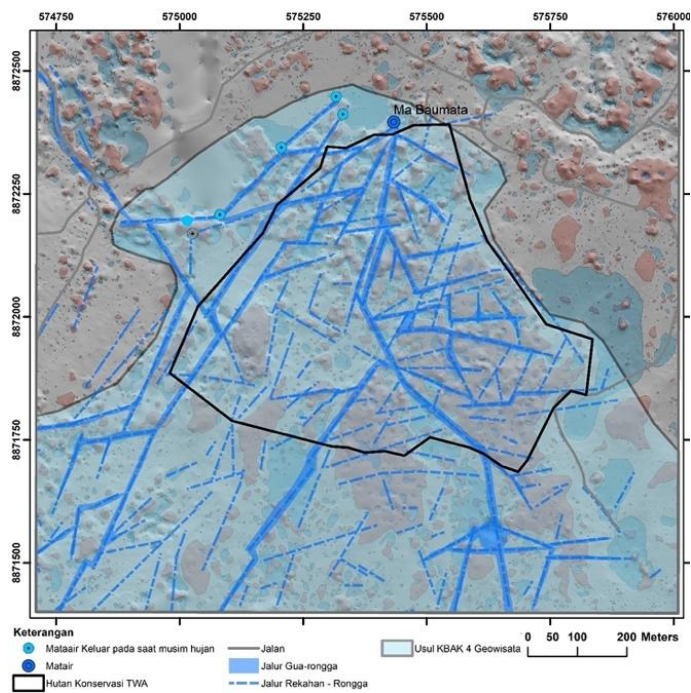
Aliran Air Tanah dan Mata Air Baumata

Aliran air tanah di daerah penelitian mengalir melalui rongga dan gua menuju Mata Air Baumata. Mata air ini memiliki debit >100 l/s, sangat jernih, dan dimanfaatkan untuk PDAM Kabupaten Kupang, pertanian, dan fasilitas rekreasi seperti kolam renang yang dikelola oleh Dinas Pariwisata. Diperkirakan sekitar 60–75 l/s dialirkan PDAM untuk melayani ±70.000 penduduk. Analisis topografi, morfologi karst, dan data geolistrik memperlihatkan bahwa keberlanjutan mata air ini sangat bergantung pada kondisi vegetasi lebat dan zona rekahan yang membentuk jalur imbasan air bawah permukaan. Dengan kata lain, seluruh area 58.68 ha dengan vegetasi lebat berperan langsung sebagai zona imbuhan kritis.

Konservasi dan Rekomendasi Manajemen

Sintesis pemetaan vegetasi, morfologi karst, dan data geolistrik menegaskan bahwa zona imbuhan utama tidak terbatas pada Kawasan Hutan Konservasi (36.21 ha), tetapi mencakup seluruh area bervegetasi lebat (58.68 ha), termasuk 22.47 ha yang belum resmi dikonservasi. Selisih ini menandai area vital yang memiliki:

- Tutupan vegetasi lebat yang mendukung infiltrasi air.
- Jalur rekahan dan rongga yang mengontrol aliran air bawah permukaan.



Gambar 11. Kawasan Usulan Kawasan Bentang Alam Karst (KBAK) Level 4 untuk Konservasi dan Geowisata.

Berdasarkan temuan ini, penetapan batas konservasi baru sebaiknya mencakup seluruh 58.68 ha sebagai Kawasan Bentang Alam Karst (KBAK) Level 4 (Gambar 11), dengan fokus pada:

- Pelestarian jalur rekahan dan rongga.
- Konservasi vegetasi lebat dan fungsi ekologisnya.
- Perlindungan Mata Air Baumata sebagai sumber air bersih dan potensi geowisata.

Peningkatan status KBAK ini sejalan dengan strategi konservasi terpadu, sekaligus mendukung pengembangan geowisata berbasis karst dan pendidikan lingkungan. Penelitian lanjutan ke arah selatan disarankan untuk memperluas pemetaan area imbuhan tambahan, memperkuat dasar ilmiah bagi manajemen konservasi, dan menjamin keberlanjutan hidrologi kawasan.

KESIMPULAN

Area vegetasi lebat seluas 58.68 ha di CAT Baumata berfungsi sebagai zona imbuhan utama yang mengontrol aliran air tanah melalui sistem rekahan dan rongga karst menuju Mata Air Baumata (>100 l/s). Seluruh area tersebut, termasuk yang berada di luar kawasan konservasi resmi, perlu dipertimbangkan sebagai zona imbuhan utama dan diusulkan untuk perlindungan dalam kerangka KBAK guna menjaga keberlanjutan fungsi hidrologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Banunaek, N., 2005. *Karakteristik Geomorfologi Karst di Daerah Baumata, Kupang, Nusa Tenggara Timur*. Laporan Penelitian. Jurusan Teknik Geologi, Universitas Nusa Cendana.
- Fandel, C. A., Covington, M. D., and Perne, M., 2023. *Structural Controls on Conduit Development and Groundwater Flow in Karst Systems*. *Journal of Hydrology*. 620. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129401>.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. 2012. *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 17 Tahun 2012 tentang Penetapan Kawasan Bentang Alam Karst*.
- Loke, M. H., 2000. *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies: A Practical Guide To 2-D and 3-D Surveys*. Geotomo Software.
- Mostafa, M., 2026. *Dual-Porosity and Fracture Network Modeling of Groundwater Flow in Karst Aquifers: A Review*. *Journal of Hydrology*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2026.131145>.
- Naufal, M., Pratama, R., and Hidayat, A., 2024. *Karst Conduit Development and Its Role in Controlling Groundwater Flow and Recharge Response*. *Journal of Hydrology*. 628. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130123>.
- Pemerintah Republik Indonesia. 1990. *Undang-Undang Nomor 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya*.
- Pemerintah Republik Indonesia. 1999. *Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan*.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2009. *Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2023. *Undang-Undang Nomor 6 Tahun 2023 tentang Penetapan Peraturan Pemerintah Pengganti Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2022 tentang Cipta Kerja menjadi Undang-Undang*.
- Sun, W., Liu, H., Chen, Y., and Zhang, L., 2025. *Hydrogeological Characteristics and Groundwater Flow Mechanisms in Karst Aquifers*. *Water*. 17(15). DOI: <https://doi.org/10.3390/w17152292>.
- Utama, P. D., dan Anindya, R., 2025. *Aplikasi Metode Geolistrik untuk Identifikasi Rongga Bawah Permukaan pada Kawasan Karst Indonesia Timur*. *Jurnal Teknik Geofisika Indonesia*. 11(1): 33-48.