

KONSERVASI HUTAN LANSKAP KARST MELALUI PEMETAAN DAN IDENTIFIKASI BENTANG ALAM KARST DI DESA BAUMATA

Aisyah Ahmad¹, Noni Banunaek²

^{1,2}Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
Kupang, Email aisyah.ahmad@staf.undana.ac.id

ABSTRACT

The Baumata Groundwater Basin, located in Baumata Village, Taebenu District, Kupang Regency, represents a well-developed karst landscape developed on uplifted limestone. This area is characterized by springs with a total discharge exceeding 150 L/s, and groundwater flow and basin capacity are strongly controlled by the morphology of the limestone lower boundary, limestone thickness, and the distribution of fractures, cavities, and caves. Understanding these hydrogeological and geomorphological characteristics is essential for sustainable water resource management and karst landscape conservation. This study aims to map land cover, analyze karst morphology, and investigate subsurface structures to understand groundwater flow patterns and the interrelation between surface features and underground conduits. The research integrates field surveys, aerial drone mapping, and subsurface investigation using 2D Wenner and VES geoelectric methods. The results indicate that the study area contains 58.68 ha of dense vegetation, including 36.21 ha within the Baumata Conservation/Nature Tourism Park Forest, with 4.23 ha of shrubland. Subsurface interpretations reveal that groundwater flows through cavities, fractures, and cave networks toward the Baumata spring cave, the main discharge point of the system. These findings provide critical insights for conserving the Baumata Tourism Park Forest, protecting the upstream catchment of Baumata Spring, and supporting the development of sustainable geotourism. The study highlights the importance of integrated surface and subsurface mapping in guiding effective karst landscape management and water resource conservation.

Keywords: karst, fracture; cavity; cave; groundwater.

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 22-10-2025

Tanggal revisi : 28-11-2025

Tanggal terbit : 08-12-2025

DOI : <https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.16601>

1. PENDAHULUAN

Cekungan Air Tanah Baumata di Desa Baumata, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang, merupakan salah satu lanskap karst penting yang berkembang pada batugamping terangkat dan memiliki sistem aliran air tanah yang kompleks. Aliran air tanah bergerak melalui pori-pori, rekahan, rongga, serta jaringan gua bawah permukaan, dan muncul sebagai mata air berdebit tinggi (Ford & Williams, 2007). Kondisi hidrogeologi yang sensitif ini menjadikan kawasan Baumata berperan strategis sebagai akuifer produktif sekaligus kawasan yang rentan terhadap perubahan penggunaan lahan dan gangguan ekosistem (Haryono & Adji, 2004). Faktor

pengontrol utama sistem ini meliputi morfologi batas bawah batugamping, ketebalan batugamping, serta pola rekahan, rongga, dan gua (Aqater, 1993). Oleh karena itu, pemetaan jalur rekahan dan rongga bawah permukaan menjadi kunci dalam memahami dinamika aliran air tanah dan dasar pengelolaan kawasan karst secara berkelanjutan.

Meskipun beberapa penelitian sebelumnya telah menyinggung potensi hidrologi dan struktur geologi kawasan Kupang, informasi yang tersedia masih parsial. Kajian terdahulu umumnya terfokus pada karakter umum sesar regional seperti Sesar Kupang dan Sesar Kupang–Camplong (Tjokrosapoetro, 1978; Rosidi et al., 1979) atau inventarisasi mata air (Banunaek, 2005), namun

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



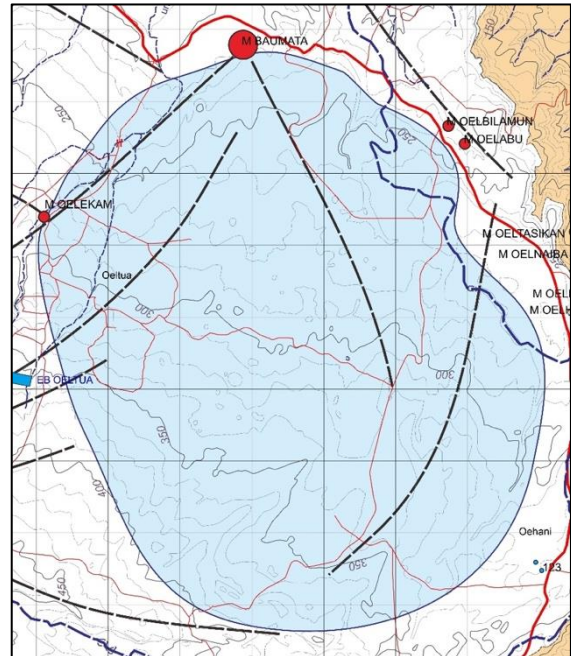
belum mengintegrasikan analisis permukaan dan bawah permukaan secara komprehensif pada skala cekungan Baumata. Belum adanya pemetaan morfologi karst detail, jalur rekahan aktif, dan konektivitas rongga-gua menyebabkan pola aliran air tanah serta zona konservasi prioritas belum dapat ditentukan secara ilmiah.

Kekosongan pengetahuan tersebut penting untuk segera diatasi karena kawasan Baumata merupakan suplai utama air baku bagi masyarakat Kupang, sekaligus berada dalam kawasan hutan konservasi dan Taman Wisata Alam. Lanskap karst dengan dolina, polje, bukit kegelkarst dan trunkarst, serta beragam tipe gua (Myroie & Carew, 1995; Haryono, 2004) membutuhkan perlindungan berbasis pemahaman geomorfologi-hidrogeologi. Selain itu, regulasi nasional menegaskan bahwa hutan karst dalam KSA/KPA berfungsi dalam pelestarian air tanah dan keanekaragaman hayati (UU 41/1999; UU 5/1990), sehingga kajian ilmiah yang mendukung perencanaan konservasi menjadi sangat mendesak.

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menjawab: (1) bagaimana karakteristik morfologi karst serta pola rekahan, rongga, dan gua di wilayah Baumata; (2) bagaimana pola aliran air tanah dan hubungan antara struktur bawah permukaan dengan distribusi mata air; dan (3) bagaimana potensi hutan konservasi dan geowisata dapat dioptimalkan berdasarkan temuan geomorfologi dan hidrogeologi. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah: (1) memetakan bentuklahan karst serta jaringan rekahan-rongga-gua secara terintegrasi; (2) menganalisis pola aliran air tanah pada cekungan Baumata; (3) menilai kondisi hutan konservasi dan potensi pengembangan geowisata; serta (4) merumuskan rekomendasi konservasi lanskap karst Baumata yang berbasis data ilmiah.

Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian mengombinasikan survei lapangan, pemetaan udara menggunakan drone, serta investigasi bawah permukaan melalui metode geolistrik Wenner 2D dan VES (Loke, 2000). Sintesis dari data permukaan dan bawah permukaan digunakan untuk menafsirkan hubungan antara morfologi karst, struktur geologi, dan aliran air tanah (Yevjevich, 1976; Banunaek, 2005), sehingga

dihasilkan pemahaman menyeluruh yang diperlukan untuk strategi pengelolaan dan konservasi kawasan karst Baumata. CAT Baumata disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. CAT Baumata

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan terintegrasi melalui survei lapangan, pemetaan permukaan berbasis drone, dan investigasi bawah permukaan menggunakan metode geolistrik. Ketiga sumber data disintesis untuk menghasilkan pemahaman menyeluruh tentang bentang alam karst, struktur bawah permukaan, dan pola aliran air tanah di Cekungan Baumata.

Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk memperoleh data geomorfologi, litologi, struktur geologi, dan penutup lahan. Kegiatan utama meliputi:

- identifikasi bentuk lahan karst (dolina, lembah karst, bukit karst, mulut gua);
- pemetaan rekahan dan struktur geologi (orientasi kekar, zona sesar, arah lembah);
- dokumentasi visual dan pencatatan kondisi karstifikasi aktif;
- verifikasi (ground-truthing) terhadap interpretasi citra drone dan geolistrik.

Pemetaan Melalui Citra Udara

Pemetaan drone dilakukan untuk memperoleh representasi spasial detail bentang alam karst dan penutup lahan.

Parameter akuisisi drone

- Platform: quadcopter beresolusi tinggi
- Ketinggian terbang: 80–120 m
- GSD (Ground Sampling Distance): 3–5 cm/pixel
- Mode: overlap 80% frontal, 70% lateral
Produk pemetaan
- Ortofoto resolusi tinggi untuk interpretasi morfologi karst dan penutup lahan
- DSM (Digital Surface Model)
- DEM (Digital Elevation Model) hasil filtering vegetasi

Interpretasi

Data drone digunakan untuk menafsirkan:

- pola bukit–lembah karst, depresi tertutup, dan kelurusan struktur (lineament);
- kemungkinan lokasi rongga atau mulut gua;
- hubungan antara tutupan vegetasi dan intensitas karstifikasi.

Klasifikasi penutup lahan meliputi vegetasi rapat, semak, permukiman, lahan terbuka, dan jaringan jalan.

Investigasi Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geolistrik

Metode geolistrik digunakan untuk memetakan ketebalan batugamping, batas bawah batugamping, serta keberadaan rekahan, rongga, dan gua bawah permukaan.

a. Vertical Electrical Sounding (VES)

Metode VES Schlumberger digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan batugamping pada titik tertentu. Pengukuran dilakukan pada 4 lokasi yang dianggap mewakili variasi geomorfologi di area penelitian.

Data VES menghasilkan: ketebalan batuan, nilai resistivitas sebagai indikasi litologi dan kondisi kejenuhan air.

b. Geolistrik 2D Metode Wenner

Metode Wenner 2D digunakan untuk memetakan kondisi litologi secara lateral di sepanjang lintasan. Empat lintasan diukur untuk:

- menentukan ketebalan batugamping secara lateral,
- mengidentifikasi rongga, gua, dan rekahan bawah permukaan,
- menafsirkan morfologi batas bawah batugamping yang berperan sebagai kontrol aliran air tanah,
- mengetahui hubungan antara struktur bawah permukaan dan lokasi munculnya mata air.
 - Interpretasi geolistrik divalidasi melalui observasi lapangan dan data drone.

Sintesis Data

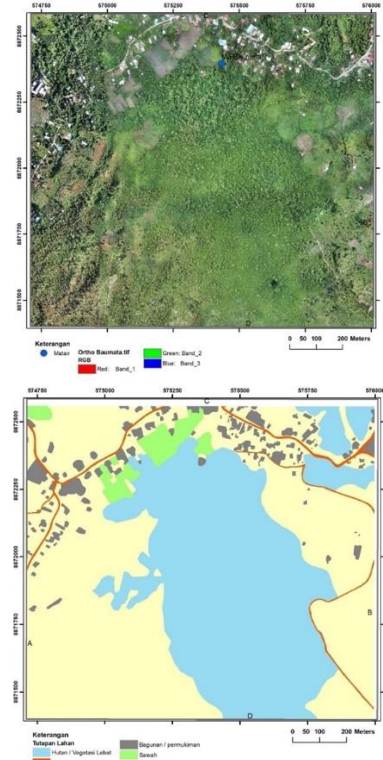
Data lapangan, drone, dan geolistrik digabungkan untuk:

- mendelineasi morfologi karst dan struktur bawah permukaan,
- menentukan jalur aliran air tanah menuju Mata Air Baumata,
- mengevaluasi hubungan tutupan hutan dengan intensitas karstifikasi,
- mendukung rekomendasi konservasi dan geowisata.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Bentang Alam Karst dan Penutup Lahan

Pemetaan drone menghasilkan ortofoto dan Digital Surface Model (DSM) yang digunakan untuk interpretasi penutup lahan dan bentuk lahan karst (Gambar 2). Berdasarkan klasifikasi penutup lahan, kategori utama mencakup hutan, semak belukar, permukiman, sawah/ladang, serta jaringan jalan. Analisis menunjukkan bahwa vegetasi rapat (kategori hutan) mencapai 58,68 ha, dengan sebagian besar berada pada kawasan bertopografi kasar dan menunjukkan aktivitas karstifikasi tinggi.



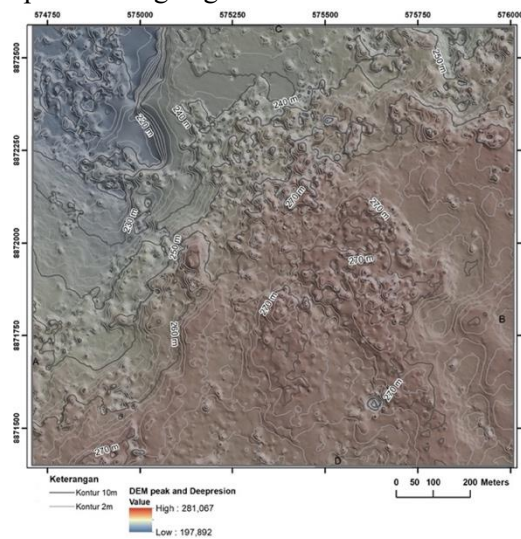
Gambar 2. Hasil ortofoto dan tutupan lahan.

Interpretasi Bentang Alam Karst Berdasarkan DEM

DEM hasil pemrosesan DSM dan filtrasi vegetasi menghasilkan kontur dengan interval 2 meter (Gambar 3). Analisis DEM menunjukkan:

- bukit karst dengan kemiringan sedang-terjal,
- lembah memanjang yang mengikuti zona rekahan,
- pola morfologi khas karst terlarut intensif.

Pola bukit-lembah ini memberikan indikasi struktur batuan yang mengontrol aliran air tanah dan perkembangan gua.



Gambar 3. DEM daerah penelitian dengan kontur interval 2m

Analisis Lineament dan Keterkaitannya dengan Morfologi Karst

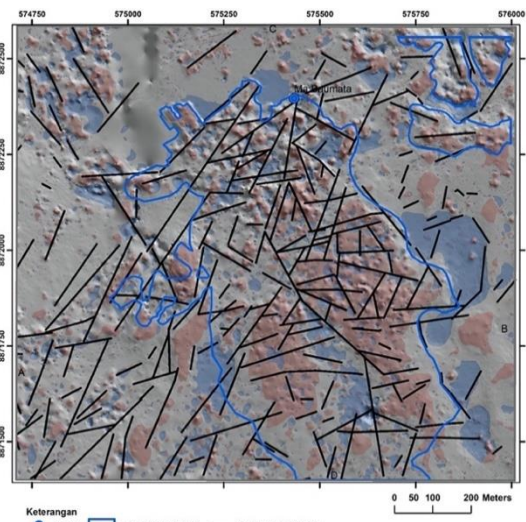
Lineament diinterpretasi dari ortofoto, DEM, dan klasifikasi vegetasi, kemudian diverifikasi melalui observasi lapangan (Gambar 4). Lineament ini ditafsirkan sebagai rekahan atau sesar yang mengontrol perkembangan karst.

Sebanyak 84 lineament teridentifikasi di wilayah penelitian. Analisis orientasi dilakukan menggunakan metode rose diagram dan perhitungan frekuensi azimuth (interval 10°).

Hasil analisis kuantitatif menunjukkan:

Orientasi Dominan	Frekuensi (%)	Interpretasi Geologi
NE-SW (40°-60°)	38%	Rekahan utama, mengontrol lembah karst & lorong gua
NW-SE (290°-320°)	31%	Rekahan sekunder, berhubungan

Orientasi Dominan	Frekuensi (%)	Interpretasi Geologi
E-W (80°-100°)	18%	dengan sesar regional Kontrol lokal pada depresi tertutup
N-S (0°-20°)	13%	Kombinasi kekar minor



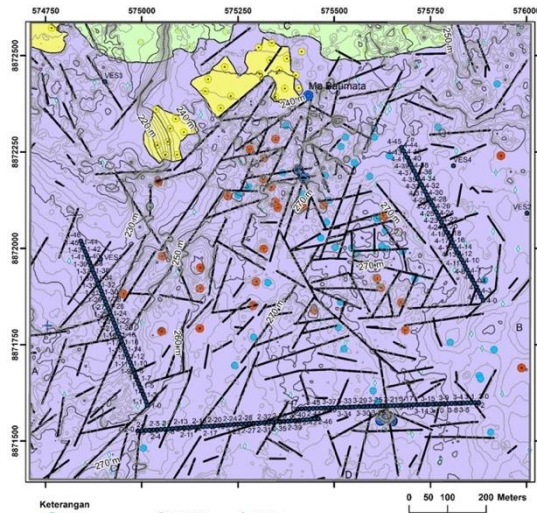
Gambar 4. Interpretasi garis-garis yang ditampilkan pada bentang alam karst dan daerah vegetasi rapat di daerah penelitian.

Interpretasi:

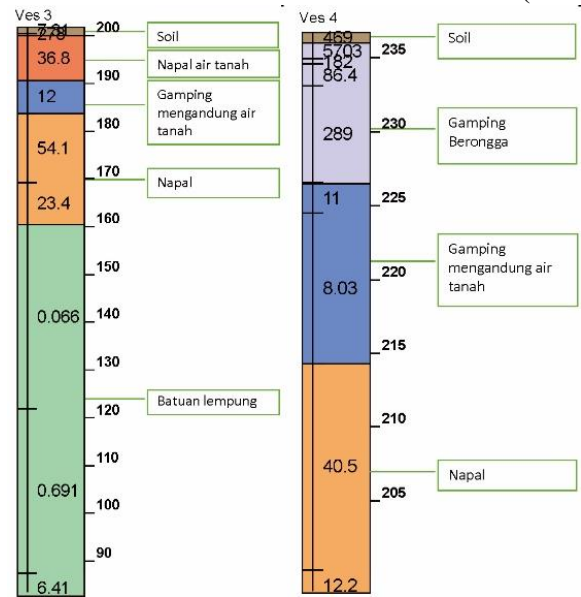
Kombinasi dua sistem rekahan utama NE-SW dan NW-SE menciptakan pola silang (conjugate), yang berperan sebagai jalur dominan aliran air tanah serta lokasi berkembangnya gua dan mulut gua. Sebagian besar vegetasi rapat ditemukan mengikuti zona rekahan-lembah tersebut, menunjukkan karstifikasi aktif pada area dengan struktur intensif.

Pemetaan Sebaran Batuan dan Validasi Lapangan

Selain pemetaan drone, dilakukan pemetaan geologi permukaan untuk mengidentifikasi sebaran litologi, rekahan, bukaan gua, serta karakteristik geomorfologi karst. Hasil pengamatan lapangan dipadukan dengan interpretasi citra memberikan peta sebaran batuan, lokasi lineament, dan area vegetasi rapat (Gambar 5).



Gambar 5. Peta sebaran batuan, kelurusan dan letak kelurusan serta area yang banyak ditumbuhi vegetasi di daerah penelitian.

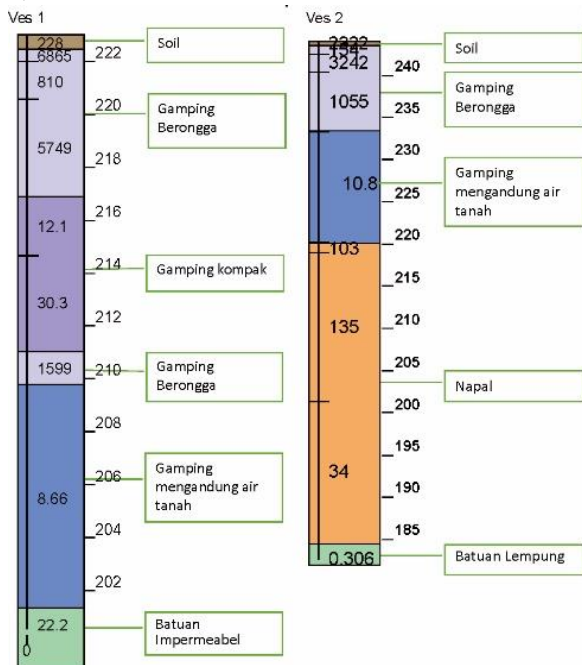


Gambar 6. Hasil interpretasi Geolistrik VES di daerah penelitian.

Investigasi Bawah Permukaan Menggunakan Geolistrik (VES dan 2D Wenner)

a. Vertical Electrical Sounding (VES)

VES dilakukan pada 4 lokasi untuk mengetahui ketebalan batugamping pada titik tertentu (Gambar 6).



Ringkasan hasil VES (Tambahkan sesuai revisi)

Titik VES	Ketebalan Batugamping (m)	Resistivitas Lapisan (Ωm)	Interpretasi
VES 1	± 22 m	240–460 Ωm	Batugamping kompak; bagian barat
VES 2	± 20 m	180–410 Ωm	Batugamping lapuk–kompak; timur
VES 3	± 17 m	160–350 Ωm	Ketebalan minimum; zona rekahan
VES 4	± 20 m	190–430 Ωm	Batugamping kompak; timur laut

Interpretasi umum:

Batugamping memiliki ketebalan 17–22 m, dengan nilai resistivitas yang konsisten dengan litologi karbonat yang sebagian telah mengalami pelarutan.

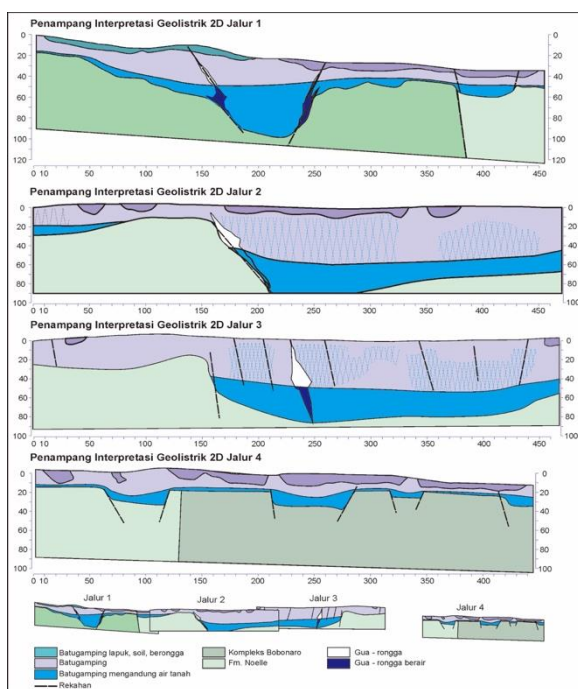
b. Geolistrik 2D Metode Wenner

Pengukuran 2D dilakukan pada empat lintasan (Gambar 7). Hasil menunjukkan:

- ketebalan batugamping bervariasi 15–90 m,

- zona resistivitas rendah diinterpretasikan sebagai rongga berisi air, kanal karst, atau gua,
- zona resistivitas tinggi menunjukkan batugamping kompak,
- bentuk batas bawah batugamping menunjukkan pola tidak seragam sesuai struktur geologi.

Interpretasi ini memperkuat temuan permukaan bahwa kawasan ini memiliki tingkat pelarutan tinggi dan jalur conduit bawah tanah yang berkembang baik.



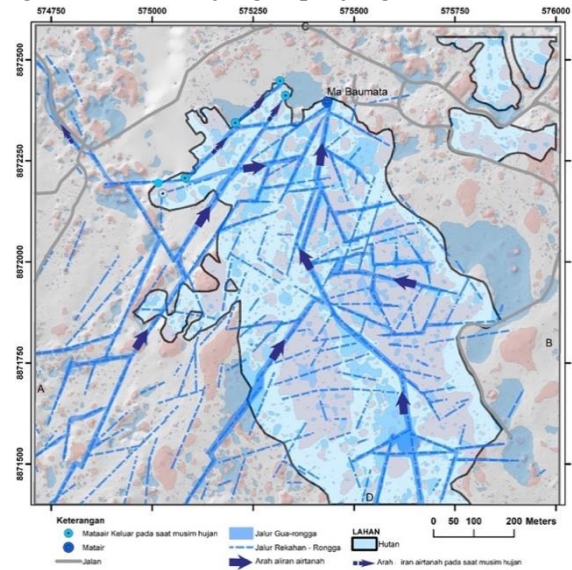
Gambar 7. Hasil Interpretasi Geolistrik 2D Daerah Penelitian

Interpretasi Aliran Air Tanah

Berdasarkan morfologi batas bawah batugamping, arah rongga dan kanal bawah permukaan, dan lokasi gua dan patahan, dapat dipetakan arah aliran air tanah yang mengalir menuju Gua Mata Air Baumata (Gambar 8).

Mata air ini memiliki debit >100 L/detik dan berperan sangat penting bagi masyarakat sekitar. Air ini dimanfaatkan untuk irigasi pertanian, sumber air baku PDAM Kabupaten Kupang (60–75 L/detik), melayani ± 70.000 penduduk, kolam renang wisata Baumata yang dikelola oleh Dinas Pariwisata Kabupaten Kupang. Oleh karena itu,

keberlanjutan kawasan hulu menjadi faktor kritis bagi ketahanan air jangka panjang.

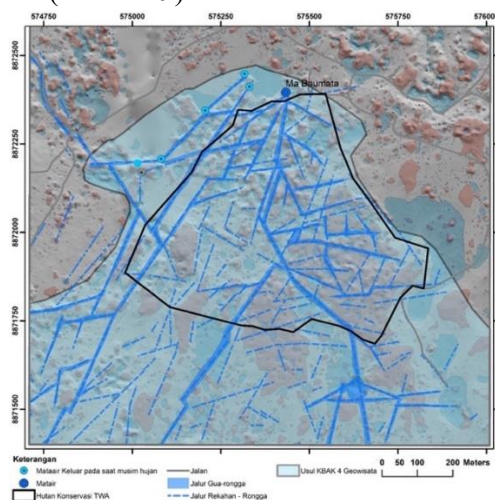


Gambar 8. Arah aliran air tanah melalui rongga dan gua pada batu kapur di daerah penelitian.

Implikasi Konservasi dan Penetapan Kawasan Karst

Total vegetasi rapat mencapai 58,68 ha, dengan 36,21 ha berada dalam kawasan resmi Taman Wisata Alam Baumata (SK 357/2016). Data geolistrik dan analisis lineament menunjukkan bahwa area ini merupakan zona karst aktif, sehingga rentan terhadap gangguan dan pencemaran.

Oleh karena itu, kawasan ini direkomendasikan untuk ditetapkan sebagai KBAK Level 4, yaitu zona lindung dimana aktivitas hanya diperbolehkan untuk konservasi dan geowisata berbasis edukasi (Gambar 9).



Gambar 9. Kawasan yang diusulkan menjadi Kawasan Bentang Alam Karst Level 4 (KBAK) untuk konservasi dan hanya digunakan sebagai lokasi geowisata.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa lanskap karst Baumata mengalami karstifikasi intensif yang ditandai oleh bukit dan lembah karst, rekahan, gua, serta rongga bawah permukaan yang berasosiasi dengan tutupan vegetasi rapat seluas 58,68 ha, termasuk 36,21 ha kawasan hutan konservasi, dimana vegetasi rapat berperan penting dalam menjaga keseimbangan hidrologi dan mengurangi erosi. Analisis citra drone dan survei lapangan mengidentifikasi lineament dominan (NE–SW dan NW–SE) yang mengontrol orientasi bukit, lembah, serta lokasi gua dan rongga, berfungsi sebagai jalur utama aliran air tanah. Investigasi geolistrik (VES dan 2D Wenner) menunjukkan ketebalan batugamping 15–90 m, mengungkap keberadaan rongga dan kanal bawah permukaan yang mengalirkan air menuju Gua Mata Air Baumata dengan debit >100 L/detik, dimanfaatkan untuk irigasi serta menyediakan 60–75 L/detik bagi PDAM, melayani ±70.000 penduduk. Berdasarkan fungsi hidrologi, nilai ekologis, dan kerentanannya, kawasan ini direkomendasikan untuk ditetapkan sebagai Kawasan Bentang Alam Karst (KBAK) Level 4 dengan pemanfaatan terbatas pada konservasi dan geowisata berkelanjutan, disertai kebijakan pendukung berupa perlindungan zona hulu mata air, pedoman pengelolaan geowisata yang ramah lingkungan, monitoring kualitas air dan stabilitas geomorfologi, serta penelitian lanjutan ke arah selatan untuk memetakan kelanjutan sistem karst.

5. REFERENSI

- [1] Aquater, *Groundwater Investigation Development and Management for Rural and Urban Supply Project in Western Timor*, Final Report, April 1993, 187 p.
- [2] Banunaek, N. (2005). *Potensi dan Dampak Pemanfaatan Air Tanah Terhadap Masyarakat Kota Kupang*. Seminar Pengembangan dan Pemberdayaan Konsumen Jasa Konstruksi, YPKJI, Kupang.
- [3] Ford, D. & Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Sussex: John Wiley & Sons.
- [4] Haryono, E. & Adji, T. N. (2004). *Bahan Ajar Geomorfologi dan Hidrologi Karst*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [5] Keputusan Direktur Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam Nomor SK.76/IV-KKBHL/2015 tentang Penetapan Taman Buru di Indonesia.
- [6] Loke, M. H. (2000). *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies: A Practical Guide to 2D & 3D Electrical Imaging Surveys*. Technical Report.
- [7] Mylroie, J. E. & Carew, J. L. (1995). "Karst Development on Carbonate Islands." *AAPG Memoir 63: Unconformities and Porosity in Carbonate Strata*, pp. 21.
- [8] Rosidi, H. M. D., Tjokrosapoetro, S., & Gafoer, S. (1979). *Peta Geologi Bersistem Pulau Timor, Lembar Kupang*, Skala 1:250.000. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- [9] Tjokrosapoetro, S. (1978). "Holocene Tectonics on Timor Island, Indonesia." *Bulletin Geology Survey of Indonesia*, No. 4, pp. 49–63.
- [10] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya.
- [11] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan.
- [12] Yevjevich, V. (1976). "Advanced Approaches to Karst Hydrology and Water Resources Systems." In: *Karst Hydrology and Water Resources*, Water Resources Publications, Colorado, USA, pp. 209–221.