

## PEMETAAN DAN IDENTIFIKASI JALUR GUA (SPELEOLOGI) DI DESA BAUMATA DAN HUBUNGANNYA DENGAN ALIRAN AIR TANAH

*MAPPING AND IDENTIFICATION OF CAVE PATHWAYS (SPELEOLOGY) IN BAUMATA VILLAGE AND THEIR CORRELATION WITH GROUNDWATER FLOWS*

**Noni Banunaek dan Aisyah Ahmad**

Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana  
e-mail: [nbanunaek@staf.undana.ac.id](mailto:nbanunaek@staf.undana.ac.id) dan [aisyah.ahmad@staf.undana.ac.id](mailto:aisyah.ahmad@staf.undana.ac.id)

### Abstrak

Pemetaan dan identifikasi jalur rekahan, rongga dan gua serta morfologi batas bawah batugamping dapat menunjukkan pola aliran air tanah di suatu daerah. Dusun Bonen, Desa Baumata, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang, merupakan salah satu potensi destinasi wisata yang memiliki mata air bersumber dari rongga dan gua karst. Mata air di lokasi ini dapat dimanfaatkan sebagai sumber air bersih bagi masyarakat sekitar, dan dapat pula dijadikan sebagai potensi geowisata. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jalur rekahan, rongga dan gua yang ada di bentang alam karst dan hubungannya dengan aliran air tanah, serta potensi geowisata dan Hutan Taman Wisata Alam sekaligus konservasi hutan dan bentang alam karst. Penelitian ini menggunakan metode pemetaan melalui foto udara dan melalui metode geolistrik. Hasil pengamatan dan pemetaan lapangan bentang alam karst disintesis dengan hasil pemetaan foto udara dan pemetaan bawah permukaan untuk dianalisis bentang alam karst, rekahan, jalur rongga dan gua, pola aliran air permukaan dan air tanah serta tutupan lahan pada bentang alam karst. Hasil sintesis memberikan gambaran potensi geowisata dan bagaimana konservasi air tanah bentang alam karst di daerah penelitian.

**Kata kunci:** rekahan; rongga; gua; air tanah; geolistrik

### Abstract

*Mapping and identifying fracture paths, cavities and caves as well as the morphology of the bottom boundary of limestone can indicate groundwater flow patterns in an area. Bonen Hamlet, Baumata Village, Taebenu District, Kupang Regency, is a potential tourist destination that has springs originating from karst cavities and caves. The springs at this location can be used as a source of clean water for the surrounding community, and can also be used as geotourism potential. The aim of this research is to determine the fracture paths, cavities and caves that exist in the karst landscape and their relationship with groundwater flow, as well as the potential for geotourism and Natural Forest Tourism Parks as well as forest and karst landscape conservation. This research uses mapping methods via aerial photography and geoelectric methods. The results of observations and field mapping of the karst landscape were synthesized with the results of aerial photography and subsurface mapping to analyze the karst landscape, fractures, cavity and cave paths, surface and ground water flow patterns and land cover in the karst landscape. The synthesis results provide an overview of the potential for geotourism and how to conserve groundwater in the karst landscape in the research area.*

**Keywords:** fracture; cavity; cave; groundwater; geoelectric

### PENDAHULUAN

Dusun Bonen, Desa Baumata, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang, merupakan salah satu potensi destinasi wisata yang memiliki mata air bersumber dari rongga dan gua karst dengan total debit rata-rata >150 liter/detik (Aqater, 1992). Terdapat pula Hutan Taman Wisata Alam atau Hutan Konservasi (SK: 357/Menlhk/Setjen/PLA.0/5/2016), Kawasan Bentang Alam Karst (Permen ESDM No. 17 Tahun 2012), terdapat gua-gua dan rongga karst

basah, gua sejarah, serta kolam renang alami dan buatan. Mata air di lokasi ini sangat penting karena merupakan mata air karst, dimanfaatkan sebagai sumber air bersih masyarakat di sekitarnya, dimanfaatkan PDAM Kab. Kupang untuk air bersih di Baumata, Penfui, Naimata dan Liliba, dimanfaatkan PT Aquamor, pertanian lahan kering dan basah, peternakan dan perikanan. Kelebihan air dari mata air ini masuk kembali ke dalam tanah (recharge) ke cekungan air tanah Penfui-Oesapa.

Secara geomorfologi, cekungan air tanah baumata merupakan bentang alam karst dimana aliran air tanah pada cekungan air tanah mengalir melalui ruang antar butir (pori-pori) dan rekahan, celahan, rongga dan gua, mataair keluar melalui rongga-rongga dan gua. Pemetaan dan identifikasi jalur rekahan, rongga dan gua serta morfologi batas bawah batugamping dapat menunjukkan pola aliran air tanah pada daerah tersebut.

Peran Hutan Taman Wisata Alam sangat penting sebagai konservasi air tanah dan mata air Baumata dan sebagai lokasi wisata alam. Hutan Taman Wisata Baumata berada di bentang alam karst maka akan menjadi daya tarik wisata Geowisata apabila sejarah / cerita terbentuknya rekahan, rongga dan gua dapat diceritakan secara ilmiah. Selain itu status sebagai Hutan Konservasi maka menjaga kelestarian perlu dilakukan agar tidak terjadi pembukaan lahan. Pemetaan tutupan lahan dapat dilakukan melalui pemetaan menggunakan foto udara (drone) dan pengamatan dilapangan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui jalur rekahan, rongga dan gua yang ada di bentang alam karst dan hubungannya dengan aliran air tanah, serta potensi geowisata dan Hutan Taman Wisata Alam sekaligus konservasi hutan dan bentang alam karst.

Dengan diketahuinya jalur rekahan, rongga dan gua, ketebalan / morfologi batas bawah batugamping, kondisi hutan taman wisata / hutan konservasi, kondisi bentang alam karst maka dapat dilakukan tindak lanjut kajian untuk melakukan upaya konservasi hutan taman wisata, konservasi bentang alam karst dan konservasi air tanah yang keluar sebagai Mataair Baumata, Kajian ini juga nantinya penting untuk mengembangkan potensi Geowisata - Hutan Taman Wisata Baumata sekaligus konservasi hutan dan bentang alam karst. Kondisi inilah maka dilakukan penelitian dengan judul Pemetaan dan Identifikasi Jalur Gua (Speleologi) di Desa Baumata dan Hubungannya dengan Aliran Air Tanah untuk Mendukung Desa Wisata Di Dusun Bonen.

## **METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang akan dilaksanakan adalah metode survey lapangan dan melakukan pemetaan, pemetaan menggunakan drone, dan penyelidikan bawah permukaan secara tidak langsung melalui pendugaan geolistrik.

1. Survey lapangan berupa pengamatan bentang alam karst secara langsung di lapangan, kemudian dilakukan pengukuran, pendataan

dan pemetaan, serta pengambilan gambar/foto. Survey ini dilakukan terhadap bentuk-bentuk morfologi karst, seperti perbukitan, lembah, lembah yang memanjang, rongga dan gua, morfologi dalam gua, rekahan, patahan dan lain lain. Pengamatan dan pemetaan juga dilakukan terhadap tutupan lahan, hubungan antara hutan, karst dan air tanah di daerah penelitian. Pengukuran dilakukan berupa pengukuran debit mataair yang ada dilokasi penelitian.

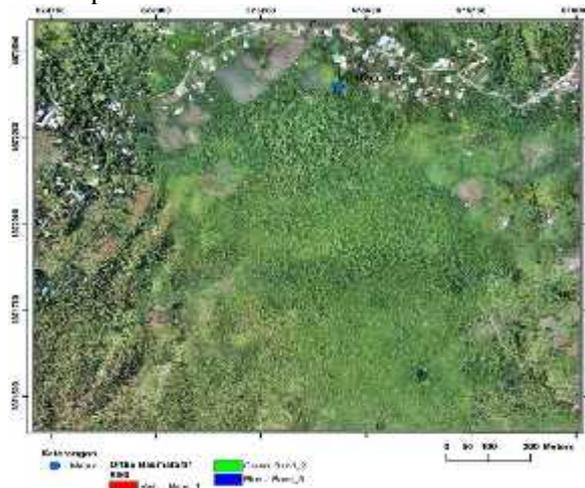
2. Pemetaan melalui foto udara menggunakan drone. Pemetaan ini dilakukan terhadap bentang alam karst dan kondisi tutupan lahan Kawasan hutan, Pemetaan bentang alam karst yaitu mengamati dan memetakan morfologi karst berupa perbukitan, lembah, kelurusan, rongga dan gua, rekahan, dan patahan serta hubungannya dengan aliran air permukaan. Pemetaan kondisi tutupan lahan yang dilakukan yaitu mengamati kerapatan tutupan lahan Kawasan Hutan. Hasil pemetaan foto udara akan membantu penyelidikan / survey lapangan dan survey lapangan akan membantu interpretasi bentang alam dan tutupan lahan hasil foto udara,
3. Pemetaan bawah permukaan secara tidak langsung dilakukan menggunakan metode geolistrik Wenner 2 D dan VES. Pemetaan ini dilakukan pada daerah yang diduga terdapat rongga dan gua dibawah permukaan, baik yang mengandung air maupun yang kering, sehingga dapat dikorelasikan hubungannya dengan aliran air tanah dan keluarnya mataair. Pemetaan bawah permukaan juga dimaksudkan untuk mengetahui ketebalan batugamping karena ketebalan batugamping berpengaruh pada bentang alam karst.
4. Hasil pengamatan dan pemetaan lapangan bentang alam karst disintesis dengan hasil pemetaan foto udara dan pemetaan bawah permukaan untuk dianalisis bentang alam karst, rekahan, jalur rongga dan gua, pola aliran air permukaan dan air tanah pada bentang alam karst. Hasil sintesis memberikan gambaran potensi Geowisata dan bagaimana konservasi air tanah bentang alam karst.
5. Hasil pengamatan dan pemetaan lapangan bentang alam karst disintesis dengan hasil pemetaan foto udara. Hasil sintesis memberikan gambaran tutupan lahan, potensi Hutan Taman Wisata dan bagaimana konservasi hutan taman wisata dan mataair yang keluar hutan taman wisata, mengingat terdapat hubungan sumber mataair tersebut

juga berasal dari luar kawasan hutan. Berdasarkan hasil sintesis ini didiskusikan dengan BPKH XIV Kupang, untuk dipelajari dan

6. Bagaimana mengembangkan Potensi Hutan Konservasi Hutan Taman Wisata Alam sekaligus bagaimana melakukan konservasi dan menambah daya tarik wisata sebagai hutan taman wisata alam.
7. Hasil penelitian ini dipublikasikan dan Bersama dengan BPKH XIV Kupang disosialisasikan kepada masyarakat.

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN Kondisi Hutan**

Kondisi bentang alam karst dan hutan taman wisata alam Baumata diamati melalui pengamatan foto udara (drone) dan melalui pengamatan langsung di lapangan. Hasil pemetaan drone di daerah penelitian diolah menjadi orthophoto dan DSM. Orthophoto daerah penelitian menampilkan foto 3 dimensi daerah penelitian sehingga dapat dipetakan situasi dan tutupan lahan daerah penelitian. Hasil pemetaan orthophoto dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2.

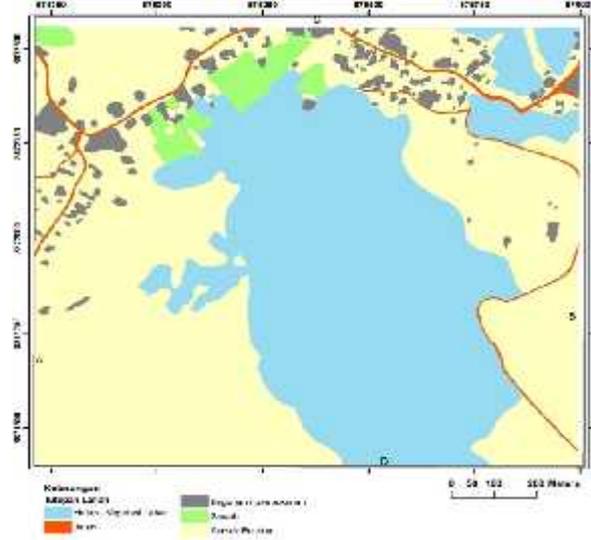


Gambar 1. Hasil Orthophoto Daerah Penelitian



Gambar 2. Hasil Orthophoto Daerah Penelitian

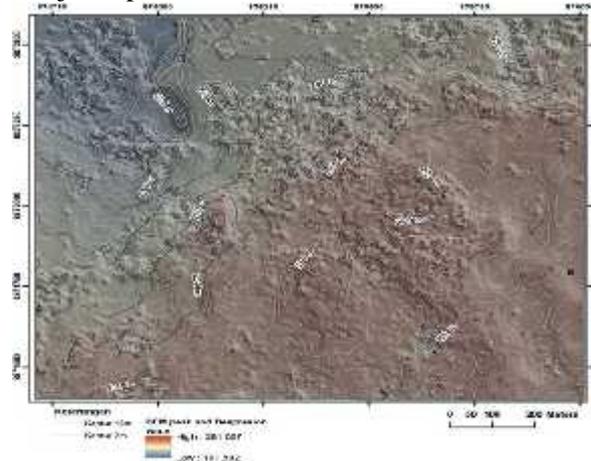
Berdasarkan hasil pemetaan Orthophoto, daerah yang bervegetasi pepohonan lebat di kategorikan sebagai Hutan, sedangkan yang pepohonannya jarang / renggang dan tidak tinggi dan didominasi oleh semak-belukar dikategorikan sebagai semak belukar, semua rumah / bangunan dikategorikan sebagai permukiman, sawah dan jalan. Luas tutupan lahan di daerah penelitian yang bervegetasi lebat (hutan) adalah seluas 58,68 Ha. Peta tutupan lahan disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta Tutupan Lahan Daerah Penelitian

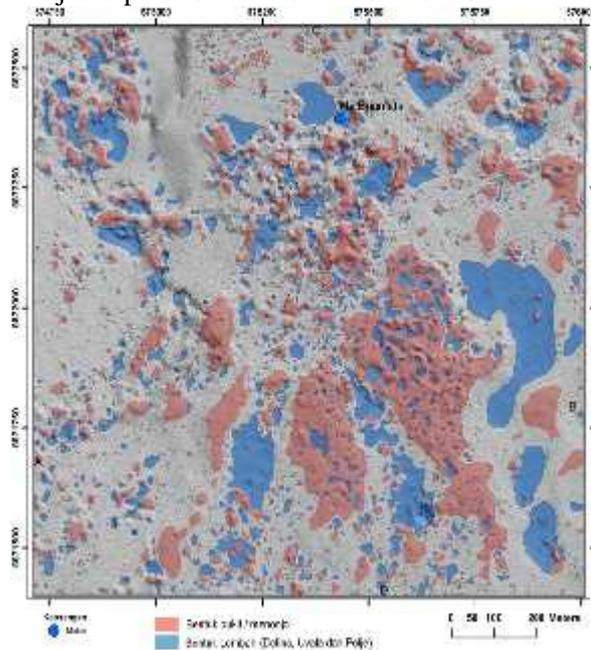
**Kondisi Kawasan Bentang Alam Karst**

Pemetaan drone yang diolah menjadi DSM kemudian dilakukan penyortiran tutupan lahan oleh vegetasi, infrastruktur dan bangunan menggunakan *Software Geomatica* maka dapat dibuat DEM daerah penelitian. Dari data DEM dibuat peta topografi dengan interval dapat mencapai 0,25 m dan pada peta yang ditampilkan dibuat dalam interval 2m. Hasil pengolahan DEM disajikan pada Gambar 4.

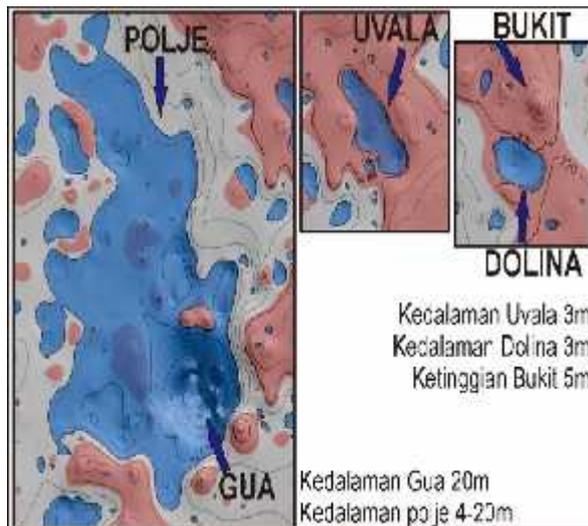


Gambar 4. DEM Daerah Penelitian yang Tampilkan Bersama Kontur Interval 2m dan Bayangan Bukit

Berdasarkan pemetaan drone dapat dianalisa bentuk bukit dan lembah daerah penelitian, disajikan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



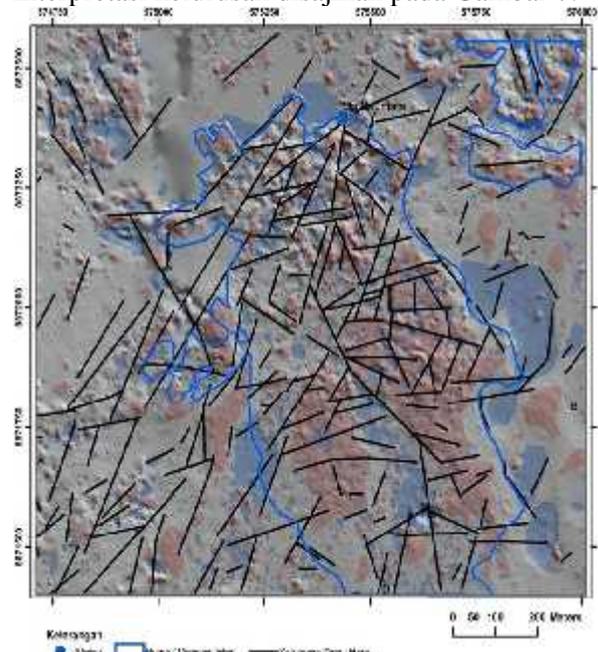
Gambar 5. Bentuk Bukit dan Lembah Daerah Penelitian



Gambar 6. Contoh bentuk Dolina, Uvala, Polje dan Gua Daerah Penelitian

Berdasarkan pemetaan drone dapat dianalisa kelurusan yang diinterpretasikan sebagai rekahan / patahan yang digabungkan dengan peta bukit dan lembah serta daerah bervegetasi lebat (hutan) di daerah penelitian. . Bentang alam berupa bukit dan lembah dominan terjadi pada daerah yang bervegetasi lebat. Sehingga dapat diketahui bahwa karstifikasi yang intensif di daerah penelitian berupa lembah dan bukit berada pada daerah yang bervegetasi lebat, dan berada pada daerah yang banyak rekahan. Hasil ini menunjukkan bahwa peran hutan sangat penting

menyebabkan berkembangnya bentang alam karst. Dedaunan menyebabkan penambahan keasaman tanah dan mempercepat proses pelarutan batugamping menjadi lembah dan gua. Interpretasi kelurusan disajikan pada Gambar 7.



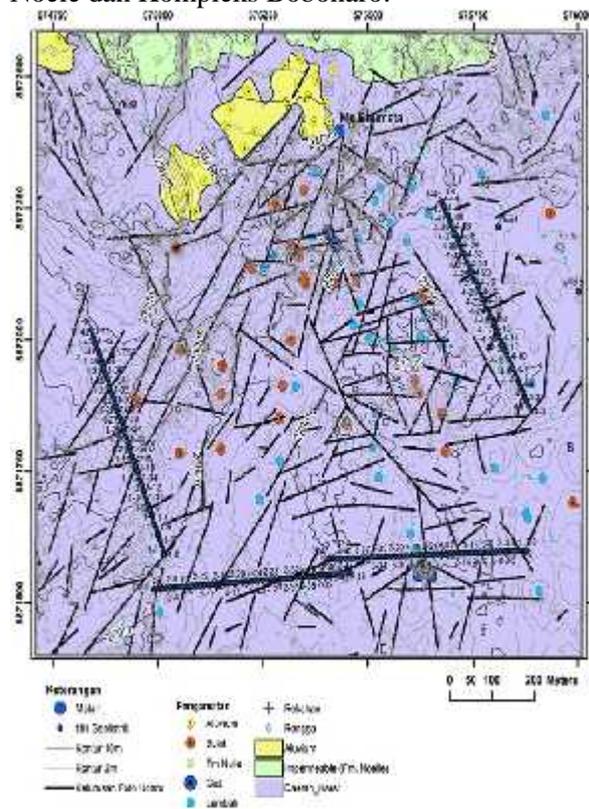
Gambar 7. Interpretasi Kelurusan yang di Tampilkan pada Bentang Alam Karst dan Daerah yang Bervegetasi Lebat di Daerah Penelitian

#### Pemetaan Jalur Rekahan, Rongga Dan Gua

Bentang alam karst juga dipelajari dari pengamatan langsung dilapangan terhadap sebaran batuan dan bentang alam dan pengukuran Geolistrik VES Schlumberger dan 2D Wenner. Pengukuran geolistrik bertujuan untuk mengetahui ketebalan batugamping dan batuan impermeable yang berada dibawah batugamping, morfologi batas bawah batugamping (permeable), dan melalui 2D dapat dipelajari rekahan dan rongga dibawah permukaan. Hasil pengamatan disajikan pada Gambar 8.

Hasil pengamatan sebaran batuan dapat dibedakan menjadi batugamping koral yang berkembang sebagai daerah karst, napal pasiran berselang seling dengan batupasir dari Formasi Noele dan soil yang tebal (alluvium). Napal pasiran (Fm. Noele) berada dibawah batugamping yang secara hidrogeologi berperan sebagai lapisan impermeable. Pada bagian utara telah dijumpai Fm. Noele yang berperan sebagai lapisan impermeable yang berada dibawah batugamping, menunjukkan batugamping di bagian utara telah tipis dan hanya setempat-setempat berada diatas Fm. Noele. Di diduga dibawah alluvium terdapat diatas Fm. Noele. Munculnya mataair Baumata yang mengalir melalui gua, rongga dan rekahan

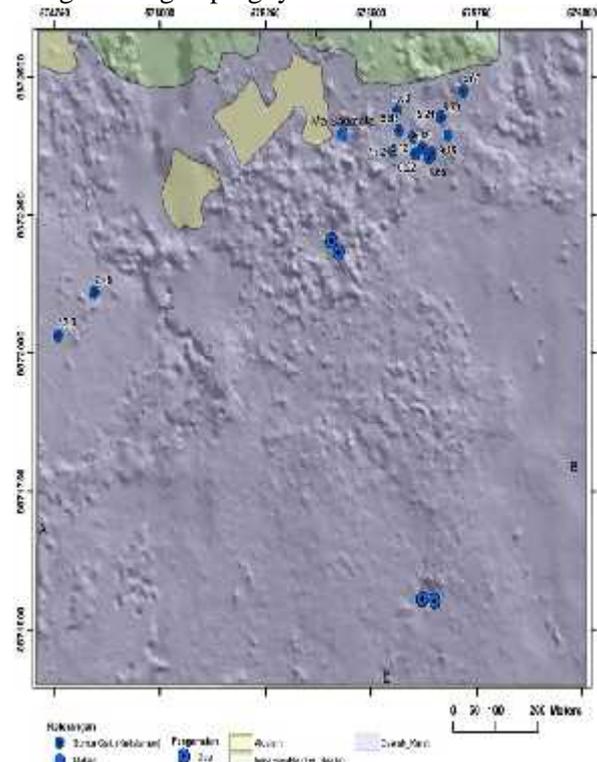
pada batugamping akibat kontak batugamping dengan lapisan impermeable (Fm. Noele) yang berada dibawahnya. Selanjutnya hingga kearah Selatan sebaran batuan dipermukaan seluruhnya berupa batugamping yang ditandai sebagai daerah karst. Ke bagian selatan daerah penelitian, batugamping semakin tipis, karena sekitar 100 meter dari batas Selatan daerah penelitian (di luar daerah penelitian) telah dijumpai singkapan Fm. Noele dan Kompleks Bobonaro.



Gambar 8. Peta Sebaran Batuan, Kelurusan dan Lokasi Interpretasi Kelurusan yang di Tampilkan pada Bentang Alam Karst dan Daerah yang Bervetasi Lebat di Daerah Penelitian

Sumur gali hanya dijumpai di bagian utara dan barat daerah penelitian (Gambar 9). Kedalaman sumur gali umumnya hingga dekat dengan batas batugamping atau pada batas batugamping, sehingga secara tidak langsung kedalaman sumur gali dapat memberikan gambaran ketebalan batugamping. Pada Gambar 9 terlihat kedalaman sumur gali di bagian utara adalah berkisar 4,6 – 15 m, sedangkan dibagian barat kedalamannya 17 - 21 m, ini menunjukkan ketebalan batugamping di bagian selatan daerah penelitian adalah 5 – 15 m, dan di bagian barat adalah 17 – 21 m. Di bagian Tengah terdapat mataair yang keluar pada kontak batugamping (batugamping berkisar 1m) kemudian di bagian tengah terdapat dua gua horizontal. Di bagian setalan terdapat gua vertical

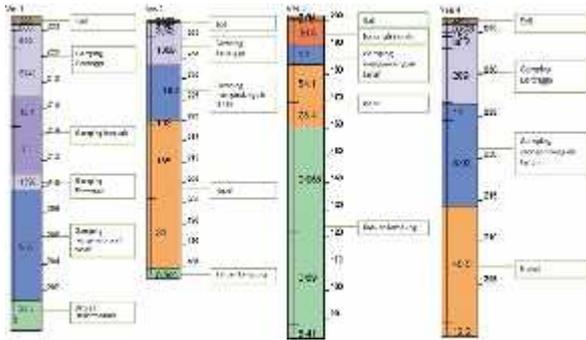
20 m, dan masih bisa masuk lebih dalam lagi belum dijumpai air, ini menunjukkan bagian Tengah batugampingnya tebal.



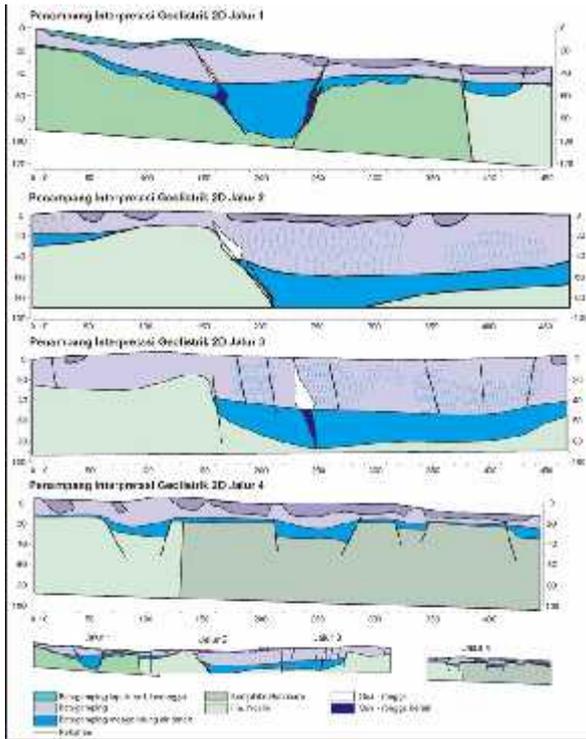
Gambar 9. Peta Sebaran Batuan, dan Lokasi Sumur Gali dan Kedalamanya di Daerah Penelitian

Pengukuran geolistrik VES dilakukan sebanyak 4 lokasi dengan tujuan hanya untuk mengetahui ketebalan batugamping. Geolistrik 2D dilakukan sebanyak 4 penampang untuk mengetahui ketebalan / batas bawah batugamping secara lateral di penampang atau morfologi batas batugamping dengan lapisan impermeable dan adanya gua, rongga dan rekahan dibawah permukaan. Hasil interpretasi geolistrik VES disajikan pada Gambar 10.

Berdasarkan hasil geolistrik 2D (Gambar 11) dapat diinterpretasi morfologi batas bawah batugamping, patahan, gua dan rekahan dibawah permukaan. Pada Gambar 10. terlihat ketebalan batugamping bervariasi dari 15 m hingga 90 m. Dibawah batugamping diinterpretasi terdapat lapisan impermeable berupa napal (Fm. Noelle) dan lempung dari Kompleks Bobonaro. Batas antara lempung dan napal akibat patahan, dan patahan tersebut juga mengontrol terbentuknya cekungan dan ketebalan batugamping. Batugamping yang tebal terdapat dibagian tengah selatan daerah penelitian, patahan dan rekahan juga mengontrol terbentuknya rekahan, rongga dan celahan. Rekahan, rongga dan celahan pada batugamping yang tebal lebih dominan.

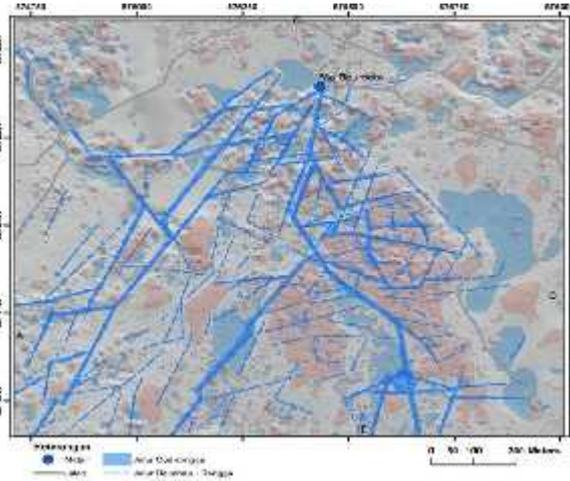


Gambar 10. Hasil Interpretasi Geolistrik VES di Daerah Penelitian



Gambar 11. Hasil Interpretasi Geolistrik 2D

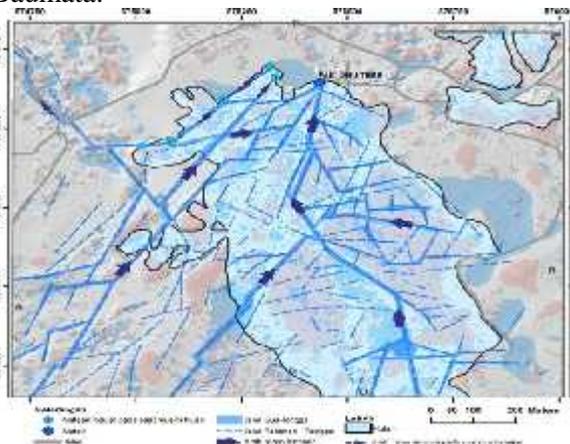
Melalui analisis kelurusan yang diinterpretasikan sebagai jalur rekahan, pengamatan lapangan, analisa morfologi daerah karst, interpretasi data geolistrik VES dan 2D, dan batas bawah batugamping, maka dapat dipetakan jalur rekahan, rongga gua dan hubungannya dengan air tanah di lokasi kegiatan. Berdasarkan hasil pemetaan kelurusan terutama kelurusan yang Panjang dan berhubungan serta didukung oleh data pengamatan lapangan dan data geolistrik maka dapat diinterpretasikan jalur gua, rongga, rekahan bawah permukaan di daerah penelitian. Hasil pemetaan jalur gua, rongga dan rekahan lokasi kegiatan dapat dilihat pada Gambar 12. Terlihat gua dan rongga bawah permukaan berhubungan dengan Mataair Baumata. Lembah-lembah dipermukaan menyebabkan air hujan langsung masuk ke dalam tanah melalui ponor pada dolina, uvala dan polje.



Gambar 12. Jalur Gua dan Rongga di Daerah Penelitian

Berdasarkan batas bawah batugamping dan arah rongga dan gua di daerah penelitian maka dapat dipetakan aliran airtanah di daerah penelitian yaitu melalui rongga dan gua yang mengarah ke Gua mata air Baumata (Gambar 13). Apabila pada musim hujan, gua atau rongga berada di sebelah mataair baumata yang keluar di sawah. Selain itu satu rongga mengarah ke arah Aquamor. Selain rongga dan gua, akifer juga terdapat pada runga antar butir pada batugamping yang berada pada cekungan batas bawah batugamping.

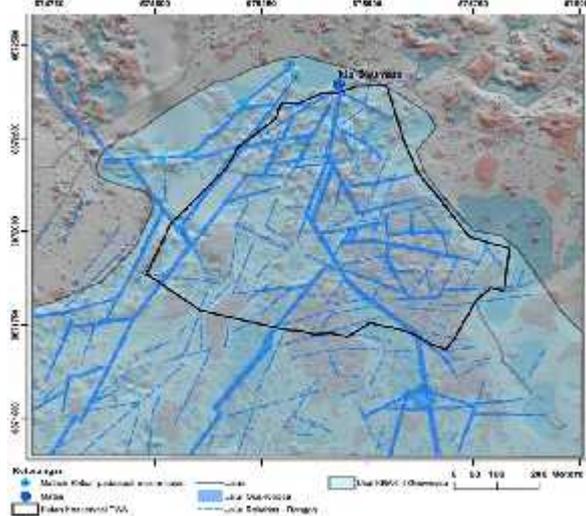
Besarnya debit mata air Baumata dikarenakan hampir seluruh aliran air tanah yang melalui rongga dan gua mengalir kearah mata air Baumata. Sebagian air bocor ke arah sawah dan Aquamor, dan sebagian lagi mengalir melalui ruang antar butir kearah utara dari mata air melalui batugamping yang tipis. Pencemaran air tanah yang terjadi di bagian hulu terutama pada gua dan rongga yang berhubungan dengan mataair akan langsung berpengaruh pada mata air Baumata.



Gambar 13. Arah Aliran Air Tanah Melalui Rongga dan Gua pada Batugamping di Daerah Penelitian

Bentang Alam Karst di daerah penelitian terlihat di permukaan tanah yang berupa perbukitan dan lembah-lembah berupa dolina, uvala dan polje, terdapat ponor. Proses pelarutan intensif terjadi pada batugamping dibuktikan dengan banyaknya rongga dipermukaan, rongga kebawah permukaan, gua vertical dan gua horizontal. Dibawah permukaan terdapat aliran air tanah melalui rongga dan gua dibawah permukaan, pada gua-gua terdapat stalagtit, dan minim stalakmit, gua-gua masih sangat alami.

Konservasi daerah hulu mata air Baumata sangat penting, oleh karena itu Kawasan Bentang Alam Karst (KBAK) di daerah penelitian perlu ditingkatkan menjadi KBAK level 4 (ditetapkan) untuk konservasi sekaligus mendukung konservasi kawasan hutan dan hanya dijadikan kawasan wisata alam atau geowisata. Kawasan yang diusulkan menjadi Kawasan Bentang Alam Karst disajikan pada Gambar 14. Kawasan ini secara geologi layak untuk ditingkatkan menjadi KBAK Level 4. Sebenarnya KBAK ini masih menerus kearah selatan diluar daerah penelitian, sehingga disarankan untuk dilakukan penelitian hingga kebagian selatan daerah penelitian.



Gambar 14. Kawasan yang Diusulkan Menjadi Kawasan Bentang Alam Karst (KBAK) Level 4 untuk Konservasi dan Hanya Dimanfaatkan Sebagai Lokasi Geowisata

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kondisi Bentang Alam Karst daerah penelitian terdapat bentuk-bentuk dipermukaan dan bentuk-bentuk dibawah permukaan. Dipermukaan terdapat bukit dan lembah-lembah pelarutan seperti doline, uvala dan polje, gua dan rongga masuknya air. Sedangkan bentuk dibawah permukaan yaitu adanya gua dan rongga uang

mengalirkan air tanah permanen, dalam gua terdapat stalaktit. Kawasan Hutan Konservasi / Hutan Taman Wisata Alam Baumata luas kawasan 36,21 Ha dari luas itu terdapat 4,23 Ha yang lahanya berupa semak belukar. Kawasan Hutan dan Hutan disekitarnya yang lebat dan alami seluas 58,68 Ha, terdapat berbagai jenis flora dan fauna. Jalur rekahan, rongga dan gua yang ada di bentang alam karst menyaurkan air tanah, telah dipetakan dan mengarah ke gua Mataair Baumata.

### Saran

- 1) Perlu dipetakan Kawasan Bentang Alam Karst yang masih menerus di sebelah Selatan daerah penelitian.
- 2) Mengusulkan Kawasan Bentang Alam Karst Baumata menjadi level 4, yang telah ditetapkan dan berfungsi sebagai konservasi bentang alam dan Geowisata, sekaligus mendukung konservasi Kawasan Hutan.
- 3) Perlu dikembangkan fasilitas pendukung wisata di sekitar kolam renang baumata, dan perlu dikembangkan agro wisata guna mendukung destinasi wisata di daerah ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aquater, April 1993, Groundwater Investigation Development and Management for Rural and Urban Supply Project in Western Timor. Final Report, 187p.
- Banunaek, Noni. 2005. "Potensi dan Dampak Pemanfaatan Air Tanah Terhadap Masyarakat Kota Kupang", Seminar Pengembangan dan pemberdayaan Konsumen Jasa Konstruksi. YPKJI, Kupang
- Ford, D. dan William, P. (2007). Karst Hydrogeology and Geomorphology. Sussex: John Wiley and Sons
- Haryono, E., Adji, T.N. (2004). Bahan Ajar Geomorfologi Dan Hidrologi Karst. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada
- Myloie John E. and Carew James L., 1995. Karst Development on Carbonat Island. AAPG Memoir 63: "Unconformities and Porosity in Carbonate Strata". Published by AAPG USA, 21p.
- Rosidi H.M.D., Tjokrosapoetro S., dan S. Gafoer, 1979. Peta Geology Bersistem, Timor. Lembar Kupang, Skala 1:250.000, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Tjokrosapoetro, 1978. Holocene Tektonics on Timor Island, Indonesia. Bull. 4, Geology Survey of Indonesia, p.49-63