



## Karst dan Dinamika Tektonik Formasi Wapulaka Kota Baubau

Anna Irada La Ode Malim<sup>1\*</sup>, Wa Ode Amala RM<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Dayanu Ikhsanuddin

<sup>2</sup>Dinas Perumahan dan Pemukiman Kota Baubau

### Abstrak

Kota Baubau terletak di bagian barat daya Pulau Buton. Perkembangan dan pembangunan fisik serta ekonomi wilayahnya saat ini lebih terpusat pada bentangalam karst yang termasuk dalam Formasi Wapulaka karena lokasinya yang strategis. Namun, pembangunan di wilayah ini belum ditunjang dengan pemahaman yang memadai mengenai karakteristik karst itu sendiri. Pembentukan bentangalam karst dengan berbagai model morfologinya sangat dipengaruhi oleh aktifitas tektonik dan pelarutan. Pelarutan dapat membentuk rongga, meningkatkan porositas dan melemahkan batuan serta menyebabkan penurunan daya dukung lingkungan. Penelitian mengenai karakteristik karst diperlukan dalam pertimbangan penentuan arah pembangunan wilayah kota. Penelitian ini dilakukan dengan metode observasi lapangan dalam pengumpulan data morfologi permukaan dan bawah permukaan untuk menentukan tipe kelas karst, selanjutnya dikorelasikan dengan kelurusan topografi yang diidentifikasi dari peta SRTM, data sekunder berupa geologi regional dan hasil penelitian terdahulu, untuk membantu memahami peran tektonik dalam pembentukan morfologi karst tersebut. Perkembangan fitur karst permukaan dan bawah permukaan menunjukkan bahwa karst di wilayah ini termasuk kelas karst kompleks. Analisis kelurusan topografi menunjukkan dua periode deformasi yang berpengaruh pada orientasi morfologi karst. Korelasi data morfologi, kelurusan topografi, arah bukaan gua dan penelitian terdahulu mengindikasikan bahwa aktifitas tektonik sangat berpengaruh dalam pembentukan dan orientasi morfologi karst termasuk arah bukaan gua di bawah permukaan.

**Kata kunci:** tipe karst; gua; arah kelurusan; tektonik;

### Abstract

*Baubau City is located in the southwest part of Buton Island. The physical, economic and development of the city is currently more focused on the karst area, which is included in the Wapulaka Formation, due to its strategic location. However, development in this area has not been supported by an adequate understanding of the characteristics of the karst itself. The formation of karst landscapes with various morphological models is strongly influenced by tectonic activity and dissolution. Dissolution could form voids, increase porosity and weaken rocks and cause a decrease in the carrying capacity of the environment. Research on karst characteristics is needed to support the consideration of the direction of urban development. This research was conducted by using field observation methods in collecting surface and subsurface karst features to determine the karst class. Moreover, lineaments identified from the SRTM map correlated with a topographic map, regional geology and the results of previous studies are used to identify the role of tectonics in the formation of karst morphology. The development of surface and subsurface karst features indicates that the karst belongs to the complex karst class. Topographic lineament analysis shows two periods of deformation that affect the orientation of karst morphology. Correlation of morphological data, topographic lineaments and previous studies indicate that tectonic activity has an essential influence on the formation and orientation of karst morphology, including the direction of cave openings in the subsurface.*

**Keywords:** karst class; karst features; lineaments; tectonic.

---

\*) Korespondensi : iradaanna24@gmail.com

Diajukan : 20 Desember 2021

Diterima : 6 Januari 2023

Diterbitkan : 24 Januari 2023

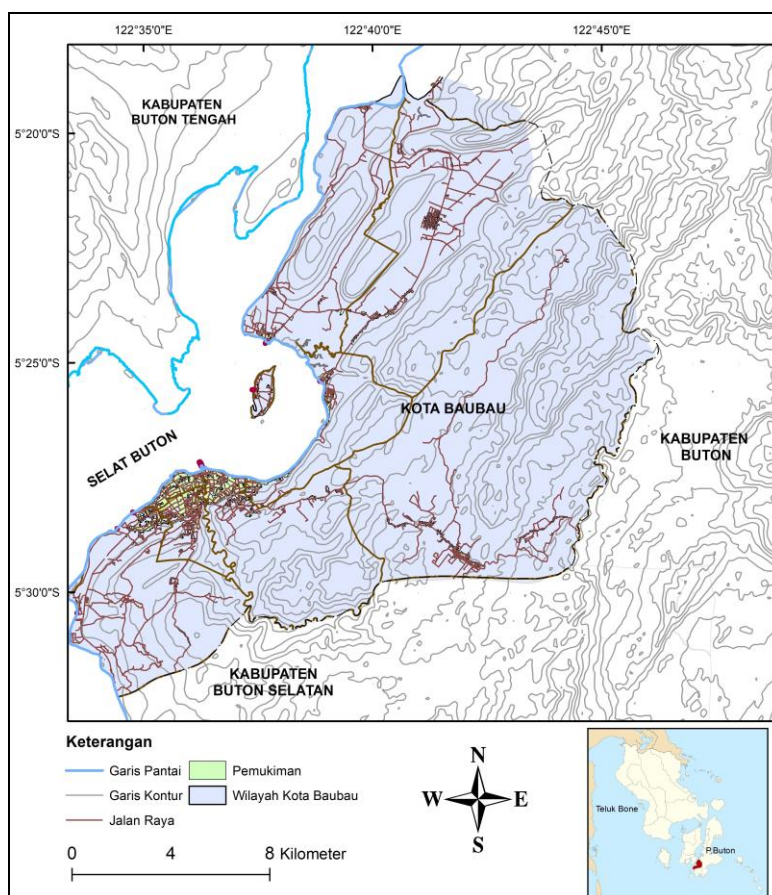
## PENDAHULUAN

Kota Baubau terletak di wilayah barat daya Pulau Buton, memiliki luas wilayah 295,072 km<sup>2</sup> (BPS Kota Baubau, 2021), berbatasan dengan Selat Buton dan Pulau Muna di sebelah barat dan Kabupaten Buton Selatan dan Laut Jawa di bagian selatan (Gambar 1). Posisi kota ini cukup strategis sebagai penghubung antara wilayah Indonesia bagian barat dan timur dalam jalur pelayaran dan perdagangan.

Sebagai kota bahari, laut berperan sebagai sarana utama dalam jalur transportasi, perdagangan dan juga sebagai sumber pangan dan mata pencaharian, sehingga menyebabkan perkembangan pembangunan kota ini lebih banyak terpusat di sekitar wilayah pesisir yang merupakan kawasan bentangalam karst dengan litologi dominan berupa batugamping terumbu. Pembentukan bentangalam karst dan berbagai model morfologi yang berkembang di dalamnya sebagian besar terjadi karena adanya interaksi antara fluida dan batuan yang memiliki sifat mudah larut (umumnya batugamping). Jejak aktivitas pelarutan yang umum dijumpai dalam

batugamping adalah rongga. Rongga umumnya lebih mudah terbentuk pada bagian lemah dari batuan, dapat berupa bidang perlapisan batuan, kekar dan sesar. Rongga dan rekahan yang terbentuk di dalam batuan ini dapat terus membesar dan terhubung satu dengan lainnya, sehingga dapat meningkatkan porositas, melemahkan batuan dan menimbulkan resiko yang signifikan bagi keselamatan penduduk, lingkungan dan konstruksi yang ada di atasnya. Keputusan yang diambil dalam perencanaan pembangunan dan pengembangan wilayah perkotaan harus mempertimbangkan kondisi lahan dan berbagai masalah keteknikan dan lingkungan yang dapat ditimbulkan, karenanya pemahaman mengenai karakteristik karst sangat diperlukan dalam keputusan yang berkaitan dengan perencanaan pembangunan wilayah kota.

Penelitian ini dibatasi pada bentangalam karst Formasi Wapulaka di Kota Baubau yang saat ini merupakan wilayah pusat pembangunan dan pemukiman warga. Kajian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik karst yang meliputi pola sebaran morfologi karst, memberi-



Gambar 1. Peta lokasi penelitian (dimodifikasi dari peta SRTM Pulau Buton)

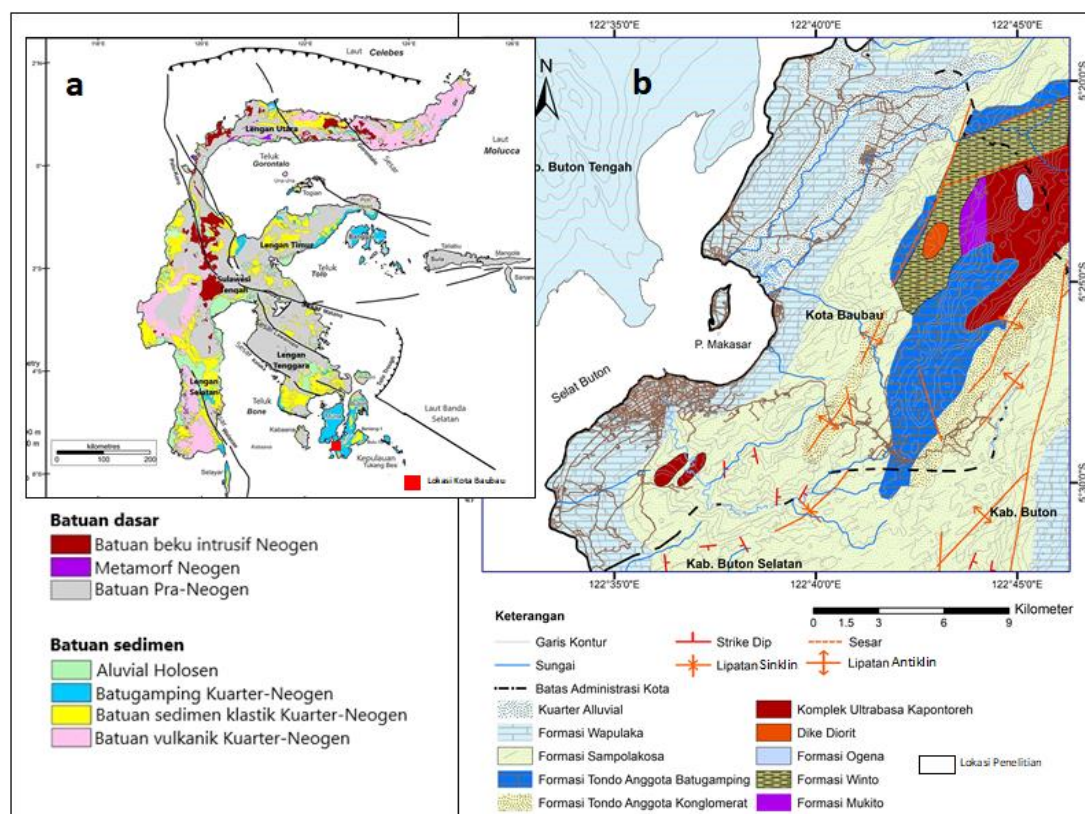
kan informasi mengenai tipe kelas karst berdasarkan morfologi permukaan dan bawah permukaan, serta pengaruh tektonik terhadap orientasi karst. Pengaruh tektonik terhadap perkembangan karst dalam beberapa penelitian umumnya berupa tektonik *uplift* yang menyebabkan tersingkapnya batugamping ke permukaan sehingga karstifikasi mulai berkembang. Dalam penelitian ini dilakukan interpretasi pengaruh tektonik terhadap arah perkembangan gua dan *sinkhole* di bawah permukaan yang diharapkan dapat dijadikan pertimbangan dalam tinjauan daya dukung lahan dalam pembangunan konstruksi.

### Geologi Regional

Secara umum telah diketahui bahwa kepulauan Buton, Kepulauan Tukang Besi dan sebagian wilayah timur Sulawesi adalah kepingan kontinen yang berasal dari bagian utara Australia yang pada masa Oligosen hingga Miosen bergerak menumbuk lengan barat Sulawesi (Pedoja dkk., 2018; Hall, 2018; Camplin dan Hall, 2014; Martosuwito, 2012; Satyana dan Purwaningsih, 2011).

Tumbukan kontinen-kontinen antara fragmen Australia dengan Sundaland Eurasia (bagian barat Sulawesi) diikuti banyak proses tektonik di timur Indonesia (Hall, 2018; Camplin dan Hall, 2014; Nugraha dan Hall, 2022). Diantaranya mengawali terjadinya *uplift* dan erosi di timur dan tenggara Sulawesi, penempatan ofiolit di lengan timur, (Hall, 2011, 2018; Pedoja dkk., 2018; Nugraha dkk., 2022), serta menjadi penyebab dari adanya ketidakselarasan di sepanjang wilayah Sulawesi (Nugraha dkk., 2022; Nugraha dan Hall, 2022). Selain itu, pergerakan fragmen Australia ini juga berkaitan dengan gaya dorong yang menyebabkan terbentuknya sesar geser sinistral Matano dan Lawanopo dan Kolaka (Hall, 2018; Camplin dan Hall, 2014).

Kepingan kerak Australia atau dalam berbagai tulisan dikenal dengan batuan pra-tumbukan tersingkap di tengah Pulau Buton, selain itu keseluruhan pulau tersusun oleh batuan *syn-collision* (Pedoja dkk., 2018). Dari studi petrologi diketahui bahwa lengan tenggara Sulawesi, Pulau Buton, Muna dan Kabaena tersusun oleh batuan sedimen Mesozoikum, batuan metamorf Paleozoikum hingga



**Gambar 2.** (a) Geologi Pulau Sulawesi (Camplin dan Hall, 2013; Nugraha dkk., 2022). (b) Peta Geologi Regional wilayah Kota Baubau dan sekitarnya (Sikumbang dkk., 1995).

Kenozoikum dan batuan ultrabasa (Sikumbang dkk., 1995; Camplin dan Hall, 2013). Batuan metamorf, ultrabasa dan batuan sedimen laut dangkal dan dalam merupakan bagian dari fragmen Australia yang terbentuk selama dan setelah proses *rifting* pada Mesozoikum (Pedoja dkk., 2018). Batuan Mesozoikum tersebut ditindih secara tidak selaras oleh batuan sedimen klastik karbonat yang berumur Miosen hingga *Recent*, yaitu batulanau hingga batugamping bioklastik dari Formasi Tondo yang di atasnya diendapkan secara tidak selaras Formasi Sampolakosa dengan ketebalan 30 m hingga 1000 m yang terdiri dari batugamping kalkarenit dan napal massive dan berlapis pada bagian bawah (Nugraha dkk., 2022). Di atas Formasi Sampolakosa secara tidak selaras terendapkan Formasi Wapulaka berupa batugamping terumbu berumur Kuarter yang membentuk rangkaian teras-teras di Kepulauan Buton hingga ke Kepulauan Tukang Besi.

### **Karstifikasi Formasi Wapulaka**

Beragam penelitian mengenai pembentukan bentangalam karst dalam hubungannya dengan proses tektonik regional, umumnya menjabarkan mengenai pergerakan tektonik secara vertikal berupa proses pengangkatan yang menyebabkan tersingkapnya formasi batugamping jauh ke atas permukaan laut sehingga proses karstifikasi mulai berkembang. Proses pengangkatan di Pulau Buton diperkirakan juga terjadi pada Zaman Kuarter yang menyebabkan batugamping terumbu Formasi Wapulaka terutama di bagian timur Pulau Buton mengalami pengangkatan hingga mencapai 700 m dari permukaan laut (Satyana dan Purwaningsih, 2011). Pengangkatan tersebut disertai dengan pembentukan undakan atau teras-teras terumbu di Kepulauan Buton dan Kepulauan Tukang Besi. (Pedoja dkk., 2018; Nugraha dkk., 2022). Undakan atau teras terumbu terbentuk oleh pengangkatan dan interaksi antara erosi gelombang di permukaan laut, biokonstruksi dan pengendapan di area sepanjang pantai (Pedoja dkk., 2018).

Berdasarkan studi terhadap batugamping terumbu dari undakan tersebut diperkirakan bahwa kecepatan pengangkatan pada Pleistosen Atas dan Tengah adalah 0.1 hingga 0.3 mm per tahun (Pedoja dkk., 2018; Nugraha dan Hall, 2022).

Dalam genesa dan evolusi karst, tektonik stress juga berperan dalam mengontrol terbentuknya *fissure* atau rekahan alami yang bersifat permeable (Shanov dan Kostov, 2015). Pengaruh tektonik stress dapat berupa intensitas lipatan, patahan dan stress pada batuan yang memiliki tingkat porositas beragam. Rekahan yang dipicu oleh aktifitas neotektonik di wilayah karst aktif adalah salah satu faktor penting yang mengontrol perkembangan morfologi karst bawah permukaan berupa gua atau rekahan di bawah permukaan.

Shanov dan Kostov (2015) juga menyatakan bahwa jalur rekahan terbaik untuk aliran air bawah tanah dalam wilayah karst adalah rekahan yang berarah tegak lurus tegasan utama minimum milik stress yang paling muda, yaitu rekahan tarik pada batuan yang tidak jauh dari permukaan atau dapat juga terbentuk karena kekar gerus akibat pengaruh stress yang lebih tua, tetapi memiliki arah orientasi tegak lurus kompresi minimum milik tektonik stress yang lebih muda atau jika dalam kondisi dekat dengan permukaan, perkembangan bukaan gua sepanjang arah tegasan utama yang termuda.

### **METODOLOGI**

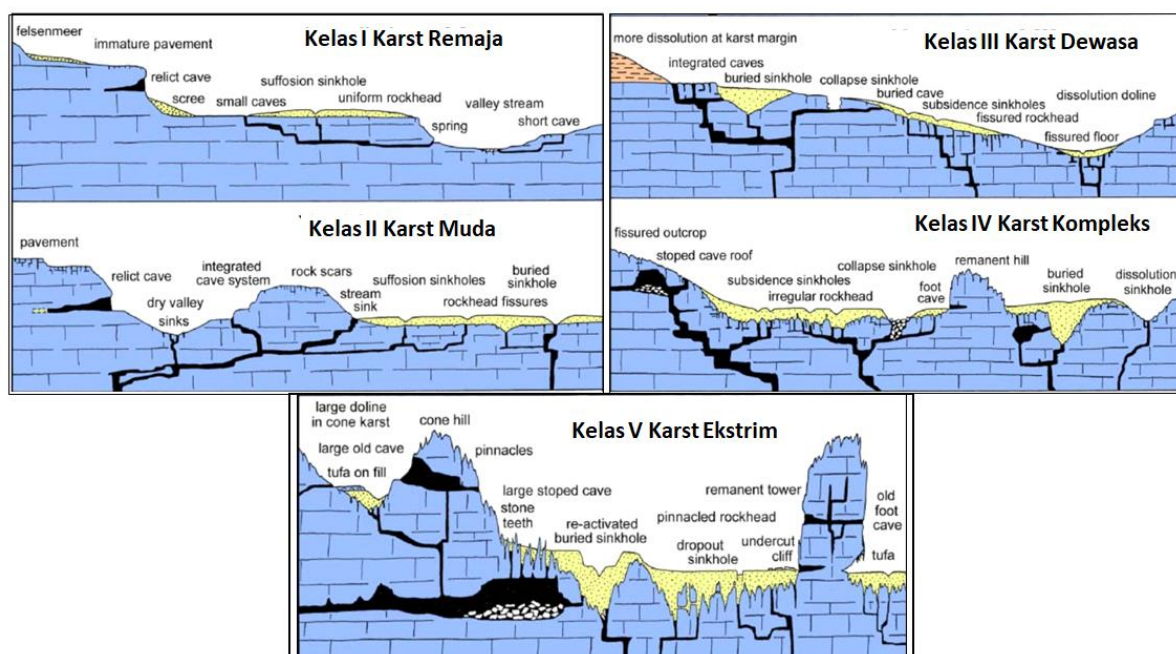
Penelitian ini menggunakan metode observasi lapangan yakni pengamatan fitur atau morfologi karst yang tampak di permukaan dan yang berada di bawah permukaan, dipadukan dengan penafsiran geologi Pulau Buton (Sikumbang dkk., 1995; Camplin dan Hall, 2013; Hall, 2018; Nugraha dan Hall, 2022) dan penelitian terdahulu lainnya yang relevan.

Observasi morfologi karst permukaan dan bawah permukaan ditujukan untuk membantu menentukan tipe kelas karst. Penentuan kelas karst dilakukan dengan menggunakan klasifikasi keteknikan karst (Tabel 1) dan klasifikasi *sinkhole* (Gambar 4) oleh Waltham dan Fookes (2003). Klasifikasi tersebut dianggap sesuai karena dilakukan terhadap karst tropis berdasarkan kehadiran dan kelimpahan fitur-fitur karst baik permukaan maupun bawah permukaan. Parameter yang digunakan dalam tabel 1 dilengkapi dengan gambar beberapa fitur khas yang hadir dalam setiap tipe klasifikasi ini (Gambar 3).

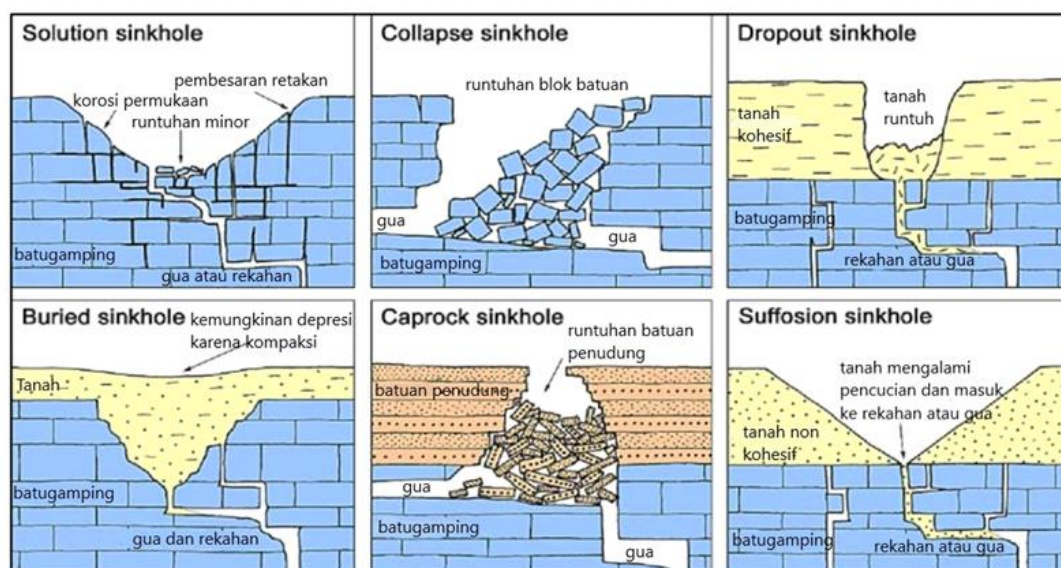
Selain itu, penelitian ini juga dilaksanakan dengan mengidentifikasi kelurusan-kelurusan punggung bukit, lembah dan sungai dari analisis peta SRTM (*Shuttle Radar Topography*

Tabel 1. Klasifikasi teknik karst menurut Waltham dan Fookes (2003)

Kelas karst	Lokasi	Sinkholes	Rockhead	Fissuring	Gua	Penyelidikan tanah	Fondasi
Kelas I Remaja	Hanya di gurun dan zona periglacial, atau pada karbonat yang bercampur dengan komposisi lainnya.	Langka, NSH <0,001	Hampir seragam; <i>fissure</i> minor	Minimal; permeabilitas sekunder rendah	Jarang dan kecil; beberapa fitur terisolasi	Konvensional	Konvensional
Kelas II Muda	Minimal di daerah beriklim sedang	Sinkhole jenis <i>suffusion</i> atau <i>dropout</i> ; aliran sungai bawah tanah NSH 0.001-0.05	Banyak rekahan kecil	Tersebar beberapa meter di dekat permukaan	Banyak gua kecil; umumnya lebar gua < 3meter	Konvensional, selidiki batuan hingga kedalaman 3 m, periksa retakan di <i>rockhead</i>	Tutupi retakan yang terbuka dengan campuran semen ( <i>grouting</i> ); kontrol drainase
Kelas III Dewasa	Umum di daerah beriklim sedang; minimum di daerah tropis basah	Banyak <i>unjampi</i> jenis sinkhole <i>suffusion</i> dan <i>dropout</i> ; <i>dissolution</i> sinkholes berukuran besar, sinkhole kecil <i>tip-collapse</i> dan <i>collapse</i>	<i>Fissuring</i> yang luas; relief <5m, blok batuan yang telah lapuk bercampur dengan tanah <i>penutup</i>	Terbentuk lebih intensif dan ekstensif, bukaan lebih besar.	Banyak. Lebar <5m di berbagai level	Penelitian <i>rockhead</i> , penelitian batuan hingga kedalaman 4m, survei <i>mikrogravity</i>	fondasi raft atau <i>ground beam</i> , pertimbangkan pemakaian geogrid, tiang pancang diarahkan ke <i>rockhead</i> ; kontrol drainase
Kelas IV Kompleks	Hanya terbentuk di daerah beriklim sedang; umumnya di daerah tropis	Banyak <i>sinkhole</i> jenis <i>dissolution</i> , <i>subsidence</i> . Sinkhole jenis <i>burried</i> dan <i>collapse</i> tersebar luas. NSH 0.5 – 2.0	Pinakel; relief 5-20m; <i>loose pilar</i>	Rongga akibat disolusi terbentuk besar dan luas, baik di area <i>major fissure</i> maupun di area lain.	Umumnya lebar gua >5m	Pengamatan <i>rockhead</i> , penyelidikan batuan hingga kedalaman 5m, survei mikro <i>gravity</i>	Buat fondasi <i>bored pile</i> sampai ke <i>rockhead</i> , atau selubungi <i>grouting</i> di <i>rockhead</i> ; kontrol drainase dan abstraksi
Kelas V Ekstrim	Hanya di daerah tropis basah	Semua jenis sinkhole terdapat dalam ukuran sangat besar; bukit remanen; tanah di <i>burried</i> sinkhole lebih padat. NSH >>1	Pinakel tinggi; relief >20m; <i>loose</i> pilar terpotong di antara celah-celah tanah yang dalam	Rongga-rongga akibat pelarutan sangat banyak dijumpai	Banyak sekali sistem gua 3-D yang rumit; galeri dan <i>chambers</i> lebarnya > 15 m	Membuat penyelidikan tanah untuk setiap area	Gunakan geogrid untuk menahan beban tanah, beban pada pinakel, atau pada fondasi <i>bored pile</i> yang dalam; kontrol semua drainase dan kontrol abstraksi



Gambar 3. Gambaran kondisi fitur karst sesuai tipe klasifikasi dalam Tabel 1 (modifikasi dari Waltham dan Fookes, 2003).



**Gambar 4.** Klasifikasi sinkhole berdasarkan mekanisme dan sifat material yang amblas (Waltham dan Fookes, 2003).

*Mission*), untuk selanjutnya diolah dengan menggunakan diagram rose untuk mengetahui frekuensi arah kelurusan. Kelurusan ini ditafsirkan sebagai produk deformasi dari aktifitas tektonik yang diperkirakan berpengaruh dalam perkembangan karstifikasi. Korelasi antara data morfologi karst, hasil identifikasi kelurusan menggunakan SRTM, peta geologi dan penelitian terdahulu kemudian digunakan untuk menginterpretasi pengaruh tektonik terhadap orientasi morfologi karst.

#### HASIL

Kota Baubau tersusun oleh hampir 30% bentang alam karst dan sisanya adalah bentangalam non karst. Bentangalam non karst menempati wilayah tengah hingga ke timur memanjang dari utara ke selatan. Mengacu pada peta geologi menurut Sikumbang dkk. (1995), bentangalam ini tersusun oleh litologi berupa batuan sedimen klastik, batuan ultrabasa, gabro, retas berkomposisi diorit dan batuan metamorf berupa sekis dan filit.

#### Bentangalam Karst

Berdasarkan observasi lapangan dan evaluasi peta topografi dan peta geologi, bentangalam ini terbentang di sebelah barat kota, memanjang dari utara ke selatan, meliputi Kecamatan Bungi, Kokalukuna, Wolio, Murhum, Batupoaro, Betoambari dan sebagian Kecamatan Sorawolio. Bentangalam ini tersusun oleh litologi berupa batugamping terumbu yang termasuk dalam Formasi Wapulaka.

Morfologi karst yang terdapat di daerah penelitian secara umum dapat dikelompokkan menjadi morfologi karst permukaan (eksokarst) dan morfologi karst bawah permukaan (endokarst).

#### Morfologi Karst Permukaan (Eksokarst).

Morfologi karst permukaan yang cukup menonjol adalah kenampakan tebing gamping dengan bagian puncak yang datar dan cukup luas, membentuk topografi berundak-undak. Tebing-tebing karst ini memiliki ketinggian dinding 10 – 30 m, sebagian besar telah mengalami perubahan bentuk karena adanya pengerukan dalam pembangunan konstruksi berupa jalan raya dan pemukiman. Dinding tebing saat ini masih umum dijumpai tersingkap di jalan utama Kota Baubau menuju wilayah Palagimata hingga ke Kabupaten Buton Selatan dan jalan utama menuju Kabupaten Buton. Morfologi tebing berundak ini adalah undak pantai purba yang mengalami pengangkatan (Sikumbang dkk., 1995).

Morfologi karst permukaan lainnya adalah bukit sisa (*remanent hill*) yang tersebar merata di seluruh wilayah. Umumnya memiliki ketinggian 3 sampai 8 m, sebagian besar telah hilang karena pembangunan infrastruktur. Morfologi minor lainnya berupa *rockhead*, *limestone pavement*, *clint*, *grike*, dan *rillenkarren* (Gambar 5d). *Rockhead* umumnya tertutup oleh soil memiliki rekahan yang pendek

dan sempit. Fitur karst permukaan sebagian telah lenyap karena pembangunan wilayah.

#### *Morfologi Karst Bawah Permukaan (Endokarst)*

Morfologi karst bawah permukaan yang dijumpai di daerah penelitian adalah gua dan *sinkhole*. Beberapa gua yang terletak di lokasi penelitian adalah:

##### 1. Gua Lanto.

Terletak di Kecamatan Kokalukuna, tinggi mulut gua mencapai 2 m, terisi air tawar dengan arus lemah berarah relatif timur laut. Banyak dijumpai stalaktit dan stalagmit yang terbentuk dari proses pelarutan dan pengendapan vertikal. Saluran air di dalam gua berupa celah sempit yang memanjang relatif kearah N220°E – N40°E, sebagian besar gua

dipenuhi oleh air, dari hasil penyelaman gua diperoleh dimensi panjang gua mencapai 100 m, lebar gua mencapai 15 hingga 20 m dengan kedalaman air maksimal 12 m.

Gua ini berada di kawasan padat penduduk, tepat di bawah pemukiman warga (Gambar 5a, b), jarak vertikal antara mulut gua bagian atas dan permukaan tanah maksimal 2.5 m. Tersusun oleh batugamping terumbu, sebagian besar batuan dalam kondisi lapuk, tingkat pelapukan sedang hingga tinggi. Bongkah batuan yang berada di mulut gua telah runtuh sehingga menutupi sebagian akses masuk kedalam gua (Gambar 5a). Gua ini dimanfaatkan sebagai tempat permandian wisata dan juga menjadi sumber air tawar bagi warga sekitar.



**Gambar 5.** Runtuhan batuan di mulut Gua Lanto (a), posisi Gua Lanto tepat di bawah pemukiman (b), mulut Gua Lakasa berada 3 m dari permukaan tanah (c), rillen karren di mulut Gua Lakasa (d).

## 2. Gua Lakasa

Terletak di Kecamatan Betoambari, tinggi mulut gua 1,5 m, terisi air tawar dengan kedalaman kurang dari 2 m namun lebih dangkal dimusim kemarau. Memiliki 2 *chamber*, jarak vertikal dari dasar gua ke atap gua mencapai 3 m pada *chamber* 1, dan mencapai lebih dari 4 m pada *chamber* 2. Jarak vertikal dari mulut gua bagian atas ke permukaan mencapai lebih dari 3 m. Terdapat ornamen berupa *flow stone*, stalaktit, stalagmit dan pilar.

Gua ini tersusun oleh batugamping terumbu dengan tingkat pelapukan rendah sampai tinggi. Terletak lebih dari 100 m dari pemukiman warga, memanjang dengan arah N210°E–N30°E. Gua ini dimanfaatkan sebagai tempat wisata (Gambar 5c, d).

## 3. Gua Moko

Terletak di Kecamatan Betoambari, sebagian saluran gua berada di bawah air. Mulut gua dapat diakses dengan menyelam ke dalam kolam air payau sekitar 8 m dari permukaan air. Kedalaman vertikal gua adalah 28 m, dan secara horisontal (yang telah diamati) adalah 35 m (Mulyadi, 2011). Terdapat ornamen gua seperti stalaktit dan stalagmit. Saat ini gua dimanfaatkan sebagai tempat wisata permandian alam dan sebagai sumber air bagi penduduk sekitar.

## 4. Gua Laabi

Terletak di Kecamatan Sorawolio, tersusun oleh batugamping terumbu dengan tingkat

pelapukan sedang, ornamen gua berupa *flowstone*, stalaktit, stalagmit dan pilar. Tubuh gua yang telah diamati memanjang ke arah N210°E - N30°E.

Mulut gua ini tersingkap karena adanya penggusuran lahan dengan menggunakan alat berat untuk pembangunan rumah warga. Memiliki *Chamber* yang cukup luas, panjang gua yang telah diamati lebih dari 50 m, memiliki banyak percabangan saluran. Gua ini tidak berisi air.

## 5. Gua Ntiti

Terletak di Kecamatan Murhum, dekat dengan pemukiman. Tinggi mulut gua mencapai 5 m dengan lebar lebih dari 15 m, tersusun oleh batugamping terumbu dengan tingkat pelapukan sedang hingga tinggi, tubuh gua memanjang ke arah N215°E - N35°E. Banyak terdapat tetesan air dari atap gua yang membentuk stalaktit dan pilar (Gambar 6).

## 6. Gua Liana Hatibi

Terletak di Kecamatan Murhum, berjarak 200-m dari pemukiman. Mulut gua berupa celah yang tidak terlalu besar, tinggi atap gua lebih dari 4 m, lebar ruang lebih dari 5 m, tersusun oleh batugamping terumbu dengan tingkat pelapukan rendah hingga sedang. Gua tidak terisi air.

Diyakini masih banyak gua yang belum ditemukan karena akses yang sulit.



Gambar 6. Mulut Goa Ntiti



Gambar 7. Collapse sinkhole di Kecamatan Betoambari.



### 7. Sinkhole

Jenis *sinkhole* yang dijumpai di lokasi penelitian ditentukan sesuai klasifikasi Waltham dan Fookes (2003) yaitu berdasarkan pada mekanisme dan sifat material yang amblas (Gambar 4), terdiri atas *collapse sinkhole* dan *solution sinkhole*.

#### a. *Collapse sinkhole*.

Terbentuk di Kecamatan Betoambari pada bulan Januari 2021, di puncak musim hujan. Dimensi area amblasan adalah 6 x 15 m, terjadi penurunan tanah penutup berkisar 30 hingga 100 cm. Terdapat rongga memanjang di bagian bawah berarah N215°E, lebar bukaan rongga berkisar 40 hingga 60 cm dengan panjang mencapai 1 m (Gambar 7). *Sinkhole* ini terbentuk di tepi jalan utama kawasan padat penduduk dan menyebabkan bangunan rumah penduduk rusak parah.

#### b. *Solution sinkhole*.

Terdapat di Kecamatan Betoambari cukup dekat dengan pemukiman. Kedalaman mencapai 10 m, diameter lubang mencapai 12 m. Tersusun oleh batugamping terumbu dengan rekahan-rekahan

tidak beraturan, area sekitar lubang pelarutan dikelilingi oleh *limestone pavement*.

### Kelurusan (Lineament)

Secara umum arah kelurusan di daerah penelitian dapat dikelompokkan menjadi dua arah dominan (Gambar 8), yaitu kelompok kelurusan 1 (N135°E – N315°E), panjang kelurusan berkisar 0.5 hingga 7 km. Kelompok ini dominan berkembang di bagian timur wilayah penelitian menyebar dari utara ke selatan mengikuti pola kelurusan sungai, punggung bukit, lembah dan lereng. Kelurusan yang terpanjang terhubung dengan wilayah Kabupaten Buton Tengah di sebelah barat Selat Buton.

Kelompok kelurusan 2 (N35°E – N217°E) dominan berkembang di bagian tenggara wilayah penelitian menyebar dari utara ke selatan, mengikuti pola kelurusan sungai dan punggung bukit. Sebagian kecil kelompok ini juga terdapat di bagian barat laut. Panjang kelurusan berkisar 0,5 – 6 km.

## PEMBAHASAN

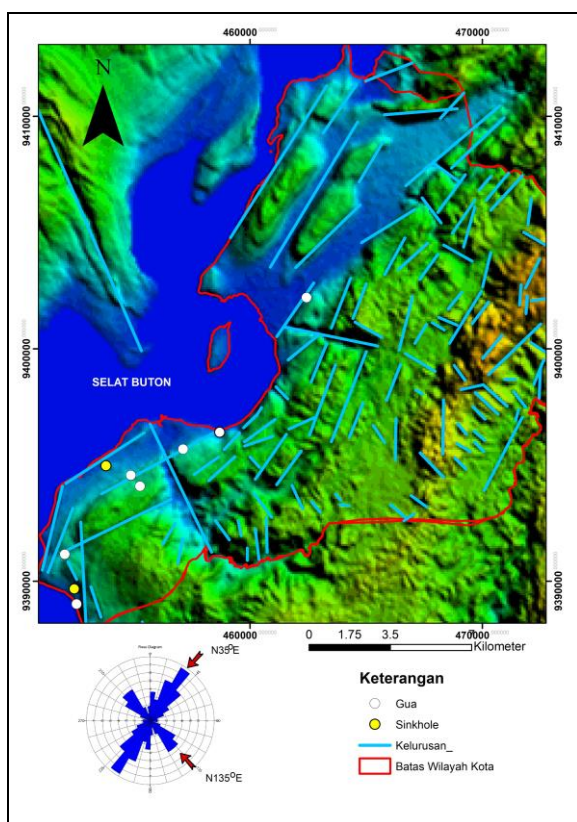
### Tipe Karst

Karstifikasi permukaan baik secara vertikal maupun horizontal terjadi cukup intensif di wilayah penelitian. Morfologi karst permukaan yang paling menonjol adalah bentuk topografi berupa teras-teras yang tersusun oleh batugamping terumbu, sedangkan morfologi karst bawah permukaan yang dominan adalah gua. Keterdapatannya gua dengan dimensi yang bervariasi (lebar *chamber* gua >5 m) umumnya berada di permukaan dan dekat dengan pemukiman. Berdasarkan keterdapatannya dan perkembangan fitur-fitur permukaan dan bawah permukaan antara lain Gua Lanto, Gua La Abi dan Gua Ntiti yang terletak di permukaan, adanya *solution sinkhole* dan bukit sisa yang banyak dijumpai tersebar di wilayah kota, maka bentangalam karst di daerah ini dapat diklasifikasikan sebagai tipe kelas IV Karst Kompleks (klasifikasi keteknikan karst Waltham dan Fookes, (2003), tabel 1).

### Dinamika Tektonik dan Karstifikasi

#### Tektonik Pengangkatan.

Dari analisis sekuen terumbu Formasi Wapulaka diketahui bahwa formasi ini mengalami pengangkatan dengan kecepatan yang bervariasi dalam ruang dan kurun waktu geologi.



**Gambar 8.** Peta kelurusan topografi wilayah Kota Baubau berdasarkan SRTM. Diagram rose menunjukkan arah orientasi kelurusan

Kecepatan pengangkatan di bagian barat Pulau Kadatua adalah sebesar  $0.29 \pm 0.05$  mm per tahun, di area Wangiwangi, Kepulauan Tukang Besi, kecepatan pengangkatan sebesar  $0.14 \pm 0.02$  mm per tahun, di area Sampolawa kecepatan pengangkatan adalah sebesar 0.1 hingga 0.13 mm per tahun (Pedoja dkk., 2018). Berdasarkan analisis terhadap sampel terumbu di tebing undakan diperoleh rata-rata pengangkatan Pulau Buton bagian selatan pada Pleistosen Tengah adalah 0.14 mm per tahun (Pedoja dkk., 2018). Pengangkatan Formasi Wapulaka menghasilkan 18 morfologi undakan atau teras terumbu di daerah Sampolawa, 40 undakan di area Teluk Pasarwajo, sebanyak 11 undakan di Baubau, dan beberapa undakan dalam jumlah yang lebih kecil di Kepulauan Buton dan Tukang Besi (Pedoja dkk., 2018).

Analisis terhadap perkembangan tektonik Sulawesi dari penelitian terdahulu menyatakan bahwa pengangkatan pada terumbu Kuartar di sepanjang pantai lengan barat, timur dan tenggara Sulawesi termasuk Pulau Buton dan Tukang Besi masih berlangsung hingga saat ini dan diinterpretasikan berhubungan dengan adanya *rollback* di lengan utara Sulawesi dan subduksi Banda (Pownal dkk., 2013; Hall, 2018; Pedoja dkk., 2018).

#### *Tektonik dan Arah Orientasi Karst*

Analisis kelurusan dari peta SRTM menunjukkan dua arah umum yang saling berpotongan, sehingga dapat disimpulkan bahwa telah terjadi dua periode deformasi yang berarah hampir tegak lurus yang berpengaruh pada bentangalam karst Formasi Wapulaka. Dengan asumsi bahwa kelurusan yang lebih muda akan memotong kelurusan yang lebih tua, maka periode deformasi dapat direkonstruksi. Arah kelurusan yang terbentuk lebih dulu adalah kelompok kelurusan 2 yang berarah relative timur laut – barat daya dikategorikan sebagai periode deformasi pertama, kemudian terpotong oleh kelompok kelurusan 1 yang berarah barat laut – tenggara, terbentuk dari periode deformasi kedua.

Peta kelurusan topografi (Gambar 8) memperlihatkan kelompok kelurusan 2 sangat dominan terbentuk di wilayah karst dibandingkan dengan kelompok kelurusan 1. Morfologi bukit karst dan arah punggung tebing karst secara dominan searah dengan

kelompok kelurusan 2. Jika dibandingkan dengan Peta Geologi Regional Lembar Buton (Sikumbang dkk., 1995), kelompok kelurusan 2 atau periode deformasi pertama memiliki arah yang sama dengan sumbu lipatan sinklin dan antiklin yang terbentuk di Formasi Tondo Anggota Konglomerat dan Formasi Sampolakosa yang terletak di sebelah timur lokasi penelitian (lihat Gambar 2).

Satyana dan Purwaningsih (2011) menyatakan bahwa lipatan antiklin dan sinklin terbentuk karena dua proses tektonik yang berbeda. Lipatan sinklin dan antiklin yang banyak berkembang di sebelah timur daerah penelitian, terbentuk pada Miosen Akhir berkembang karena pengaruh tumbukan Buton, Muna dan lengan tenggara Sulawesi. Sebagian lipatan antiklin berhubungan dengan *wrench fault* yang terbentuk pada Pliosen-Pleistosen berkembang selama tumbukan obliq Buton dan Tukang Besi.

Kelompok kelurusan 1 terlihat dominan pada kelurusan punggung bukit di timur daerah penelitian. Dari analisis peta SRTM terlihat satu kelurusan pada arah ini memanjang dari Sungai Baubau melewati Kabupaten Buton Tengah (Pulau Muna) di seberang Selat Buton (Gambar 8), yang mengindikasikan adanya sesar geser sinistral. Karena kelurusan ini memotong kelurusan 2 maka proses tektonik pembentukannya berasal dari proses tektonik yang bekerja paling akhir dan mempengaruhi Formasi Wapulaka di Pulau Buton dan Muna. Kelompok kelurusan 1 relatif berarah barat laut – tenggara, jika dikorelasikan dengan Peta geologi Sulawesi (Gambar 2), kelompok kelurusan ini relative searah dengan Sesar Kolaka, Sesar aktif Matano, Lawanopo dan sesar geser sinistral di selatan Teluk Tolo. Oleh karenanya, diinterpretasikan bahwa kelurusan berarah barat laut – tenggara yang berkembang pada Formasi Wapulaka berkaitan dengan gaya dorong yang sama yang menyebabkan terbentuknya ke empat sesar geser di atas.

#### *Arah Orientasi Gua*

Arah bukaan Gua Lanto, Gua Lakasa, Gua Laabi, Gua Ntiti berkisar N210°E – N30°E atau searah dengan orientasi kelompok kelurusan 2. (Gambar 8). Arah orientasi kelurusan tersebut terbentuk dari tegasan utama maksimum yang berarah barat laut – tenggara atau tegak lurus terhadap kelurusan 2 atau sama dengan tegasan utama minimum pembentuk kelurusan 1. Ini

sejalan dengan pernyataan Shanov dan Kostov (2015) bahwa rekahan karst yang berorientasi tegak lurus terhadap tegasan utama minimum milik stress yang lebih muda yakni stress pembentuk kelompok kelurusan 1 adalah jalur yang terbaik untuk pembentukan rekahan bawah permukaan.

### KESIMPULAN

Karst di wilayah Kota Baubau terdapat di bagian timur, memanjang dari utara meliputi Kecamatan Lealea, Bungi hingga ke selatan yakni Kecamatan Betoambari. Fitur morfologi karst bawah permukaan berupa Gua dan *sinkhole* lebih banyak terbentuk di Kecamatan Betoambari, Murhum dan Sorawolio. Akan tetapi, diyakini masih banyak gua, *sinkhole* dan fitur karst lainnya yang belum ditemukan karena akses yang sulit. Karst di wilayah ini dapat digolongkan ke dalam kelas karst kompleks berdasarkan fitur-fitur karst yang berkembang.

Di wilayah penelitian telah terjadi dua periode deformasi yang berarah tegak lurus, yakni periode deformasi pertama (kelurusan 2) berarah timurlaut–baratdaya, yang dipotong oleh periode deformasi kedua berarah baratlaut–tenggara. Secara umum, arah orientasi kelompok kelurusan 2 searah dengan orientasi bukaan gua dan *collapse sinkhole* di bawah permukaan. Diperlukan analisis dan pembuktian lebih lanjut mengenai dimensi dan arah perkembangan gua di bawah permukaan yang berperan penting dalam penentuan zona kerentanan dan kelayakan lahan jika pengembangan kota dan pemukiman tetap dilakukan dalam wilayah karst.

Morfologi berupa teras-teras bukit karst dan arah bukaan gua menunjukkan bahwa proses tektonik sangat berpengaruh pada karstifikasi permukaan dan pembentukan rekahan bawah permukaan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusi dalam penyusunan artikel ini, dan kepada tim *reviewer* atas masukan yang diberikan demi kemajuan artikel ini.

### DAFTAR PUSTAKA

BPS Kota Baubau, 2021. Kota Baubau Dalam Angka 2021, Katalog 1102001.7472, <https://baubaukota.bps.go.id/publication.html>. Diakses pada November 2021.

- Camplin, D. J. dan Hall, R., 2013. Insights Into the Structural and Stratigraphic Development of Bone Gulf, Sulawesi. *Proceedings, Indonesian Petroleum Association 37<sup>th</sup> Annual Convention and Exhibition*, IPA13-G-079.
- Camplin, D. J. dan Hall, R., 2014. Neogene history of Bone Gulf, Sulawesi, Indonesia. *Marine and Petroleum Geology*, 57, 88–108. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2014.04.014
- Hall, R., 2011. Australia-SE Asia collision: Plate tectonics and crustal flow. *Geological Society Special Publication*, 355, 75–109. DOI: 10.1144/SP355.5
- Hall, R., 2019. The subduction initiation stage of the wilson cycle. *Geological Society Special Publication*, 470(1), 415–437. DOI: 10.1144/SP470.3
- Mulyadi, Y., 2011. Perencanaan Tata Ruang Kawasan Cagar Budaya Bawah Air Gua Moko, di Kota Baubau Sulawesi Tenggara. *Walennae*, 13(1), 71–84.
- Nugraha, A.M.S., Hall, R. dan BouDagher-Fadel, M., 2022. The Celebes Molasse: A revised Neogene stratigraphy for Sulawesi, Indonesia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 228, 105140. DOI: 10.1016/j.jseaes.2022.105140
- Nugraha, A.M.S. dan Hall, R., 2022. Neogene sediment provenance and paleogeography of SE Sulawesi, Indonesia', *Basin Research*, 34(5), 1714–1730. DOI: 10.1111/bre.12682
- Pedoja, K. dkk., 2018. On the long-lasting sequences of coral reef terraces from SE Sulawesi (Indonesia): Distribution, formation, and global significance. *Quaternary Science Reviews*, 188, 37–57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2018.03.033>
- Pownall, J.M., Hall, R. dan Watkinson, I.M.. 2013. Extreme extension across Seram and Ambon, eastern Indonesia: evidence for Banda slab rollback. *Solid Earth*, 4(2), 277–314. DOI: 10.5194/se-4-277-2013
- Sikumbang, N., Santoyo, P., Supandjoro, R.G.B., Gafoer, S., 1995. *Peta geologi Lembar Buton skala 1:250.000*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Satyana, A.H. dan Purwaningsih, M.E.M., 2011. Collision of micro-continent with Eastern Sulawesi: Records from Uplifted Reef

- Terraces and Proven-Potential Petroleum Plays. *Proceedings of Indonesian Petroleum Association 35<sup>th</sup> Annual Convention and Exhibition*, May.  
<https://doi.org/10.29118/ipa.1376.11.g.219>
- Martosuwito, S., 2012. Tectonostratigraphy of the eastern part of Sulawesi, Indonesia. in relation to the terrane origins. *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, 22(4), 199–207.
- Shanov, S. dan Kostov, K., 2015. Dynamic Tectonics and Karst. Dalam J.W. LaMoreaux (Ed.), *Cave and Karst Systems of the World Dynamic Tectonics and Karst*. Tuscaloosa: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43992-0>
- Waltham, A.C. dan Fookes, P.G., 2003. Engineering classification of karst ground conditions. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 36, 101–118.