

Morfometri Dan Tipologi Lorong Gua Di Kabupaten Malang

Mohammad Ainul Labib, Agung Suprianto, Dwi Fitriani, Alfi Sahrina, Khoirul Hidayat, Prasetyo Adi Irianto, Andika Aulya A.

Masuk: 29 03 2020 / Diterima: 23 06 2020 / Dipublikasi: 30 06 2020
© 2020 Fakultas Hukum dan Ilmu Sosial UNDIKSHA dan IGI

Abstract Caves can form a complicated passage. The formed passage is the result of a long process on a geological scale. The current appearance comes from the regional conditions that shape it. Each landscape condition has different cave passages. Detailed identification is made by looking at the condition of the cave passage in detail and seeing as a whole. This study wants to find out the passage patterns that develop in caves in Malang Regency. The data collection method uses primary data in the form of cave units. The caves are recorded as many as 48 cave maps, which will then be analyzed by division, including curvilinear passage of 22 samples, the linear passage of 12 samples, a niche of 5 samples, and wells of 9 samples. The analysis was performed with a quantitative approach using the ArcGis, Spss, and XLSTAT software. The calculation and identification results give an overview of the patterns that develop in the karst of Malang Regency, which has three conditions, namely curvilinear, linear passage, and wells. The existence of these three conditions will have different characteristics. Curvilinear will form vadose, epipreatic, and phreatic zones. The linear passage has vadose and epipreatic conditions, while wells form vadose conditions.

Key words: Morphometry; Typology; Cave Passage

Abstrak Gua dapat membentuk lorong-lorong yang rumit. Lorong yang terbentuk tersebut hasil proses yang panjang dalam skala geologi. Kenampakan yang ada saat ini berasal dari kondisi regional yang membentuknya. Tiap kondisi bentangalam memiliki bentukan lorong gua yang berbeda-beda. Identifikasi secara terperinci dilakukan dengan melihat kondisi lorong gua secara detail serta melihat secara keseluruhan. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui pola lorong yang berkembang pada gua-gua di Kabupaten Malang. Metode pengumpulan data menggunakan data primer berupa unit-unit gua. Gua yang didata sebanyak 48 peta gua yang selanjutnya akan dilakukan analisis dengan pembagian, diantaranya *curvilinear passage* sebanyak 22 sampel, *linear passage* sebanyak 12 sampel, ceruk sebanyak 5 sampel, dan sumuran sebanyak 9 sampel. Analisis dilakukan dengan pendekatan kuantitatif dengan menggunakan *software ArcGis, Spss, dan XLSTAT*. Dari hasil perhitungan dan identifikasi tersebut, memberikan gambaran mengenai pola yang berkembang di karst Kabupaten Malang yang memiliki 3 kondisi yaitu *curvilinear, linier passage* dan sumuran. Adanya tiga kondisi tersebut akan memiliki karakteristik yang berbeda, *curvilinear* akan membentuk zona vadose, epifreatik, dan freatik. *Linier passage* memiliki kondisi vadose dan epifreatik, sedangkan sumuran membentuk kondisi vadose.

Kata kunci: Morfometri; Tipologi; Lorong Gua

1. Pendahuluan

Kabupaten Malang terdiri dari berbagai wilayah yang berada pada pegunungan, perbukitan, dan daerah pesisir. Daerah perbukitan dan pesisir dapat dijumpai di bagian selatan

Kabupaten Malang. Dimana pada daerah tersebut berupa bentangalam batugamping. Bentangalam tersebut berada pada Kecamatan Donomulyo, Kecamatan Pagak, Kecamatan Bantur, Kecamatan Kalipare, dan Kecamatan Gedengan, dan Kecamatan Sumbermanjing Wetan. Pada daerah tersebut, terbentuk beberapa gua, mataair, dan sungai bawahtanah. Hasil survei yang dilakukan selama ini, kenampakan tersebut ditemukan di

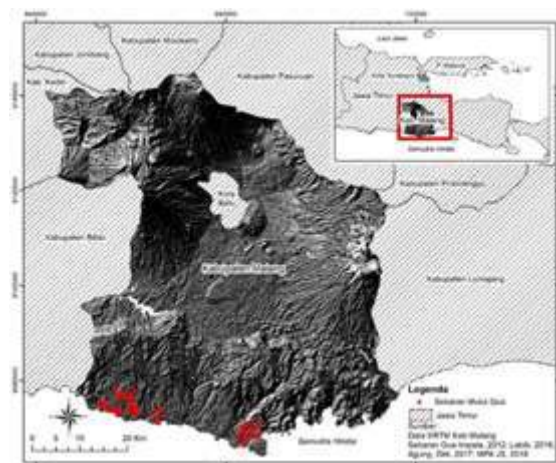
Mohammad Ainul Labib, Agung Suprianto, Dwi Fitriani,
Alfi Sahrina, Khoirul Hidayat, Prasetyo Adi Irianto, Andika
Aulya A.
Universitas Negeri Malang, Indonesia

labib@mail.ugm.ac.id

Kecamatan Donomulyo, Kecamatan Bantur, Kecamatan Gedangan, dan Kecamatan Sumbermanjing Wetan.

Gua yang terbentuk di Kabupaten Malang sejauh ini sebanyak 118 mulut gua (Gambar 1) yang telah di data (Fauzi et al., 2015; Impala, 2013; Labib, 2016; MPA Jonggring Salaka, 2018) dan gua telah dipetakan sebanyak 48 peta gua. Hasil identifikasi mulut gua ini, masih jauh dari data yang sempurna, mengingat wilayah batugamping di Kabupaten Malang sangat luas, namun data yang didapat sudah dapat mewakili sebaran dan kondisi lorong-lorong gua yang ada (Labib, Haryono, & Sunarto, 2019). Hasil dari pemetaan lorong gua menunjukkan adanya beberapa karakter yang khas dari gua-gua di Kabupaten Malang. Labib (2016) menjelaskan adanya pola *curvilinear*, ceruk, maupun *linear passage*. Disamping itu, MPA Jonggring Salaka (2018) menjelaskan adanya pola yang hampir sama dengan Labib (2016) dengan adanya bentukan sumuran. Bentukan sumuran sendiri juga terlihat dari peta gua Labib (2016) namun kondisi tersebut dimasukan pada bentukan *linear passage*.

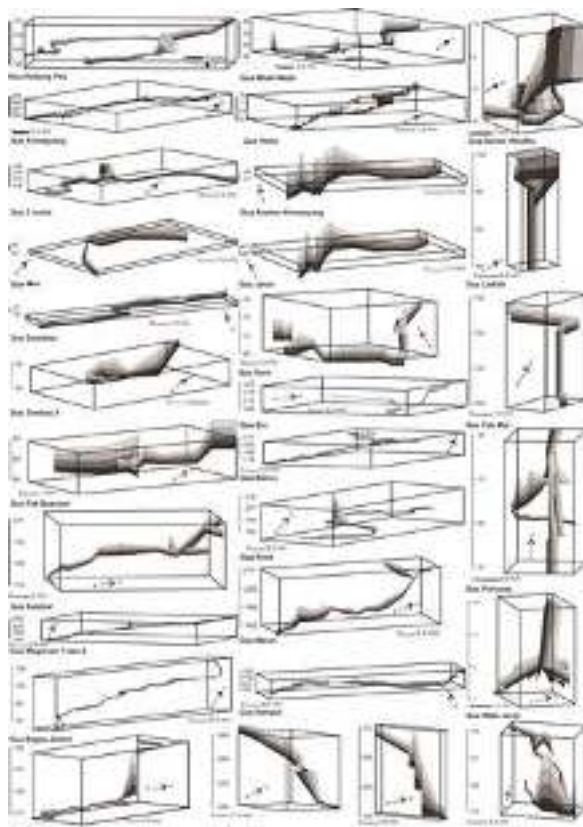
Peta gua yang dihasilkan merupakan hasil survei yang dilakukan oleh *speleologist*. Tentunya banyak tantangan dan hambatan yang dialami dalam melakukan pemetaan tersebut. Hasil pemetaan tersebut, diolah kembali dengan pendekatan kuantitatif untuk memberikan penilaian terhadap kondisi yang telah terbentuk saat ini. Pola-pola yang ada saat ini merupakan hasil dari proses masa lampau (Supriatno et al., 2017). Tujuan dari kajian ini yaitu untuk mengetahui morfometri dan tipologi lorong gua di Kabupaten Malang yang selanjutnya dihubungkan dengan kajian yang telah ada mengenai kondisi lorong gua.



Gambar 1. Sebaran Mulut Gua di Kabupaten Malang

2. Metode

Penelitian ini menggunakan data primer dari proses pemetaan gua (Haryono, 2016; Laksamana, 2015) Gua yang menjadi sampel sebanyak 48 gua. Data hasil pemetaan tersebut selanjutnya dilakukan indentifikasi dengan melakukan input data pada *software survex* dan *compass*, selanjutnya dibuat gambaran 2D/3D (Gambar 2). Dari kajian terdahulu, pola lorong gua yang terbentuk di Kabupaten Malang ada 4 yaitu *curvilinear passage*, *linear passage*, ceruk, dan sumuran (Labib, 2016; MPA Jonggring Salaka, 2018). Dari hasil data pemetaan tersebut, selanjutnya di identifikasi berdasarkan pola tersebut yang terbentuk diantaranya *curvilinear passage* sebanyak 22 sampel, *linear passage* sebanyak 12 sampel, ceruk sebanyak 5 sampel, dan sumuran sebanyak 9 sampel.



Gambar 2. Beberapa Gua yang Digunakan untuk Dianalisis Lebih Lanjut

Pengkalsifikasian lorong gua selanjutnya didasarkan dengan uji statistik mengenai kondisi lorong gua yang ada. Uji statistik tersebut menggunakan Tes *Krusikal-Wallis* (KW). Hal ini digunakan untuk mengungkapkan perbedaan yang signifikan pada semua parameter yang dihitung sebagai fungsi dari pola gua, dengan mempertimbangkan indeks vertikal, indeks horizontal, kelengkungan, dan WH-rasio.

Untuk melakukan pengelompokan data yang ada, digunakan analisis komponen utama *multivariate* dengan menggunakan *XLSTAT* yang menjadi komponen tambahan di *excel*. Sebelumnya, nilai yang ada berupa sinusitas, rasio lebar dan tinggi di rata-rata terlebih dahulu. Setelah itu, dianalisis komponen utama tersebut.

Analisis pola gua dilakukan dengan beberapa parameter untuk menyimpulkan pola gua yang sebenarnya.

Salah satu analisis ini dilakukan dengan melihat penampang melintang lorong gua, kelengkungan, percabangan, vertikal indeks, dan horizontal indeks. Iguzguiza et al., (2011) membuat 3 klasifikasi dilihat dari ukuran penampang lorong gua. Perhitungan ini berdasarkan rasio lebar dan tinggi atap gua, dengan membagi menjadi bentuk ngarai (*canyon*) ($WH < 1$), bentuk lingkaran ($WH = 1$), dan bentuk setengah lingkaran ($WH > 1$), hal ini pula telah dijelaskan sebelumnya menganaik pengaruh morfologi akibat kontrol hidraulik pada kondisi freatik (Sweeting, 1972).

Piccini (2011) melakukan perhitungan indeks lorong gua, berupa indeks vertikal dan indeks horizontal. Indeks vertikal didapatkan dari kedalaman lorong gua (R_v) dibagi dengan panjang lorong gua termasuk percabangan (L_r)

$$V_i = R_v/L_r \dots\dots\dots (1)$$

Sedangkan pada indeks horizontal dihitung dari panjang total peta tampak atas (L_p) dibagi dengan panjang lorong gua termasuk percabangan (L_r)

$$H_i = L_p/L_r \dots\dots\dots (2)$$

Nilai V_i dan H_i berkisar antara 0 sampai 1. Bila V_i mendekati 0, maka lorong tersebut memiliki dominasi lorong vertikal, sebaliknya bila nilai mendekati 1 maka lorong tersebut memiliki bentuk horizontal.

Parameter topologi lorong gua digunakan untuk mengetahui keterhubungan dan stuktur jaringan pada gua. Ada 4 parameter yang digunakan yaitu derajat keterhubungan *node*, *alpha*, *Gamma*, dan indeks *ramification* (R) (Collon et al., 2017; Jouvès et al., 2017). Sedangkan 3 parameter yang digunakan untuk mengetahui pola gua yaitu keterhubungan *node*, *Gamma*, dan indeks *ramification*. Derajat keterhubungan *node* (Ndu) mewakili dari keterhubungan antar *node* melalui *edge*. Ndu merejuk

persentase total *node* dengan *u* ketetangaan. Nd_1 untuk ujung garis *edge*, dan Nd_3 untuk 3 *edge* dan seterusnya (Gambar 3)

Indeks grafik diwakili dengan *alpha* dan *Gamma*. *Gamma* merupakan rasio jumlah *edge* (E) dan jumlah *edge* maksimal yang mungkin dalam setiap keterhubungan (seperti dalam grafik yang lengkap). *Gamma* merupakan ukuran kerapatan jaringan lorong gua dan *Gamma* [0:1]

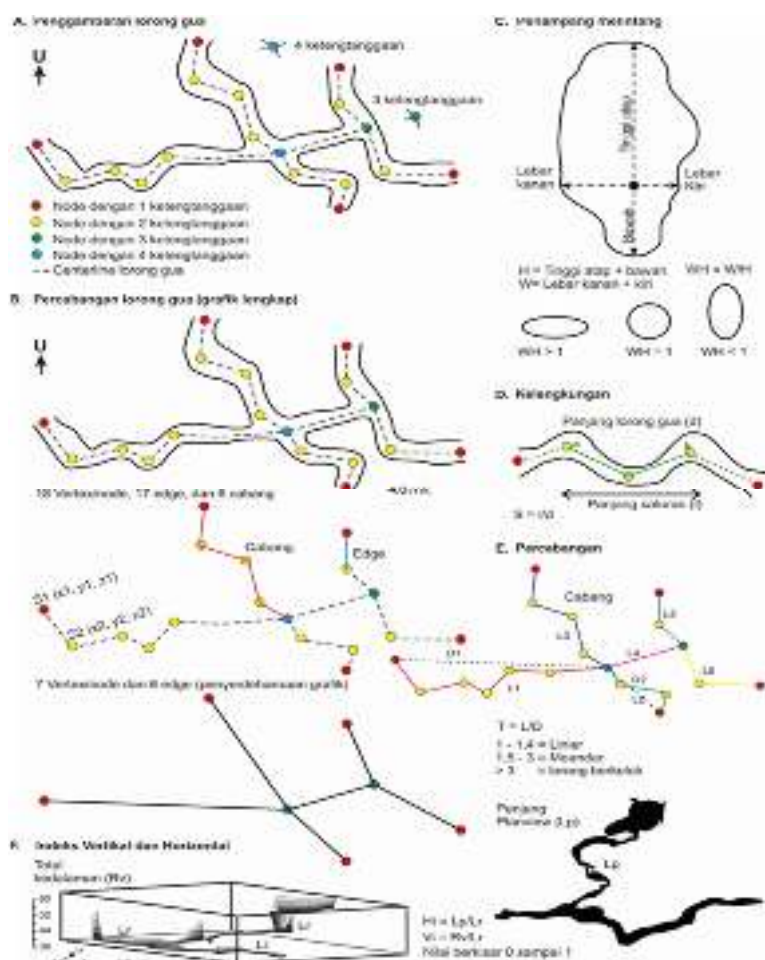
$$Gamma = E/E_{max} \dots \dots \dots (3)$$

Indeks *ramification*/percabangan (R) mewakili rasio antara persimpangan dan ujung. Nilai tinggi menjelaskan jaringan dengan banyak percabangan.

Nilai 0 mewakili lorong yang *linear*. Dimana U_{max} adalah *node valence* maksimum pada grafik

$$R = Ndu/Nd_1 \dots \dots \dots (4)$$

Untuk memudahkan dalam menghitung jumlah *edge* dan *node* digunakan alat bantu dari *software ArcGis*, dimana nilai-nilai tersebut akan muncul dalam data atribut yang telah dipetakan sebelumnya. Bagian ini menjelaskan bagaimana penelitian dilakukan, desain penelitian, teknik pengumpulan data, pengembangan instrumen, dan teknik analisis data.



Gambar 3. Penggambaran Peta Gua, Analisis Percabangan dan Kelengkungan

3. Hasil dan Pembahasan

Lorong gua merupakan ruangan yang memiliki dimensi berupa panjang, lebar dan tinggi. Keberadaan lorong gua ini memiliki karakteristik yang unik. Pola-pola terbentuk melalui proses yang sangat lama, dan menghasilkan bentukan lorong saat ini. Kabupaten Malang memiliki batuan karbonat yang tersebar di bagian selatan Kabupaten Malang. Gua terbentuk pada batuan karbonat tersebut, dengan persebaran gua berada pada batuan tersebut.

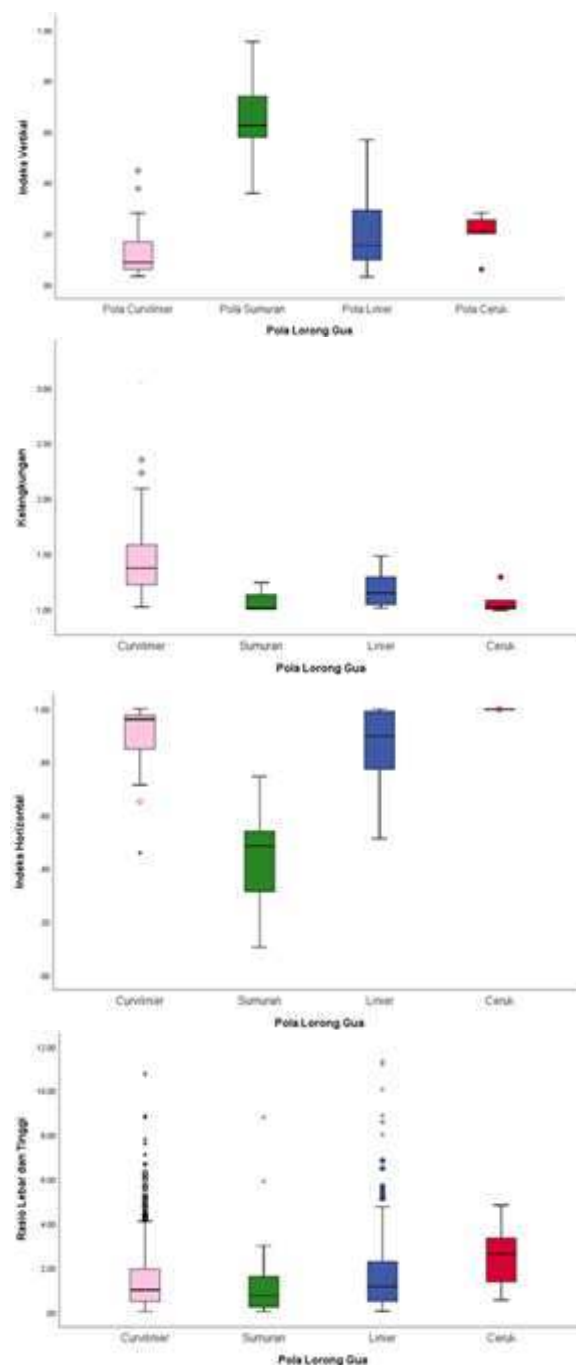
Gua-Gua yang telah didata tersebut selanjutnya dianalisis lebih lanjut. Data pemetaan gua yang telah didapatkan dihitung kembali untuk mengetahui pola yang terjadi pada lorong gua. Uji normalitas data dilakukan terlebih dahulu. Dari kajian terdahulu, pemetaan gua yang ada memiliki persebaran yang tidak normal. Sehingga perlu diuji lebih lanjut dengan menggunakan Kruskal Wallis. Hasil dari uji statistik ini menunjukkan bahwa lorong gua yang ada di Kabupaten Malang memiliki keberagaman dari pola lorong gua. Dimana *Asymp. Sig.* memiliki nilai 0,000 yang dapat diartikan bahwa ada perbedaan yang signifikan antara lorong-lorong gua di Kabupaten Malang (Tabel 1).

Tabel 1. Nilai Uji Statistik Pada Berbagai Paramater Lorong Gua (*Vi*, *Hi*, *T*, *WH*-Rasio)

Pola Lorong Gua			Test Statistics	
Indeks Vertikal	N	Mean Rank	Kruskal-Wallis H	df
Cunlinier	22	17.23	22.512	3
Sumuran	9	43.44		
Linier	12	23.33	Asymp. Sig.	.000
Ceruk	5	25.20	a. Kruskal-Wallis Test	
Total	48		b. Grouping Variable: Pola Lorong Gua	
Indeks Horizontal	N	Mean Rank	Kruskal-Wallis H	df
Cunlinier	22	27.05	24.511	3
Sumuran	9	6.44		
Linier	12	25.67	Asymp. Sig.	.000
Ceruk	5	43.00	a. Kruskal-Wallis Test	
Total	48		b. Grouping Variable: Pola Lorong Gua	
Kelengkungan	N	Mean Rank	Kruskal-Wallis H	df
Cunlinier	119	84.76	37.914	3
Sumuran	10	17.75		
Linier	14	46.79	Asymp. Sig.	.000
Ceruk	5	21.30	a. Kruskal-Wallis Test	
Total	148		b. Grouping Variable: Pola Lorong Gua	
Rasio Lebar dan Tinggi	N	Mean Rank	Kruskal-Wallis H	df
Cunlinier	1018	645.49	26.177	3
Sumuran	52	520.76		
Linier	212	685.05	Asymp. Sig.	.000
Ceruk	24	975.54	a. Kruskal-Wallis Test	
Total	1306		b. Grouping Variable: Pola Lorong Gua	

Perbedaan kondisi lorong gua ini dapat dilihat pada Gambar 4. Pada indeks vertikal nilai pola sumuran memiliki nilai yang tinggi. Pada indeks horizontal pola ceruk memiliki nilai yang tinggi.

Sedangkan distribusi yang besar terdapat pada pola *linear*. Distribusi tingkat kelengkungan yang besar terdapat pada pola *curvilinear*, mengingat banyak lengkungan pada pola tersebut. Pada rasio lebar dan tinggi memiliki rentang yang tinggi pada pola *curvilinear* dan *linear*, sedangkan rentang yang paling



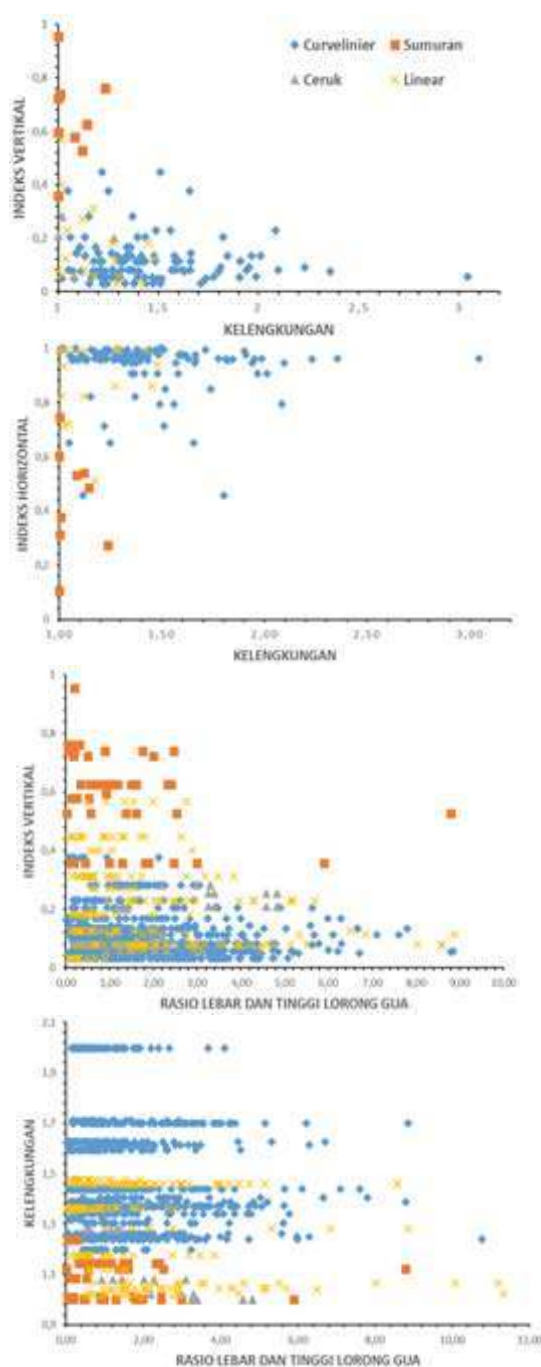
pendek terdapat di pola sumuran Gambar 4. Distribusi *Boxplot* pada Parameter setiap kondisi lorong gua

Gambar 5 menunjukkan beberapa parameter yang terjadi pada berbagai pola yang terbentuk di gua-gua Kabupaten Malang. Pola yang terjadi menunjukkan lorong berupa sumuran memberikan nilai indeks vertikal yang tinggi yang mendekati nilai 1 dengan tingkat kelengkungan yang kecil atau membentuk pola *linear*. Pada pola *curvilinear*, ceruk, dan *linear* menunjukkan indeks vertikal yang lebih kecil, dan horizontal yang besar, selain itu pola kelengkungan juga memiliki nilai yang besar pada pola *curvilinear*. Pada kondisi *linear*, kelengkungan lorong mendekati nilai 1,5 dan memiliki kondisi yang *linear*, hal ini juga terjadi pada bentukan ceruk. Disamping itu, terdapat nilai indeks vertikal yang tinggi pada pola linier dan *curvilinear*. Hal ini menandakan terdapat beberapa lorong gua, berupa lorong vertikal, namun terdapat lorong yang mempunyai kelengkungan tinggi pada level horizontalnya.

Perkembangan lorong gua pada indeks vertikal menunjukkan nilai tinggi pada gua tipe sumuran. Disamping itu, terdapat lorong gua yang memiliki nilai tinggi pada kondisi *linear* dan *curvilinear*. Hal ini dapat terjadi, mengingat perkembangan lorong gua tidak terjadi dari satu proses, melainkan dari beberapa proses yang membentuk lorong gua tersebut. Bentuk yang terjadi pada bagian lorong tersebut dapat berupa *canyon*, *chimney*, ataupun *shaft*.

Pola kelengkungan tinggi pada pada lorong *curvilinear*, pada sumuran dan ceruk memiliki kelengkungan yang kecil dan memiliki variasi lorong yang beragam.

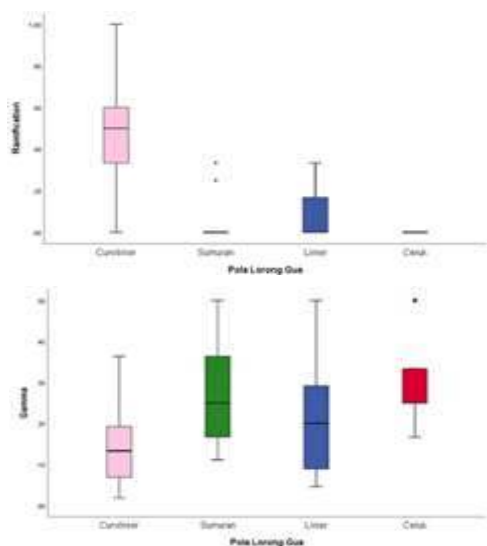
Hasil perhitungan Indeks *ramification*/percabangan (Gambar 6) menunjukkan kondisi ceruk dan sumuran memiliki nilai 0, ini menandakan bahwa tidak adanya persimpangan yang terbentuk pada lorong tersebut. Kondisi lorong membentuk lurus. Pada kondisi *linear*, juga ditunjukkan pada nilai 0, yang menandakan ada kesamaan dengan kondisi ceruk dan sumuran. Di sisi lain, *curvilinear* menunjukan nilai yang lebih tinggi, daripada ketiga kondisi tersebut.



Gambar 5. Distribusi Parameter Vertikal Indeks, Horizontal Indeks, Kelengkungan dan Rasio Lorong Gua

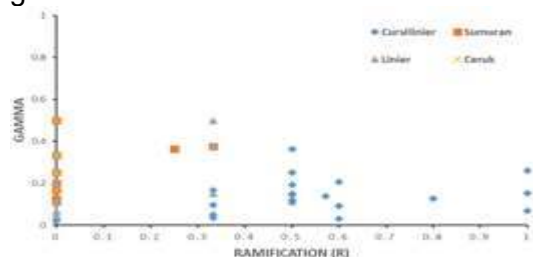
Perhitungan *Gamma* (Gambar 6) menunjukkan, pada kondisi *curvilinear* dan *linear* memiliki nilai yang kecil daripada ceruk dan sumuran. Hal ini memperlihatkan adanya kondisi dimana terdapat banyak stasiun atau perubahan lorong yang terjadi pada gua. Kondisi *linear* memiliki rentang variasi yang lebih

besar dimana kondisi ini mencakup nilai pada kondisi ceruk, sumuran dan *curvilinear*. Hal ini menandakan, dengan terbentuk kondisi *linear*, tapi memiliki bentukan seperti *shaft*, lorong tunggal (ceruk), dan kelokan akibat kontrol struktural ataupun hidrologis



Gambar 6 Sebaran *Boxplot* dari Hasil Perhitungan *Gamma* dan *Ramification*

Gambar 7 menunjukkan keterhubungan antara nilai *Gamma* dan *ramification*, dimana pada kondisi *curvilinear* terdapat nilai *Gamma* sebesar mendekati 0, hal ini memberikan gambaran walaupun nilai *ramification* 0 tetapi kondisi lorong gua sudah cukup berkembang, karena sudah banyak terdapat stasiun lorong gua. Pada kondisi *linear*, sumuran, dan ceruk hasil dari peyederhanaan lorong gua tidak memiliki percabangan yang dominan, sehingga nilai *ramification* mendekati 0 dan nilai *Gamma* yang tinggi menandakan lorong tersebut cukup sederhana dalam perkembangan lorong gua.



Gambar 7. Pola *Ramification* dan *Gamma* pada Pola *Curvilinear*, *Sumuran*, *Linear*, dan *Ceruk*

Gambar 8 menunjukkan distribusi dalam bidang faktor F1-F2. Dari plot tersebut didapatkan 3 area yang dominan, antara lain. Pertama, distribusi *curvilinear* terletak pada sebelas sisi kiri axis (nilai F1 dan F2 negatif). Pola memiliki nilai sinus dan indeks *ramification* tinggi, dimana 2 nilai ini saling mempengaruhi. Pada F1 terdapat nilai yang positif, dimana lorong juga berkembang pada pola vertikal. Kedua, kondisi sumuran berada pada posisi sebelah kanan bawah dari *scatterplot*, yang mewakili lorong horizontal yang rendah. Pada kondisi ini nilai indeks vertikal tinggi. Pada posisi sebelah kanan atas dari *scatterplot*, menunjukkan pola perkembangan gua *linear*. Dan terdapat pula kondisi sumuran dan ceruk yang berada pada posisi ini.

Tipologi Lorong Gua

Pemetaan gua telah banyak dilakukan pada saat ini. Data kuantitatif telah memberikan peran dalam menggambarkan kondisi lorong gua yang ada. Deskripsi bentukan lorong dan pola gua telah diberikan sebelumnya dengan pendekatan kuantitatif. Namun, terdapat pula pendekatan yang lain, untuk menyimpulkan mengenai kondisi dalam gua, yaitu pendekatan kuantitatif (morfometri gua). Data yang dihasilkan dari survei lapangan, diolah lagi untuk mengetahui kondisi gua yang ada. Dari perhitungan morfometri gua yang ada digunakan untuk mengetahui kondisi yang ada di dalam lorong gua tersebut.

Tiga pola gua di Kabupaten Malang

Lorong gua terbentuk dari berbagai macam proses yang terjadi, Ford & Williams (2007) memberikan gambaran dari sistem alirannya, meteorik, air dalam, ataupun dari pencampuran air. Pada aliran meteorik umumnya terdapat pada kondisi tidak tertekan dan air dalam berada pada kondisi tertekan. Campuran air dapat terjadi di daerah kepesisiran dengan membentuk ceruk. Kabupaten Malang sendiri memiliki gua yang tidak tertekan (*unconfined*) dan ceruk. Adapun

terdapat lorong gua yang lain berupa sumuran. Tentunya dalam melakukan analisa kuantitatif, didapatkan 3 pola gua yang ada di Kabupaten Malang. *Curvilinear* memiliki input dari doline-doline dari sungai permukaan yang masuk ke dalam gua. Dimana lorong gua akan dominan pengaruh kontrol hidrologis daripada struktural. Sumuran merupakan pola yang terbentuk dari perbedaan level yang membentuk *shaft* tunggal, dimana lorong guanya hanya terhenti beberapa meter saja. *Linear* dan ceruk membentuk lorong tunggal yang tidak bercabang. Ceruk umumnya lorong yang pendek, hanya beberapa meter. Terbentuk oleh proses struktural ataupun runtuh atau *mixing* air.

Identifikasi morfometri gua di Kabpaten Malang

Lorong gua yang diidentifikasi secara kualitatif selanjutnya dianalisis mengenai morfotri guanya. Pola yang terbentuk pada gua-gua di Kabupaten Malang memiliki perbedaan, yang terlihat dari nilai signifikaisnya yang menjadikan tidak sama. Hasil parameter morfometri gua juga menunjukkan perbedaan baik pada kelengkungan, rasio lebar dan tinggi, indeks horizontal dan indeks vertikal.

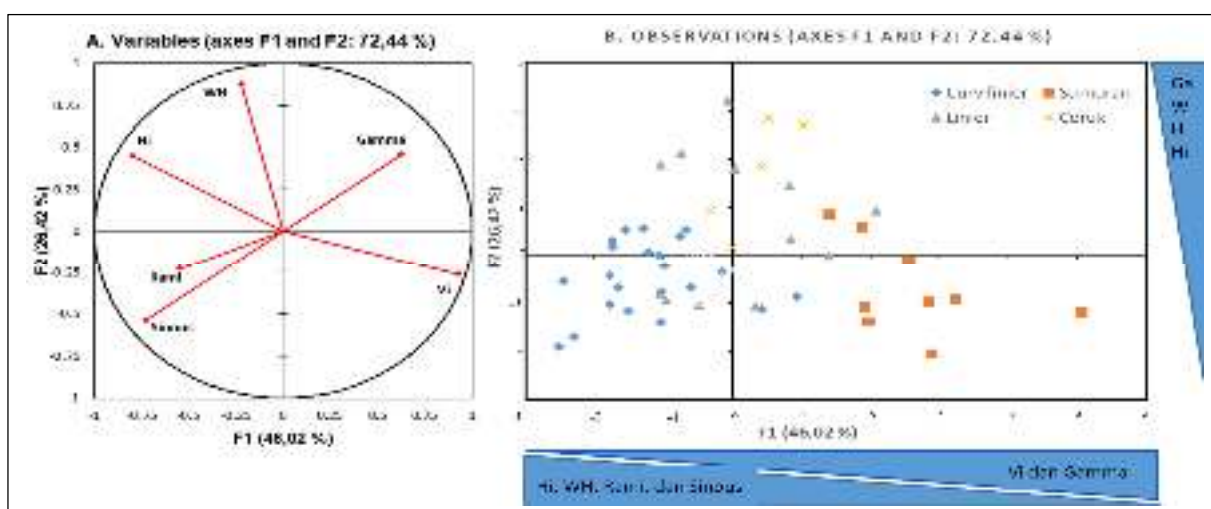
Pada kondisi *linear* dan ceruk, memiliki parameter yang hampir sama, hal ini menandakan adanya persamaan dalam pola lorong gua tersebut. Pada kondisi

sumuran memiliki hal yang berbeda dengan *linear* dan ceruk, ini terlihat dari parameterunya. Namun, pola *linear* akan berkembang pada sumuran, mengingat lorong ini merupakan lorong tunggal. Kondisi *curvilinear* memiliki nilai yang beragam akibat banyak proses yang terbentuk di dalam lorong gua.

Adanya pola yang hampir sama antara ceruk dan *linear* tentunya terlihat pada Gambar 8. Dimana antara ceruk dan *linear* berkumpul menjadi satu. Ini menandakan adanya kesamaan nilai atau bentukan yang terjadi, walaupun proses yang menyertai akan berbeda-beda. Pada kondisi sumuran sendiri memiliki indeks vertikal yang tinggi sehingga gua yang ada akan berpisah dengan gua yang lain. Kondisi terlihat mengelompok menandakan adanya kesamaan pola pada gua-gua tersebut.

Perkembangan gua di Kabupaten Malang

Perkembangan lorong gua yang kompleks di Kabupaten Malang berada pada pola *curvilinear* dengan tingginya keberagaman lorong gua, baik kelengkungan, rasio lebar dan tinggi, indeks horizontal dan vertikal. Gua yang membentuk *curvilinear* umumnya memiliki kompleksitas lorong yang lebih tinggi dari pada *linear* atau sumuran. Lorong lorong akan berkelok-kelok mengikuti aliran sungai bawahan atau mengikuti arah dari kontrol struktural yang ada.



Gambar 8. Beberapa Parameter yang Digunakan dalam Analisis Pola Lorong Gua

Hasil perhitungan yang ada memperlihatkan antara ceruk dan *linear* berada kelompok yang sama, tentunya ini akan menjadi normal dan sesuai, bila perkembangan lorong gua yang terbentuk akibat hidrologis atau struktural bukan akibat pencampuran air yang menyebabkan pelarutan pada batuan. Dari interpretasi lorong gua yang ada, tentunya dapat dimasukkan ke dalam satu kondisi yang *linear*

Kondisi sumuran memiliki kesamaan dengan *linear*, terkait *planview* pada gua tersebut yang membuat pola *linear*. Namun, secara bentuk dan nilai perhitungan morfometri yang ada pada Gambar 8 terlihat pola pengelompokan yang berbeda dengan *linear*. Disamping itu, bentuk lorong gua yang ada, memiliki perbedaan dengan *linear*, dimana pada kondisi sumuran dominasi yang utama yaitu *canyon*, *cimney*, ataupun *shaft*.

Dari hasil perhitungan dan identifikasi tersebut, tentunya perkembangan lorong gua memberikan gambaran lebih dalam bahwa lorong yang ada di Kabupaten Malang memiliki 3 kondisi yaitu *curvilinear*, *linear* dan sumuran

Perkembangan lorong gua di Kabupaten Malang memiliki kenampakan yang sama dengan hasil identifikasi di daerah Karst Gunung Sewu, dengan berkembangnya lorong *curvilinear*, *linear* dan sumuran (MacDonalds & Parners, 1984) pada Basin Wonosari juga berkembang lorong *curvilinear* dan *linear* (Haryono, 2014; Labib, Haryono, Agniy, et al., 2019) Perkembangan lorong gua yang telah disajikan tersebut sejalan dengan kondisi lorong berupa single conduit passage maupun cave intergrated passage (Ford & Williams, 2007). Pada lorong single passage lorong dapat berupa *linear passage* yang terbentuk di beberapa gua karst di Kabupaten Malang. Pola intergrated passage dapat membentuk pola *curvilinear* yang lebih rumit dari sistem single conduit.

Sweeting (1972) memberikan beberapa karakter pada lorong tunggal, yaitu, *sinous*, *linear*, dan *angulate*

pasagge. Namun, kenampakan lorong *sinous* lebih dijadikan sebagai lorong pola *curvilinear* karean terkait dengan adanya aliran bawahtanah (Palmer, 1991) sama halnya dengan proses *sinous*. *Angulate passage* yang dominan membentuk gua, tidak ditemukan pada gua-gua di Kabupaten Malang. Sedangkan *linear* memberikan gambaran tunggal lorong gua.

Perkembangan lorong gua yang berada pada kondisi *curvilinear*, *linear* dan sumuran akan memberikan konsekuensi yang ada di dalam lorong. Pada kondisi *curvilinear* akan membentuk *brancwork*. *Brancwork* memberikan gambaran dengan adanya input dari ponor, doline dan adanya aliran. Kondisi epifreatik, vadose, dan freatik berkembang pada kondisi ini (Audra & Palmer, 2013; Palmer, 1991). Pada sumuran, umumnya disebut sebagai *shaft vertical* (Audra & Palmer, 2013; Baron, 2003), adanya kenampakan tersebut akan membentuk zona vadose. Pada *linear passage* lorong gua akan berada pada Kondisi epifreatik dan vadose

4. Penutup

Identifikasi pola gua telah banyak dianalisis dengan pendekatan kualitatif dan pendekatan morfologi dengan melihat kondisi gua. Kajian ini memberikan gambaran yang berbeda dengan melihat pola gua yang ada dengan pendekatan kualitatif. Data yang didapatkan berasal dari data lapangan. Hasil perhitungan memperlihatkan perkembangan lorong gua di Kabupaten Malang memiliki 3 kondisi yaitu *curvilinear*, *linear* dan sumuran yang menghasilkan konsekuensi pada perkembangan lorong masing-masing. Penelitian ini tentunya memerlukan data yang banyak untuk menyimpulkan mengenai kondisi lorong yang lebih spesifik, mengingat sampel yang digunakan masih sedikit. Maka perlu adanya pendataan dan pemetaan lorong gua agar dapat mengetahui kondisi gua secara umum di Kabupaten Malang.

Ucapan Terima Kasih

Kajian ini berdasarkan data-data yang telah dikumpulkan sebelumnya, oleh anggota MPA Jonggring Salaka Universitas Negeri Malang dan Impala Universitas Brawijaya dari tahun 2012 sampai 2018. Tentunya kami mengucapkan terima kasih untuk kesempatannya, sehingga kajian ini dapat terlaksana.

Daftar Pustaka

- Audra, P., & Palmer, A. N. (2013). *The vertical dimension of karst: controls of vertical cave pattern* (J. Shorder & A. Frumkin (eds.); Treatise o). Academic Press.
- Baron. (2003). Speleogenesis Along Sub-Vertical Joints: A Model of Karst Plateau Development: A case study Dolny Vrch Plateu (Slovak Republic). *Speleogenesis and Evolution of Karst Aquifers* 1 (2). *Journal Czech Republic*, 1–8.
- Collon, P., Bernasconi, D., Vuilleumier, C., & Renard, P. (2017). Statistical metrics for the characterization of karst network geometry and topology. *Geomorphology*, 283, 122–142.
- Fauzi, I., Baihaqi, M. R., K.T., D. M., & Eko, A. (2015). *Laporan Pendataan Gua, Mata Air dan Telaga di Karst Malang Selatan Desa Bandung Rejo dan Desa Sumber Bening Kecamatan Bantur Kabupaten Malang*.
- Ford, D., & Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. British Library.
- Haryono, E. (2016). *Pedoman Praktis Survei Terintegrasi Kawasan Karst*. Badan Penerbit Fakultas Geografi UGM.
- Haryono, E. dkk. (2014). *Speleogenesis Gua Pindul dan sekitarnya*.
- Iguzguiza, E., Valsero, J. J. D., & Galiano, V. R. (2011). Morphometric analysis of three-dimensional networks of karst conduits. *Geomorphology*, 132, 17–28.
- Impala, U. (2013). *Studi Potensi Kawasan Karst Inventarisasi dan Pendataan Ponor, Mata Air, dan Telaga/Danau Karst Serta Pemetaan Fauna Gua Dan Studi Masyarakat Di Desa Kedungsalam, Kecamatan Donomulyo, Kabupaten Malang*.
- Jouves, J., Viseur, S., Afib, B., Baudement, C., Camus, H., Collon, P., & Guglielmi, Y. (2017). Speleogenesis, geometry, and topology of caves: A quantitative study of 3D karst conduits. *Geomorphology*, 298, 86–106.
- Labib, M. A. (2016). *Speleogeomorfologi Karst di Kecamatan Donomulyo Kabupaten Malang*. Universitas Gadjah Mada.
- Labib, M. A., Haryono, E., Agniy, R. F., Sasongko, H. D., Cahyadi, A., Putra, E. B. ., Danardono, Oktama, R., & Adji, T. N. (2019). Karakterisasi Lorong Gua Di Geosite Gua Pindul, Geopark Gunungsewu. *Seminar Nasional Geografi III*.
- Labib, M. A., Haryono, E., & Sunarto. (2019). The Development of Cave Passage in Donomulyo, Malang-Indonesia. *E3S Web of Conferences* 76.
- Laksamana, E. E. (2015). *Stasiun Nol: Teknik-Teknik Pemetaan Dan Survey Hidrologi Gua*. Megalith Books dan Acintyacunyata Speleogenesis Club.
- MacDonalds, & Parners. (1984). *Greater Yogyakarta-Groundwater Resources Study Vol 3C*. Directorate General of Water Resources Development Project (P2AT).
- MPA Jonggring Salaka. (2018). *Eksplorasi Kawasan Karst Sendang Biru Kabupaten Malang*. CV Komojoyo Press.
- Palmer, A. N. (1991). Origin and Morphology of Limestone Caves. *Geological Society of America Bulletin*, 1–25.
- Piccini, L. (2011). Recent Developments on Morphometric Analysis of Karst Caves. *ACTA CARSOLOGICA*, 40(1), 43–52.
- Supriatno, A., Prasetyono, D., Hardianto, A. S., Labib, M. A., Efendi, S., Hidayat, K., Triyono, J. A., & Ahmad, A. A. (2017). Identifikasi Hubungan

Kelurusan dan Pola Lorong Gua Karst di Kecamatan Sumbermanjing Weta Kabupaten Malang. *Prosiding Seminar Nasional Geotik*, 2580–8796.

Sweeting, M. M. (1972). *Karst Landforms*. Macmilland.