

Perbedaan Tingkat Perkembangan Karst Daerah Peralihan antara Basin Wonosari dan Karst Gunungsewu

Husna Diah, Tjahyo Nuhroho Adji, Eko Haryono

Masuk: 06 01 2021 / Diterima: 16 01 2021 / Dipublikasi: 30 06 2021

Abstract The karstification process plays a vital role in the development of karst landforms. Knowledge of the level of karst development is a benchmark to manage karst. This study aims to determine karst development in the transitional area between the Wonosari Basin and the Gunungsewu Karst Hill. The data collection method was carried out indirectly with a visual interpretation of DEMNAS), aerial photographs of 1993, and Landsat images to obtain all morphological information and morphometric data of karst landforms doline, karst hills, and karst valleys. The results of this interpretation are adjusted to the results of shooting the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) with drones and direct validation in the field by measuring doline morphometry, karst hills, karst valleys in several sample locations with purposive sampling technique. The level of karst development was assessed by the pitting index, doline orde, and stages of karst development. The results showed the difference in the level of karst development in the karst transition area and the Gunungsewu Karst Hill. The level of karst development in the transitional area was categorized as a karst area with an early development stage, or it can be categorized as fluviokarst. At the same time, the Gunungsewu Karst Area has experienced mature karst development or can be categorized as polygonal karst or cockpit karst. The use and management of karst must be carried out sustainably while maintaining the preservation of natural resources and the continuity of the karstification process.

Keywords: Cockpit Karst; Fluviokarst; Polygonal Karst; Karst Development

Abstrak Proses karstifikasi memegang peranan yang sangat penting dalam perkembangan bentuklahan karst. Pengetahuan tingkat perkembangan karst merupakan tolak ukur dalam suatu upaya pengelolaan karst. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat perkembangan karst di daerah peralihan antara Basin Wonosari dan Perbukitan Karst Gunungsewu. Metode pengumpulan data dilakukan secara tidak langsung dengan interpretasi visual terhadap DEMNAS (*Digital Model Elevation*), foto udara tahun 1993 dan citra landsat dilakukan untuk memperoleh semua informasi morfologi dan data morfometri bentuklahan karst yang meliputi dolina, bukit karst, dan lembah karst. Hasil interpretasi tersebut disesuaikan dengan hasil pemotretan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan *drone* dan validasi lapangan dengan pengukuran morfometri dolina, bukit karst, lembah karst pada beberapa lokasi dengan teknik purposive sampling. Tingkat perkembangan karst dinilai dengan indeks cekungan, orde dolina dan tahapan perkembangan karst. Hasil penelitian menunjukkan perbedaan tingkat perkembangan karst di daerah peralihan karst dan Perbukitan Karst Gunungsewu. Tingkat perkembangan karst pada daerah peralihan dikategorikan sebagai kawasan karst dengan perkembangan tahap muda atau dapat dikategorikan sebagai *fluviokarst*, sedangkan Kawasan Karst Gunungsewu sudah mengalami perkembangan karst dewasa atau dapat dikategorikan polygonal karst. Pemanfaatan dan pengelolaan karst harus dilakukan secara berkelanjutan dengan tetap menjaga kelestarian sumberdaya alam dan keberlangsungan proses karstifikasi.

Kata kunci: Cockpit Karst; Fluviokarst; Polygonal Karst; Perkembangan Karst

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.

Copyright © 2021 by Author. Published by Universitas Pendidikan Ganেশha.



1. Pendahuluan

Daerah peralihan karst merupakan perbatasan antara kawasan karst dan *non* karst. Daerah peralihan karst yang terdapat di antara Basin Wonosari dan Perbukitan Karst Gunungsewu mempunyai banyak keunikan morfologi. Karst Gunungsewu dan Basin Wonosari mempunyai kesamaan jenis batuan yaitu batugamping, namun dengan tipe yang berbeda. Batuan induk di Basin Wonosari merupakan jenis batugamping berlapis sedangkan batuan induk Kawasan Karst Gunungsewu adalah batugamping terumbu yang kompak (Haryono, *et al.*, 2020). Batas diantara kedua morfologi ini dinamakan dengan daerah peralihan karst. Kawasan peralihan karst tersebut idasari oleh batuan induk berupa batugamping Formasi Wonosari.

Batugamping Formasi Wonosari mempunyai karakteristik yang kompak, mudah larut dan mempunyai banyak rekahan akibat hasil proses aktivitas tektonik. Hasil tubrukan antara Lempeng Eurasia di bagian utara dan Lempeng Hinda-Australia di bagian selatan menghasilkan patahan dan rekahan yang intensif dengan pola barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya (Balazs, 1968; Bemmelen; 1949; Surono, 2009; Haryono dan Day, 2004). Batugamping masif yang ada di daerah peralihan karst berada di atas batugamping berlapis mempunyai ketebalan yang cenderung tipis. Batugamping ada di wilayah ini cenderung tidak stabil sehingga

membentuk patahan, rekahan. Pada patahan dan rekahan ini mengalami proses karstifikasi secara terus menerus. Oleh karena itu daerah peralihan kedua jenis batugamping ini menciptakan morfologi yang unik seperti terbentuknya doline, goa dan lembah buta dengan ponor (*blind valley*). Variasi morfologi tersebut merupakan hasil dari proses solusional dan karstifikasi. Daerah peralihan ini mempunyai topografi dataran berombak, yang semakin ke utara semakin datar sedangkan semakin ke selatan semakin berbukit-bukit.

Perkembangan karst umumnya disebabkan oleh proses pelarutan batugamping yang diawali oleh larutnya CO₂ di dalam air yang membentuk H₂CO₃. Larutan H₂CO₃ yang tidak stabil terurai menjadi H⁺ dan HCO₃²⁻. Ion H⁺ inilah yang selanjutnya menguraikan CaCO₃ menjadi Ca²⁺ dan HCO₃²⁻. Secara ringkas proses pelarutan dirumuskan dengan reaksi sebagai berikut (Haryono & Adji, 2004): CaCO₃ + H₂O + CO₂ → Ca²⁺ + 2HCO₃⁻. Pandangan lain tentang perkembangan karst yaitu proses perkembangannya dimulai dan diakhiri oleh proses fluvial yang ditandai oleh perkembangan lembah-lembah permukaan (Pench, 1904; Sawicki, 1909; Dicken, 1935; Haryono, 2008). Berdasarkan penelitian yang lebih lanjut perkembangan karst dapat terjadi secara bersamaan antara proses pelarutan dan fluvial, bahkan dengan kombinasi keduanya yang menjadikan proses perkembangan karst menjadi lebih intensif (Kaufmann, 2002; Philips *et al.*, 2004; Haryono, 2008). Selain itu, tingginya curah hujan juga menyebabkan besarnya tingkat pelarutan yang menjadi syarat dari

Husna Diah, Tjahyo Nugroho Adji, Eko Haryono
Universitas Gadjah Mada, Indonesia

husnadiyah93@mail.ugm.ac.id

karstifikasi dan perkembangan morfologi karst (Haryono, *et al.*, 2017).

Perkembangan karst menyebabkan berbagai morfologi karst yang unik yang tidak dapat dijumpai pada bentuklahan lain. Penelitian tingkat perkembangan karst telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya di kawasan Karst Gunungsewu (Haryono dan Day, 2004), Karst Karangbolong (Haryono, dkk., 2017), Karst Batu Tondoyan di Kalimantan Timur (Hakim, 2017) dan Karst Formasi Jonggrangan di Kaligesing (Muarifin, 2009). Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya berfokus pada kajian morfologi dan perkembangan karst pada kawasan karst, sedangkan penelitian ini mengkaji tingkat perkembangan karst pada daerah peralihan secara detail. Selain itu, penelitian ini membandingkan tingkat perkembangan karst pada Kawasan Karst Gunungsewu dan daerah peralihan.

Tingkat perkembangan karst sangat penting untuk dikaji sebagai dasar untuk kebijakan dan keputusan yang diambil dalam pengelolaan karst. Kajian tentang perkembangan bentuklahan karst pada daerah peralihan karst dan Karst Gunungsewu penting dilakukan sebagai upaya penguatan pengembangan *Geopark* Gunungsewu yang merupakan *Global Geopark* UNESCO yang pertama di Indonesia. Selain itu, Karst Gunungsewu juga merupakan kawasan konservasi yang perlu dilindungi. Oleh sebab itu pengembangan kawasan ini memerlukan kajian yang mendalam mengenai perkembangan bentuklahan karst agar dapat menyesuaikan arah

pengembangan wilayah yang berkelanjutan. Tujuan penelitian ini adalah untuk membandingkan tingkat perkembangan karst di daerah peralihan antara Basin Wonosari dan Karst Gunungsewu.

2. Metode

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksplorasi. Teknik pengumpulan data dilakukan secara tidak langsung dan langsung. Teknik pengumpulan data secara tidak langsung dilakukan dengan cara interpretasi visual dilakukan terhadap DEMNAS (*Digital Elevation Model* Nasional) dengan tingkat resolusi 8 meter, foto udara tahun 1993, dan citra satelit landsat untuk memperoleh semua informasi morfologi dan morfometri bentuklahan karst yang meliputi dolina, bukit karst, dan lembah karst yang ada pada daerah penelitian. Teknik pengumpulan data secara langsung dilakukan sebagai upaya validasi hasil interpretasi dengan cara pengukuran morfometri dolina dan lembah karst yang meliputi luas, lebar, panjang, kepadatan, dan rasio.

Analisis data spasial dalam penelitian ini melalui tahapan interpretasi terhadap data DEM citra landsat dan foto udara tahun 1993 yang dikombinasikan dengan citra landsat. Interpretasi dilakukan dengan menerapkan kunci interpretasi di antaranya bentuk, rona, warna, bayangan, tekstur, ukuran, pola, situs, asosiasi dan konvergensi bukti. Analisis spasial ini dilakukan untuk menginterpretasikan morfologi dolina, lembah karst, dan bukit karst yang terdapat pada daerah peralihan dan Perbukitan Karst Gunungsewu. Hasil

interpretasi tersebut disesuaikan dengan hasil pemotretan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) dengan *drone* pada beberapa lokasi sampel.

Penentuan lokasi sampel penelitian dilakukan berdasarkan teknik *purposive sampling*. *Purposive sampling* adalah metode pengambilan sampel dengan pertimbangan tertentu yang dianggap relevan atau dapat mewakili objek yang diteliti (Effendi dan Tukiran, 2012). Pengambilan sampel dengan teknik tersebut dilakukan berdasarkan tujuan tertentu dan pertimbangan tertentu. Pertimbangan yang dimaksud adalah berdasarkan satuan bentuklahan (zona peralihan dan karst) dan aksesibilitas menuju lokasi pengambilan sampel. Pemetaan dilakukan pada skala 1: 25.000 dengan tingkat kedetailan semi detail. Pemetaan pada skala tersebut mempunyai MLA (*Minimum Legible Area*) sebesar 1,56 Ha untuk *polygon* (Vink, 1975).

Perkembangan bentuklahan karst juga dinilai dengan perkembangan morfometri jaringan lembah yang didekati melalui indeks cekungan dan orde dolina (Haryono, 2008). Indeks cekungan (*pitting index*) diukur dengan menggunakan rumus:

$$P_i = A_k / \Sigma A_d \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

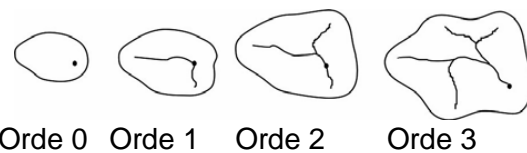
P_i = *pitting index*

A_k = luas kawasan karst

A_d = luas dolina

Hasil perhitungan indeks cekungan mengindikasikan jika semakin rendah nilai indeks cekungan maka semakin berkembang bentuklahan karst. Dolina dapat dinyatakan dalam orde, sama

halnya dengan lembah-lembah permukaan. Orde dolina menggambarkan tingkat perkembangan dolina, semakin besar orde dolina berarti semakin lanjut perkembangan dolina (Haryono & Adji, 2004). Penentuan orde dolina dilakukan dengan interpretasi citra, foto udara dan data DEM. Sketsa yang menunjukkan orde dolina seperti disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sketsa Orde Dolina (Sumber: Williams, 1971).

3. Hasil dan Pembahasan

Proses pembentukan morfologi karst Gunungsewu melalui beberapa tahapan perkembangan. Tahapan pertama yaitu terjadinya pengendapan batugamping di dalam perairan laut. Selanjutnya terjadi pengangkatan oleh aktivitas tektonik yaitu pergerakan Lempeng Hindia-Australia yang menunjam Lempeng Eurasia yang membuat daratan Pulau Jawa bagian selatan terangkat sehingga batugamping yang ada terekspos ke permukaan. Akibatnya batugamping mengalami interaksi langsung dengan udara (CO_2) dan air sehingga terjadilah proses pelarutan pada batugamping. Proses pelarutan batugamping dipengaruhi oleh dua faktor yakni faktor pengontrol dan pendorong (Haryono dan Adji, 2004).

Faktor pengontrol menentukan dapat atau tidaknya berlangsung proses karstifikasi, sedangkan faktor pendorong menentukan kecepatan dan

kesempurnaan proses karstifikasi. Faktor pengontrol tersebut di antaranya adalah: 1) adanya batuan mudah larut, kompak, tebal dan mempunyai banyak rekahan; 2) curah hujan yang cukup yaitu lebih dari 250 mm/tahun; dan 3) batuan terekspos pada ketinggian yang memungkinkan terjadi sirkulasi air secara vertikal. Karst Gunungsewu mempunyai ketiga faktor pengontrol yang telah disebutkan tersebut. Batugamping yang ada di Karst Gunungsewu merupakan batugamping Formasi Wonosari yang mempunyai ketebalan 300 m – 800 m. Batugamping tersebut mempunyai karakteristik yang kompak, mudah larut dan mempunyai banyak rekahan akibat hasil proses aktivitas tektonik. Hasil tubrukan Lempeng Eurasia di bagian utara dan Lempeng Hinda-Australia di bagian selatan menghasilkan patahan dan rekahan yang intensif dengan pola barat laut-tenggara dan timur laut-barat daya (Balazs, 1968; Bemmelen; 1949; Surono, 2009; Haryono dan Day, 2004). Oleh karena itu, pelarutan yang terjadi pada patahan dan rekahan tersebut membentuk lembah-lembah yang mengikuti pola-pola tersebut.

Pelarutan yang terjadi pada batugamping di Kawasan Karst Gunungsewu didukung oleh tersedianya media pelarut berupa air hujan dengan intensitas yang cukup tinggi yaitu rata-rata tebal hujan 272 mm/bulan pada musim penghujan. Semakin besar tebal hujan di suatu tempat, maka semakin intensif perkembangan karst di tempat tersebut (Haryono, 2008). Batugamping terekspos cukup tinggi dari permukaan laut ditandai dengan adanya bukit-bukit karst dengan ketinggian lebih dari 200

meter dari permukaan laut. Oleh sebab itu memungkinkan terjadinya sirkulasi air/drainase secara vertikal. Hal ini terbukti dari beberapa bentuk gua hasil pelarutan secara vertikal sehingga mempunyai lorong gua yang vertikal salah satu contohnya adalah Gua Serpeng yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Gua Serpeng

Faktor pendorong mempunyai andil yang cukup besar dalam proses karstifikasi di antaranya temperatur dan penutup lahan. Kecepatan pelarutan batugamping terjadi lebih cepat pada temperatur yang rendah karena konsentrasi CO₂ pada suhu yang rendah cenderung lebih tinggi. Walaupun demikian pelarutan batugamping di daerah tropis lebih tinggi karena mempunyai curah hujan yang tinggi sebagai media pelarut dan penutup lahan yang lebih rapat. Penutup lahan yang rapat dapat membuat kandungan CO₂ di dalam

tanah melimpah akibat hasil rombakan sisa-sisa organik oleh organisme (Haryono dan Adjie, 2004). Hal tersebut menyebabkan proses karstifikasi di daerah tropis khususnya di Perbukitan Karst Gunungsewu cukup intensif. Perkembangan karst juga dinilai berdasarkan indeks cekungan. Hasil perhitungan indeks cekungan (*pitting index*) tertera pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai *Pitting Index*

Wilayah	<i>Pitting Index</i>	Keterangan
Basin Wonosari	0,0	Tidak terdapat dolina
Daerah Peralihan	37,9	Dolina terbatas
Karst Gunungsewu	1,0	Banyak dolina

(Sumber: Hasil Interpretasi, 2020)

Hasil perhitungan nilai indeks cekungan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa Basin Wonosari tidak mengalami proses karstifikasi yang ditandai dengan tidak ditemukannya morfologi karst. Proses karstifikasi terjadi lebih intensif di kawasan Perbukitan Karst Gunungsewu jika dibandingkan dengan daerah peralihan. Hal ini ditandai dengan nilai indeks cekungan (*pitting index*) di Perbukitan Karst Gunungsewu yang lebih kecil dibandingkan daerah peralihan. Jumlah dolina yang banyak menunjukkan bahwa porositas sekunder dan jaringan perguaan telah berkembang dengan baik.

Sebaran ponor cenderung rapat dan terdistribusi secara acak pada Kawasan Karst Gunungsewu. Hal ini juga sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan pada sebagian karst Gunungsewu yang berada di Daerah

Panggang dan sekitarnya (Haryono, 2008). Penelitian tersebut menyatakan bahwa ponor yang tersebar secara acak di Kawasan Karst Gunungsewu mengindikasikan bahwa porositas sekunder telah mengalami perkembangan lebih lanjut. Porositas ini menyebabkan air permukaan dapat langsung masuk ke dalam sistem perguaan (Haryono, 2008). Gambar 3 menunjukkan sebaran ponor pada daerah penelitian.

Tahapan perkembangan karst dinilai dengan beberapa aspek di antaranya jenis basin, bentuk lembah, pola aliran, bentuk basin, sebaran ponor, blok diagram, luas basin, panjang total lembah, kepadatan lembah, gradien lembah, dan orde lembah. Kawasan Karst Gunungsewu mempunyai jenis dolina dengan bentuk lembah dominan memanjang dan *cockpit*. Daerah peralihan karst cenderung mempunyai bentuk dolina dengan beberapa bentuk di antaranya corong, sumuran, amblesan dan runtunan. Penilaian tahapan perkembangan karst menurut Haryono (2008) pada daerah peralihan dan Karst Gunungsewu disajikan pada Tabel 2.

Daerah peralihan karst mempunyai pola aliran yang berbentuk dendritik-paralel dengan outlet yang berupa ponor yang langsung masuk ke sistem sungai bawah tanah. Kawasan Karst Gunungsewu mempunyai pola aliran multibasinal dengan ponor yang berada pada bagian yang terendah di dalam cekungan tertutup sehingga air mengalir tertuju ke dalam ponor dari berbagai sisi cekungan tersebut. Sebaran ponor yang ada di daerah peralihan karst cenderung

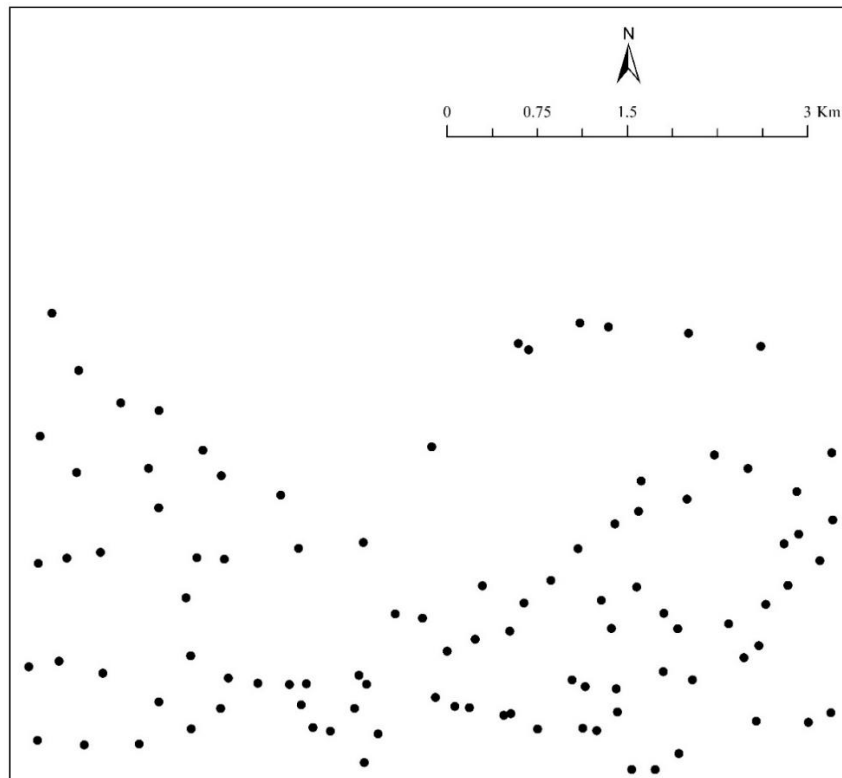
mengelompok pada beberapa area seperti pada *Geosite* Ngingrong, Luweng Blimbing, dan Gua Ngeleng. Ponor-ponor tersebut mengataskan air permukaan langsung ke dalam sistem sungai bawah tanah. Kawasan Karst Gunungsewu mempunyai sebaran ponor yang relatif acak namun cenderung mengarah ke utara. Hal ini terjadi karena perbedaan ketinggian antara Karst Gunungsewu dan Basin Wonosari yang lebih rendah sehingga aliran permukaan cenderung mengarah ke utara. Peta jaringan lembah karst daerah peralihan antara Basin Wonosari dan Karst Gunungsewu dapat dilihat pada Gambar 4.

Haryono, *et al.* (2017) mengungkapkan bahwa sejarah pengangkatan memiliki kontrol penting pada differensiasi morfologi antara bagian dataran tinggi dan bagian lereng. Selain itu, Tjia (2013) juga mengatakan bahwa perkembangan Perbukitan Karst Gunungsewu bersesuaian dengan pola rekahan yang secara genetik terkait dengan kompresi Pulau Jawa. Haryono dan Day (2004) mengungkapkan bahwa selain litologi dan struktur geologi, faktor lain yang mempengaruhi perkembangan bentang alam Karst Gunungsewu yaitu kemiringan lereng regional. Kemiringan lereng sebesar 2% di bagian selatan mengontrol perkembangan karst secara tidak langsung melalui peningkatan limpasan yang menghasilkan lebih banyak cekungan atau lembah.

Proses karstifikasi yang ada di daerah peralihan dan Perbukitan Karst Gunungsewu masih terus berlangsung. Daerah peralihan dan Perbukitan Karst Gunungsewu mempunyai kadar karbonat (Ca) yang cukup tinggi yaitu

sekitar 74%. Penelitian yang dilakukan oleh Zhang, *et al.* (2007) menunjukkan bahwa pelarutan mineral Ca^{2+} lebih cepat dibandingkan dengan pelarutan mineral Mg^{2+} , oleh karena itu pelarutan yang ada di daerah peralihan Karst Gunungsewu dan Ledok Wonosari terjadi secara intensif karena mempunyai kandungan Ca rata-rata 74%. Hal itu juga diperkuat oleh penelitian yang dilakukan oleh Sutikno (1996, dalam Samodra, 2003) yang menyatakan bahwa denudasi atau pelarutan pada daerah karst dengan iklim tropis berkisar antara 1,3 hingga 2 mm/tahun.

Daerah peralihan karst mempunyai ciri-ciri morfologi yang bergelombang, sedangkan Kawasan Karst Gunungsewu berbukit-bukit yang terdiri dari bukit yang berbentuk kerucut dan memanjang. Berdasarkan model perkembangan karst, daerah peralihan karst ini dapat dikategorikan kawasan karst dengan perkembangan tahap muda, selain itu pada daerah peralihan karst ditemukan beberapa sungai permukaan (Haryono, 2008). Tipe karst pada tahapan muda cenderung lebih sesuai dikategorikan sebagai *fluviokarst*. Basin Wonosari hanya mengalami karstifikasi yang terbatas (Haryono dan Day, 2004). Kawasan Karst Gunungsewu dapat dikatakan sudah mengalami perkembangan karst dewasa atau dapat dikatakan sebagai *polygonal karst* atau *cockpit karst*.



Gambar 3. Sebaran Ponor daerah Peralihan

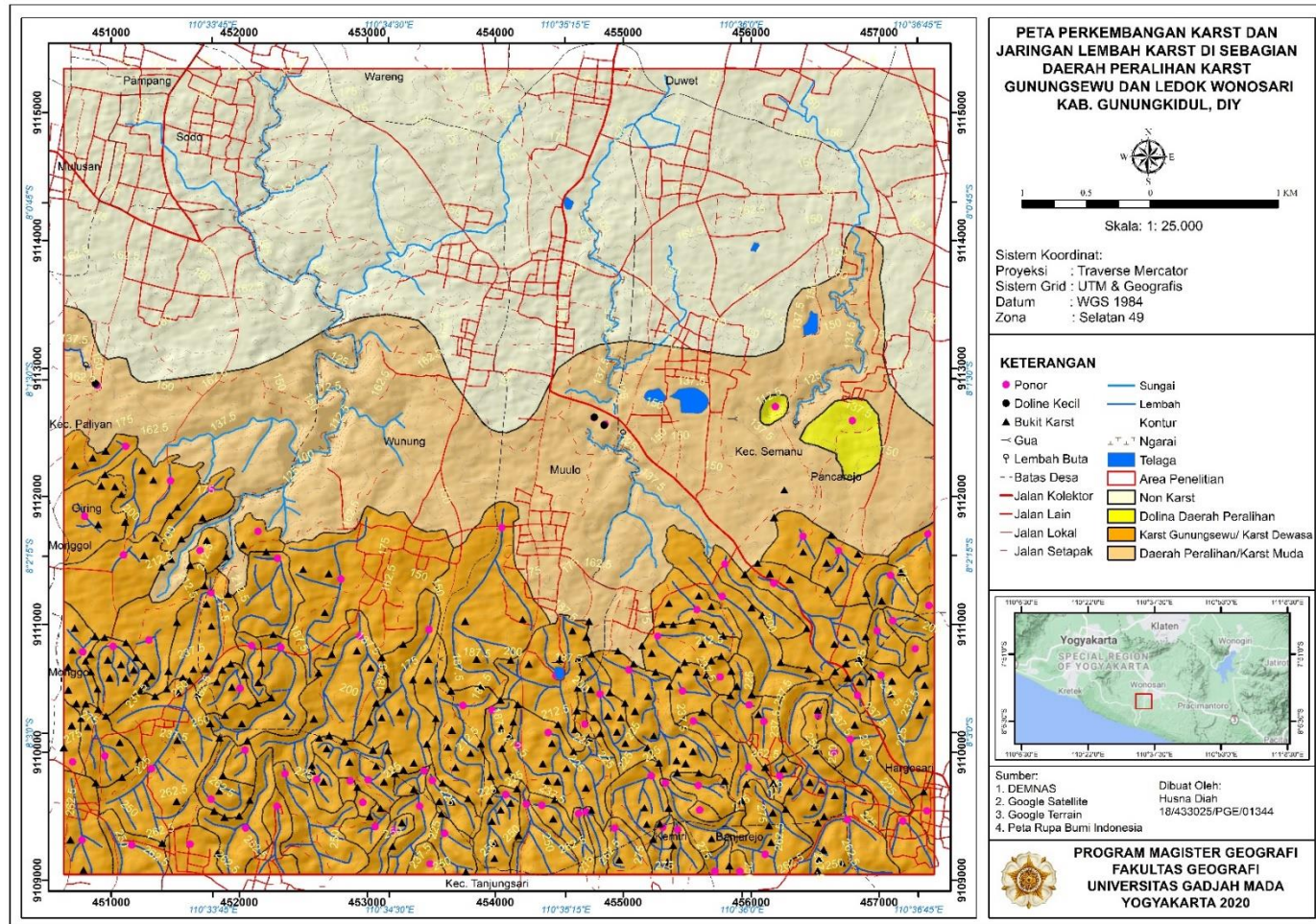
Tabel 2. Perbedaan Perkembangan Karst

Aspek Morfologi	Perkembangan Tahap Muda	Perkembangan Tahap Dewasa
	Daerah Peralihan	Karst Gunungsewu
Jenis basin	Terbuka	Tertutup
Bentuk lembah	Besar	Kecil
Pola aliran	dendritik-paralel	Multibasinal
Bentuk basin	U dengan dasar lancip	V dengan dasar datar
Sebaran ponor	Mengelompok	Acak
Blok diagram	Landai hingga Bergelombang	Berbukit-bukit
Luas basin	2,35 km ²	0,2 km ²
Panjang total lembah	81 m-19.174 m	766 m-2.723 m
Kepadatan lembah	Kecil	Besar
Gradien lembah	Landai	Landai
Orde lembah	2 dan 3	0 sampai dengan 3

(Sumber: Hasil Interpretasi, 2020)

Berdasarkan Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral tentang Pedoman Pengelolaan Kawasan Karst Tahun 2000, daerah peralihan dapat dikategorikan tipe Karst Kelas II yang dapat dilakukan kegiatan usaha pertambangan dan kegiatan lainnya dilengkapi dengan studi

lingkungan (Amdal atau UKL dan UPL), sedangkan Karst Gunungsewu termasuk Karst Kelas I yang tidak boleh dilakukan kegiatan pertambangan, namun dapat dilakukan kegiatan lain asal tidak mengganggu kelestarian lingkungan.



Gambar 4. Peta Perkembangan Karst dan Jaringan Lembah Karst Daerah Peralihan

4. Penutup

Penelitian ini menemukan bahwa terdapat perbedaan tingkat perkembangan karst di daerah peralihan karst dan Perbukitan Karst Gunungsewu. Tingkat perkembangan karst pada daerah peralihan dikategorikan sebagai kawasan karst dengan perkembangan tahap muda atau dapat dikategorikan sebagai *fluviokarst*, sedangkan Kawasan Karst Gunungsewu sudah mengalami perkembangan karst dewasa atau dapat dikategorikan *polygonal karst* (*polygonal karst* atau *cockpit karst*). Tingkat perkembangan karst dipengaruhi oleh faktor pengontrol yaitu adanya batuan yang mudah larut, kompak, tebal dan banyak rekahan, curah hujan yang cukup serta batuan terekspos ke permukaan dan faktor pendorong berupa temperatur dan penutup lahan. Pemanfaatan dan pengelolaan karst harus dilakukan secara berkelanjutan dengan tetap menjaga kelestarian sumber daya alam dan keberlangsungan proses karstifikasi.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian tesis penulis di Program Studi Magister Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada yang berjudul "Kajian Morfologi di Daerah Peralihan antara Karst Gunungsewu dan Ledok Wonosari". Penelitian ini didanai oleh Lembaga Pengelola Dana Pendidikan Republik Indonesia (LPDP RI). Ucapan terimakasih saya ucapkan kepada LPDP yang telah memberikan kesempatan dan pendanaan untuk penelitian tersebut.

Daftar Pustaka

- Balazs, D. (1968). *Karst Region in Indonesia: Karszt-Es Barlangkutatas*. Budapest: Globus Nyomda.
- Bemmelen, V.R.W. (1949). *The Geology of Indonesia*. Vol 1A. General Geology. The Hague: Martinus Nijhoff.
- Effendi, S., & Tukiran. (2012). *Metode Penelitian Survei*. Jakarta: LP3ES.
- Hakim, A.A. (2017). Kajian Morfologi Karst Batu Tondoyan di Kawasan Karst Sangkulirang-Mangkalihat Kalimantan Timur (Tesis). Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Haryono, E. (2008). Model Perkembangan Karst Berdasarkan Morfometri Jaringan Lembah Di Karangbolong, Gunungsewu. Blambangan dan Rengel (Disertasi). Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Haryono, E., & Adji, T.N. (2004). *Geomorfologi dan Hidrologi Karst*. Yogyakarta: Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi UGM.
- Haryono, E., & Day, M. (2004). Landform Differentiation within The Gunungkidul Kegelkarst, Java-Indonesia. *Journal of Cave and Karst Studies*, 66 (2): 62-68.
- Haryono, E., Nurrohman, M. A., Adzan, G., Nasution, L.A., Diah, H., Cahyadi, A., Septianingrum, R. S. (2020). Keragaman Batugamping di Wilayah Luweng Blimbing dan Sekitarnya, Kecamatan Semanu, Kabupaten Gunungkidul. Prosiding Seminar Nasional Geografi III "Peran Keilmuan Geografi dalam Agenda Pembangunan Nasional 2019-2024, Yogyakarta, 02 November 2019. hal. 43-49.
- Haryono, E., Putro, S. T., Suratman & Sutikno. (2017). Polygonal Karst Morphology of Karangbolong

- Area, Java-Indonesia. *Acta Carsologica*, 46/1, 63–72.
- Kaufmann, G. (2002). *Karst Landscape Evolution*. Postojna Ljubljana: Institut za Raziskovanje Krasa.
- Kementerian ESDM. (2000). Keputusan Menteri ESDM Nomor: 1456K/20/MEM/2000 tentang Pedoman Pengelolaan Kawasan Karst. Jakarta: Kementerian ESDM.
- Muarifin. (2009). Tingkat Perkembangan Morfologi Karst Formasi Jonggrangan di Kecamatan Girimulyo dan Kaligesing (Skripsi). Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Pannekoek, A.J. (1949). *Outline of the Geomorphology Java*. Luden: E. J.
- Philips, J.D., Martin, L.L., Nordberg, V.G., Andrews, W.A., Jr. (2004). Divergent Evolution in Fluviokarst Landscapes of Central Kentucky. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29: 799-819.
- Samodra, H. (2003). Nilai Strategis Kawasan Karst di Indonesia dan Usaha Pengelolaannya Secara Berkelanjutan. *Suplemen Tulisan pada Pelatihan Dasar Geologi untuk Pecinta Alam dan Pendaki Gunung*, IAGI.
- Surono. (2009). Litostratigrafi Pegunungan Selatan Bagian Timur Daerah Istimewa Yogyakarta dan Jawa Tengah. *Jurnal Sumber Daya Geologi*, No. 13 (19): 209 - 221.
- Tjia, H.D. (2013). Morphostructural Development of Gunungsewu Karst, Jawa Island. *Indonesian Journal of Geology*, 75-88.
- Vink, A.P.A. 1975. *Land use in advancing agriculture*. New York: Springer-Verlag. x, 394 p.
- William, P.W. (1971). *Illustrating Morphometric Analysis of Karst with Examples from New Guinea*. *Zeitschrift fur Geomorphologie N.F* 15, 40-61.
- Zhang, R., Hu S., Zhang X., Yu W. (2007). Dissolution Kinetics of Dolomite in Water at Elevated Temperatures. *Aqua Geochem*, 13: 309-338.