UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang kaya akan keanekaragaman biotik maupun lingkungan abiotiknya. Keanekaragaman lingkungan telihat dari perbedaan material, proses dan waktu pembentukan suatu lingkungan. Karst merupakan salah satu kekayaan yang dimiliki oleh Bangsa Indonesia, dengan kondisi geomorfologi dan hidrologi yang khas. Ford dan Williams (1989) mendefinisikan karst sebagai medan dengan kondisi hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik. Karst sebenarnya tidak hanya terjadi pada batuan karbonat tetapi juga terjadi pada batuan-batuan lain yang mudah larut, seperti batuan gipsum dan batugaram. Namun demikian karena batuan karbonat mempunyai sebaran yang paling luas, karst yang banyak dijumpai adalah karst yang berkembang di batuan karbonat.

Menurut Surono dkk. (1999, dalam Samodra, 2003) Indonesia memiliki sebaran batuan karbonat dari Sumatera hingga Papua yang jika dijumlahkan luasnya mencapai 154.000 km^2. Batuan tersebut mempunyai umur dan lingkungan pengendapan yang sangat beragam. Batuan karbonat paling tua yang ditemukan di Indonesia berumur Devon (410 – 360 juta tahun yang lalu), yaitu di Pegunungan Tengah Papua yang tersingkap berupa dolomit. Jika tebal rata-rata lapisan batugamping diasumsikan 100 m, maka dengan berat jenis sebesar 2,5 Indonesia mempunyai cadangan batugamping sebanyak 39 trilyun ton. Kawasan karst yang luas tentunya mempunyai unsur strategis tertentu dalam berbagai bidang seperti sejarah, ekonomi dan kemanusiaan dari pemanfaatanya sebagai sumberdaya alam baik hayati maupun non-hayati. Salah satu jenis batuan karbonat yang paling sering dimanfaatkan pada bentuklahan karst adalah batugamping yang digunakan sebagai bahan bangunan dan bahan baku pembuatan semen. Batugamping merupakan batuan karbonat yang dijumpai sebagai penyusun satuan litostratigrafi ataupun sebagai individu litologi dari bentuklahan karst. Pemanfaatan dan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

pengelolaan bentuklahan karst hendaknya mengedepankan kelestarian keanekaragaman yang unik pada bentuklahan karst baik hayati maupun non-hayati.

Formasi Jonggrangan terbentuk pada Miosen Bawah, formasi ini tersusun atas konglomeratan yang ditindih oleh napal tuffaan dan batu pasir gampingan dengan sisipan lignit batugamping berlapis dan batugamping koral. Formasi ini berbatasan dan berselingan pada bagian bawah dengan Formasi Sentolo, ketebalan Formasi Jonggrangan kira-kira 250 meter (Raharjo dkk, 1977). Di Formasi Joggrangan diperkirakan telah berkembang proses karstifikasi, karena memiliki kondisi yang mendukung pembentukkan bentuklahan karst yaitu adanya lapisan batugamping, terdapatnya kekar atau retakan pada permukaan batuan, curah hujan yang cukup banyak kerena terletak pada daerah tropis dan adanya vegetasi penutup yang rapat. Akan tetapi untuk mengetahui tingkat perkembangan proses karstifikasi yang terjadi pada Formasi Jonggrangan yang ada di Kabupaten Kulonprogo maka perlu adanya penelitian berdasarkan tinjauan geomorfologis terutama aspek morfologinya.

I.2. Perumusan Masalah

Morfologi adalah aspek geomorfologi yang menjelaskan bentuklahan berdasarkan bentuk relief secara umum. Geomorfologi sendiri merupakan ilmu yang mendeskripsikan secara genetis bentuklahan dan proses-proses yang mengakibatkan terbentuknya bentuklahan tersebut serta mencari hubungan antara bentuklahan dengan proses-proses dalam susunan keruangan (Zuidam, 1982). Studi mengenai bentuklahan karst merupakan salah satu subjek dari geomorfologi, yaitu ilmu pengetahuan yang mempelajari bentanglahan permukaan bumi dan proses yang membentuknya (Sweeting,1972). Bentuklahan karst terbentuk oleh proses pelarutan yang menjadi karakteristik utama dalam membentuk topografi yang khas sehingga suatu bentuklahan dapat disebut sebagai bentuklahan karst. Proses pelarutan yang berlangsung di permukaan maupun di bawah permukaan dapat membentuk sistem drainase yang sifatnya vertikal dan sistem drainase bawah tanah atau lebih dikenal sebagai sungai bawah tanah.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Proses pelarutan yang membentuk bentuklahan karst sangat di pengaruhi oleh faktor litologi, iklim, topografi regional struktur geologi dan waktu. Perbedaan karakteristik masing-masing faktor di suatu daerah akan menyebabkan perkembangan morfologi karst yang berbeda dengan daerah lain. Perbedaan tersebut akan menyebabkan bentukan karst yang dihasilkan juga akan berbeda baik ukuran maupun bentuknya. Bentukan karst secara garis besar dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu kenampakan minor, mayor dan sisa pelarutan (Bloom, 1979 dalam Susmayadi, 2006).

Daerah penelitian yang terdiri dari beberapa jenis batuan, yaitu konglomerat, napal tufaan dan batupasir gampingan membuat daerah ini berbeda karakteristiknya dengan bentuklahan karst di daerah lain. Sehingga untuk mengetahui karakteristik dari bentuklahan karst dan mengetahui perkembangan yang ada di daerah penelitian ini peneliti melakukan penelitian dengan judul **"TINGKAT PERKEMBANGAN MORFOLOGI KARST FORMASI JONGGRANGAN DI KECAMATAN GIRIMULYO DAN KECAMATAN KALIGESING".** Penelitian ini difokuskan untuk menganalisis karskteristik dari bentuklahan karst ditinjau dari sudut pandang geomorfologi terutama aspek morfologinya.

Kondisi geomorfologi daerah penelitian ini menimbulkan pertanyaan-pertanyaan penelitian :

1. karakteristik geomorfologis apa saja yang mencirikan bahwa daerah penelitian dapat diidentifikasi sebagai kawasan karst?
2. bagaimana perkembangan morfologi karst yang berlangsung di daerah penelitian?

I.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang menimbulkan dua pertanyaan penelitian tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengkaji karakteristik geomorfologis daerah penelitian yang mencirikan keterdapatan topografi karst.
2. Menganalisis perkembangan morfologi karst di daerah penelitian.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

I.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. sebagai tambahan informasi deskriptif mengenai karakteristik geomorfologi dan perkembangan morfologi karst di Formasi Jonggrangan.
2. dapat digunakan sebagai tambahan data variabel dalam terapan ilmu geomorfologi, misalnya dalam studi ketersediaan air bawah permukaan, karena pada masing-masing perbedaan karakteristik karst mempunyai karakteristik hidrologi yang berbeda pula.
3. diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam pengelolaan kawasan karst oleh pihak-pihak terkait, sehingga kawasan karst yang mempunyai berbagai nilai strategis dapat terpelihara kelestariannya.

I.5. Kajian Pustaka

1.5.1. Geomorfologi

Geomorfologi adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari bentuklahan (*landform*) yang berada di permukaan bumi baik yang berada di bawah atau di atas permukaan laut dengan penekanan pada asal mula (genesa) dan perkembangan dimasa mendatang kaitannya dengan konteks lingkungan dan material penyusunnya (Verstappen, 1983). Survei geomorfologi merupakan analisis klasifikasi dan pemetaan bentuklahan yang mendasarkan pada morfologi, genesa, kronologi dan litologi (Zuidam, 1978). Verstapen (1983) mengatakan bahwa tujuan survei geomorfologi adalah menyajikan gambaran sistematik secara ringkas bentuklahan (*landform*) dan hubungan antar fenomena-fenomena yang terjadi. Ada empat aspek penting yang sering digunakan dalam survei geomorfologi, yaitu (Mangunsukarjo, 1986 dalam Sutikno, 1987):

a). bentuklahan (*landform*), dalam studi ini ada dua aspek penting yaitu morfometri dan morfologi yang keduanya menjelaskan relief dari permukaan bumi.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

b). proses geomorfologi adalah semua proses perubahan fisika maupun kimia yang menimbulkan efek modifikasi bentuk dari permukaan bumi.

c). genesis, merupakan perkembangan dalam jangka waktu lama yang menyebabkan suatu bentuklahan dapat terbentuk.

d). kelingkungan, merupakan hubungan antara bentuklahan dengan proses pada bentanglahan (*landscape*) yaitu meliputi tanah, air permukaan, airtanah, dan vegetasi yang berdasarkan pada keterkaitan antara bentanglahan dengan ekologi.

Dalam survei geomorfologi ada tiga pendekatan yang sering digunakan, yaitu survei analitik *(analytical survey)*, survei sintetik *(synthetic survey)*, dan survei pragmatik *(pragmatic survey)*. Pada survei analitik digali mendalam informasi geomorfologi yang meliputi litologi, morfografi, proses morfogenesis, morfokronologi dan lain sebagainya. Sedangkan pada dimensi lain survei sintetik penekanannya pada kontribusi konteks kelingkungan dan hubungan antara bentanglahan dengan ekologi, misal efek iklim, tanah, hidrologi dan lain sebagainya. Pada dimensi dua survei analitik dan survei sintetik menghasilkan pendekatan yang lain yaitu survei pragmatik. Pendekatan ini penekanannya lebih kepada orientasi problem *(problem oriented)* untuk proyek pengembangan, misalnya zonasi bencana, konservasi, zona banjir dan lain sebagainya. Pada penelitian ini digunakan pendekatan analitik karena akan mengkaji informasi geomorfologinya.

1.5.2. Pengertian Karst

Karst merupakan istilah dalam bahasa Jerman yang diturunkan dari bahasa Slovenia (*kras*) yang berarti lahan gersang berbatu. Istilah ini di negara asalnya sebenarnya tidak berkaitan dengan batugamping dan proses pelarutan, namun saat ini istilah karst telah diadopsi untuk istilah bentuklahan hasil proses pelarutan. Ford dan Williams (1989) mendefinisikan karst sebagai medan dengan kondisi hidrologi yang khas sebagai akibat dari batuan yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder yang berkembang baik.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Karst dicirikan oleh (White, 1988):

1. adanya cekungan tertutup dengan berbagai ukuran dan bentuk
2. drainase permukaan/sungai permukaan sangat langka
3. terdapatnya gua dan sistem drainase bawah tanah.

Karst tidak hanya terjadi di daerah berbatuan karbonat, tetapi terjadi juga di batuan lain yang mudah larut dan mempunyai porositas sekunder (kekar dan sesar intensif), seperti batuan gipsum dan batugaram. Seperti telah dijelaskan oleh Ford dan Williams (1989) bahwa suatu bentanglahan karst terjadi oleh adanya kombinasi dari batuan-batuan yang mudah larut dan memiliki porositas sekunder yang tinggi akibat rekahan. Namun demikian, karena batuan karbonat mempunyai sebaran yang paling luas, karst yang banyak dijumpai adalah karst yang berkembang di batuan karbonat.

Beberapa ahli telah membuat berbagai kriteria untuk klasifikasi tipe karst. Cvijic dalam Swetting (1972) mengklasifikasikan tipe karst berdasarkan kenampakan bentanglahan (*landscape*) menjadi tiga tipe, yaitu : a. *Holokarst*, merupakan suatu tipe karst yang mempunyai tingkat dan bentukan perkembangan yang lengkap. Pada tipe ini dijumpai rekahan-rekahan yang relatif masif dengan gampingan murni dan karstifikasi di bawah muka airtanah. Tipe ini mempunyai lapisan batugamping yang sangat tebal bahkan sampai bawah permukaan air laut dengan segala bentuk topografi yang berkembang dengan baik. b. *Merokarst*, merupakan tipe karst yang tidak sempurna. Lapisan batugamping biasanya sangat tipis dan bercampur dengan material lain selain batugamping. Proses karstifikasi belum sempurna dan sedikit terdapat kenampakan khas karst. Zona yang terletak di antara holokarst dan merokarst yang merupakan peralihan disebut sebagai karst peralihan (*Transition karst*). c. *Platformkarst*, merupakan morfologi yang ditandai adanya kelurusan atau kemiringan yang tegas secara meluas pada suatu kawasan. Karst ini biasanya terletak sampai jauh di bawah muka airlaut dan banyak dijumpai struktur-struktur patahan. *Platformkarst* dapat juga dianggap sebagai perkembangan lanjut dari *merokarst*.

Klasifikasi karst menurut Gvozdeckij (1965 dalam Haryono 2004) berdasarkan pengamatannya di Uni Soviet (sekarang Rusia). Bentuklahan karst

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

dibedakan berdasarkan penutup medan, karakteristik bentanglahan dan iklim, yaitu: a. *Bare karst*, mempunyai karakteristik yang hampir sama dengan holokrast (pada klsifikasi Cvijij). b. *Covered karst*, merupakan karst yang terbentuk bila batuan karbonat tertutup oleh lapisan aluvium, material fluvio-glacial, atau batuan lain seperti batupasir. c. *Soddy karst* atau *Soil covered karst*, merupakan karst yang berkembang di batugamping yang tertutup oleh tanah atau terra rosa yang berasal dari sisa pelarutan batugamping. d. *Buried karst*, merupakan karst yang tertutup oleh batuan lain, sehingga bukit-bukit karst hanya dapat dikenali dari data bor. e. *Tropical karst of cone karst*, merupakan karst yang terbentuk di daerah tropis. f. *Permeafrost karst*, merupakan karst yang terbentuk di daerah bersalju.

Menurut Sweetting (1972 dalam Haryono 2004) karst diklasifikasikan menjadi *true karst, fluviokarst, glaciokarst, tropical karst, arid an semiarid karst*. Klasifikasi ini terutama didasarkan pada iklim. a. *True karst*, merupakan karst dengan perkembangan sempurna (*holokarst*). b. *Fluviokarst*, merupakan karst yang terbentuk akibat adanya koimbinasi antara proses fluvial dan proses pelarutan. *Fluviokarst* pada umumnya terjadi di daerah berbatuan gamping yang dilalui oleh sungai alogenik (sungai yang berhilir di daerah non-karst). c. *Glasiokarst*, merupakan karst yang terbentuk karena karstifikasi didominasi oleh glasiasi dan proses glasial di daerah yang berbatuan gamping. *Nival karst* merupakan karst yang terbentuk karena proses karstifikasi oleh hujan salju pada lingkungan glasial dan periglasial. d. *Tropical karst*, berbeda dengan karst di iklim sedang dan kutub terutama disebabkan oleh presipitasi dan evaporasi yang besar. Presipitasi yang besar menghasilkan aliran permukaan sesaat yang lebih besar, sedangkan evaporasi menghasilkan rekristalisasi larutan karbonat membentuk lapisan keras di permukaan. Tipe ini dicirikan oleh doline berbentuk bintang yang tak beraturan (*cockpit*) dan bukut-bukit tidak teratur disebut bukit kerucut. Secara lebih rinci karst tropis dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu *kegelkrast (sinoid karst, cone karst, karst a piton)* dan *turmkarst (karst tower, pinacle karst, atau karst a tourelles)*. *Kegelkarst* dicirikan oleh kumpulam bukit-bukit berbentuk kerucut yang sambung menyambung. Sela antar bukit kerucut membentuk cekungan dengan bentuk seperti bintang yang dikenal dengan *cockpit*. *Turmkarst*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

merupakan tipe karst yang dicirikan oleh bukit-bukit dengan lereng terjal, biasanya ditemukan dalam kelompok yang dipisahkan satu sama lain oleh sungai atau dataran aluvial.

Di Indonesia jenis karst dibedakan menjadi beberapa tipe berdasarkan karakteristiknya. Menurut Surono dkk. (1999 dalam Samodra 2001) berdasarkan karakteristiknya, kawasan karst di Indonesia dapat dibedakan menjadi beberapa tipe antara lain: a. Tipe karst Gunung Sewu, jenis ini mempunyai bentangalam yang sangat khas, berupa puluhan ribu bukit batugamping berketinggian antara 20-50 m yang dikuasai oleh bangun kerucut. Puncak kerucut bisa membulat (*sinusoida*) atau lancip (*karst connical*) tergantung keadaan stratigrafinya. Lekuk-lekuk di antara perbukitan batugamping membentuk doline, baik terbuka maupun tertutup. Sungai yang mengalir di permukaan kawasan karst sangat jarang. b. Tipe karst Tuban, bentangalam karst yang berkembang di sebagian daerah (terutama Tuban Selatan) membentuk morfologi plato atau sisa hampir rata. c. Tipe karst Maros, tipe ini terdiri dari bukit-bukit berlereng terjal yang sebagian genesanya dipengaruhi oleh struktur geologi, sebelum diperlebar dan diperluas oleh pelarutan atau karstifiksi yang membentuk bangun menara yang sangat khas (*karst tower*). d. Tipe karst Wawolesae, jenis ini dicirikan oleh keunikan sistem hidrologinya yang dikuasai oleh air panas dan asin. e. Tipe karst Irian Jaya, karst yang berada di ketinggian rata-rata lebih dari 4000 m di atas permukaan laut ini dicirikan dengan ukurannya yang serba besar. Doline, luweng, mulut dan lorong gua serta unsur-unsur karst lainnya mempunyai dimensi melebihi ukuran yang umum dijumpai di kawasan karst Indonesia lainnya.

1.5.3.Batuan Karbonat

Menurut Surono (1999, dalam Samodra, 2001) batuan karbonat adalah batuan sedimen yang mengandung mineral karbonat lebih dari 50 %. Mineral karbonat adalah mineral yang mempunyai komposisi kimia CO_3 dan satu atau lebih kation Ca, Mg, Fe atau Mn. Pada umumnya batuan karbonat terdiri atas batugamping ($CaCO_3$) dan dolomit {$CaMg(CO_3)_2$}. Walaupun hampir semua batuan mengandung garam karbonat akan tetapi batugamping dan dolomit

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

mempunyai kandungan karbonat yang lebih besar dibanding batuan lainnya. Di alam batuan karbonat terbentuk secara kimiawi (berupa pelarutan), sehingga tidak ada batuan karbonat yang dibangun oleh butiran (*detritus*) asal daratan. Pembentukannya juga dipengaruhi oleh organisme asal laut, sehingga umumnya batuan karbonat umumnya banyak mengandung fosil (Samodra, 2001). Secara umum batuan karbonat dibedakan menjadi batugamping dan dolomit.

a. Batugamping (limestone)

Limestone atau batugamping merupakan batuan karbonat yang memiliki hampir 99% $CaCO_3$ (Ahmad, 2000). Keberadaan batugamping biasanya juga disisipi oleh magnesium karbonat (dolomit) atau unsur-unsur lain seperti lempung, karbonat besi, feldspar, pirit, dan kuarsa, akan tetapi keberadaan unsur-unsur tersebut dalam batugamping sangat kecil. Berdasarkan asal mula pembentukannya batugamping debedakan menjadi dua jenis, yaitu batugamping terumbu dan batugamping klastik. Batugamping terumbu merupakan batuan yang disusun oleh koloni binatang dan tumbuhan yang hidup di laut. Batuan ini mempunyai struktur pejal (tidak berlapis), atau mempunyai kenampakkan aspek perlapisan yang buruk, yang hanya dapat dilihat dari jauh (Samodra, 2006). Pertumbuhan koloni organisme yang membentuk batuan masih tampak utuh seperti keadaan aslinya. Koloni organisme pembentuk terumbu menghasilkan bangun yang berbeda-beda, sehingga dikenal istilah terumbu meja, terumbu penghalang, *fringing reef* dan atol. Batugamping klastik mempunyai kenampakan yang khas, yaitu berlapis-lapis. Tebal lapisannya bervariasi antara beberapa sentimeter hingga mencapai puluhan meter, sehingga pada batugamping yang berlapis tebal sekilas tampak seperti memiliki struktur pejal atau tidak berlapis. Pembentukan batugamping klastik berkaitan dengan detritus asal daratan, butiran detritus asal daratan yang berukuran kasar sampai halus bercampur dengan larutan karbonat. Kecilnya laju pengendapan unsur karbonat mengakibatkan terjadinya proses pengenceran yang luar biasa, sehingga di cekungan pengendapan terbentuk napal atau batupasir gampingan. Napal biasanya terbentuk di bagian laut yang tenang, yang tidak dipengaruhi oleh ombak. Litologi ini dibentuk oleh

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

percampuran antara larutan karbonat (65 %) dan lempung (35 %) jika komposisinya terbalik, yang terbentuk adalah lempungan gampingan (Samodra, 2006). Di dalam suatu kompleks terumbu, mungkin saja batugamping terumbu (non-klastik) tersingkap bersama-sama dengan batugamping klastik.

b. Dolomit

Dolomit merupakan batuan karbonat yang kandungan magnesiumnya melebihi batugamping biasa. Selain oleh pengendapan langsung, batuan ini juga dapat dibentuk oleh proses penguapan, pengendapan di dalam pori batugamping klastik, atau proses penggantian (*replacement*). Dengan demikian dolomit dapat terbentuk secara primer dihasilkan oleh penguapan langsung dari air laut atau sekunder melalui proses penggantian kalsit, yang dikenal dengan proses *dolomitsasi*. Pembentukan dolomit primer membutuhkan unsur Mg dan Ca yang jumlahnya 5 berbanding 1, sehingga untuk memenuhi syarat tersebut dibutuhkan proses penguapan yang luar biasa (Koesoemadinata, 1981 dalam Samodra, 2006). Dolomit seperti halnya batugamping, tersebar dibanyak tempat meskipun jumlahnya lebih kecil dibanding batugamping. Dolomit juga sering dijumpai sebagai sisipan di dalam batugamping berbutir halus (*kalsilutit*). Dolomit tertua di Indonesia tersingkap di lereng selatan pegunungan bagian tengah Irian Jaya.

1.5.4.Pelarutan Batugamping

Pada bentuklahan karst proses utama yang terjadi berupa pelarutan. Dijelaskan oleh Bloom (1979 dalam Ahmad, 2000) setidaknya ada dua hal pokok dalam proses pelarutan tersebut yaitu, unsur pelarut dan batuan terlarut. Unsur pelarut berasal dari air terutama air hujan, sedangkan batuan terlarut berupa batu-batuan yang mudah terlarut misalnya batugamping. Dalam proses pelarutan tersebut Ritter (1979 dalam ahmad, 2000) menjelaskan bahwa air murni dapat melarutkan batugamping 12-15 ppm tergantung suhu air. Di alam air sebagai pelarut jarang dijumpai sebagai air murni, karena pada umunya air di alam terdapat konsentrasi Ca^{2+} dan HCO_3 (bikarbonat) lebih tinggi sehingga air di alam akan lebih tinggi tingkat pelarutannya dibanding air murni. Menurut Ritter unsur-

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

unsur kimia penting yang mempengaruhi proses pelarutan adalah kadar karbondioksida (CO_2) dalam air hujan karbondioksida yang terlarut dalam air akan membentuk asam karporit (H_2CO_3) seperti reaksi

$$CO_2 + H_2O \longleftrightarrow H_2CO_3 \quad (1)$$

Selanjutnya asam tersebut akan terurai dalam bentuk ion-ion seperti dalam reaksi

$$CO_2 + H_2O \longleftrightarrow H^+ + HCO_3 \quad (2)$$

Dari reaksi-reaksi tersebut dapat dijelaskan, bahwa semakin tinggi kadar CO_2 dalam air, maka proses pelarutan akan semakin intensif, sedangkan pada batugamping $CaCO_3$ akan terdisosiasi dalam bentuk ion-ion seperti pada reaksi

$$CaCO_3 \longleftrightarrow Ca^{2+} + CO_3^{2-} \quad (3)$$

Ion-ion CO_3 yang dihasilkan akan dapat mempercepat reaksi dengan ion H^+ yang diperoleh dari CO_2 yang terlarut dalam air (reaksi 2). Sedangkan disosiasi dari batugamping ($CaCO_3$) juga dihasilkan ion karbonat.

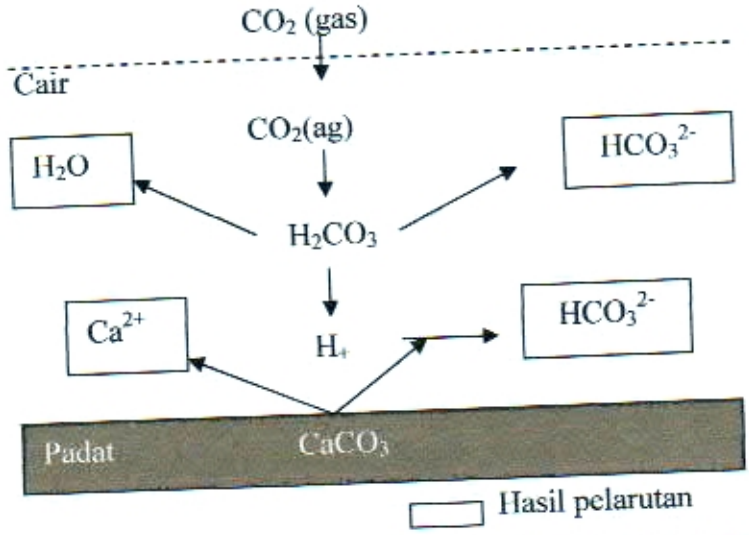
$$CO_3^{2-} + H^+ \longleftrightarrow HCO_3^- \quad (4)$$

Dari reaksi-reaksi tersebut di atas ternyata proses-proses yang berjalan hanya berkisar antara $CaCO_3$, CO_2 dan H_2O. meskipun demikian pada kenyataannya yang terjadi tidak sesederhana itu, pada masing-masing reaksi tersebut tidak dapat berjalan sendiri-sendiri, karena setiap reaksi yang berjalan semuanya merupakan reaksi kesetimbangan. Sehingga arah jalan reaksi dapat berbalik (*reversibel*). Dengan demikian jika terjadi perubahan pada suatu kondisi dapat mempengaruhi reaksi-reaksi selanjutnya. Jika pada reaksi (2) dan reaksi (3) dikombinasikan menghasilkan reaksi sebagai berikut :

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 \longleftrightarrow Ca_2+ + HCO_3^- \quad (5)$$

Ion karbonat (HCO_3) berasal dari disortasi $CaCO_3$ dan H^+ yang berasal disosiasi CO_2 dalam air. Hal ini menyebabkan lebih banyak CO_2 terdifusi dari udara ke dalam air dan selanjutnya kelarutan dari batugamping sesuai dengan reaksi dari reaksi (5). Efek difusi dari kontak udara dengan air ini lebih dipercepat lagi bila pergerakan air turbulen. Secara sederhana reaksi-reaksi tersebut dapat dijelaskan dengan model yang dibuat oleh Trudgil (1985) pada gambar 1.1

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 1.1. skema proses pelarutan batugamping (Trudgil, 1985 dalam Haryono dan Adji, 2004)

1.5.5. Kenampakan Bentuklahan Karst Berukuran Kecil (Minor Karst Features)

Kenampakan bentuklahan karst berukuran kecil merupakan hasil pelarutan yang ukurannya mulai dari ukuran millimeter hingga sekitar 10 meter. Kenampakan berukuran kecil yang tampak secara kolektif biasa disebut *karren* atau *lapies*. *Karren* berkembang baik di bawah tutupan tanah, yaitu lebih dalam dan lebih bundar dibanding terbentuk sebagai batuan terbuka yang cenderung dangkal dengan bentukan seperti igir. *Karren* dapat dikelompokkan menjadi empat kelompok, yaitu bentuk membulat, bentuk memanjang yang terkontrol oleh kekar, bentuk linier yang terkontrol oleh proses hidraulik dan bentuk poligonal (Haryono, 2004).

Bentuk membulat terdiri dari *micropit, pits, pans, heelprints* atau *trittkareen, shafts* atau *well*. *Micropit* mempunyai ukuran kurang dari 1 cm. *Pits* bentuknya bulat atau lonjong dengan bentuk tidak teratur, mempunyai diameter lebih besar dari 1 cm. *Pans* mempunyai bentuk membulat atau lonjong dengan bentuk tidak teratur, dasar horisontal berupa batuan dasar atau endapan isian. *Heelprints* atau *trittkarren* menpunyai dinding terjal di bagian ujung, dasarnya datar, terbuka di

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

bagian bawah, diameter 10 hingga 30 cm. *Shafts* atau *well* pada bagian dasarnya saling berhubungan membentuk protocave yang mengatus air ke mintakat epikarst.

Bentuk linier yang terkontrol oleh kekar terdiri dari *microfissures, splitkarren, grikes* atau *klufkarren*. *Microfissures* dasarnya kacip, panjang beberapa cm dengan kedalaman kurang dari 1 cm. *Splitkarren* adalah kenampakan pelarutan yang terkontrol oleh kekar, *stylolite* atau *vien*. Dasar lancip, panjang bervariasi dari sentimeter hingga beberapa meter, kedalaman beberapa sentimeter, kedua ujungnya dapat terbuka atau tertutup. *Grikes* atau *kluftkarren* adalah hasil solusional yang terkontrol oleh kekar mayor atau sesar. Panjang 1 hingga 10 meter, apabila di bawah tanah disebut cutter. Kumpulan *kluftkarren* dipisahkan satu dengan yang lainnya dengan clint.

Bentuk linier yang terkontrol oleh hidrodinamika hanya terdiri dari *microrills*. *Microrills* mempunyai lebar kurang dari 1 mm. Aliran air terkontrol oleh tenaga kapiler, gravitasi atau angin. Sedangkan saluran pelarutan secara gravitatif terdiri dari *rillenkarren, solutional runnels, decantation runnels, dencantation flutings* dan *fluted scollaps* atau *solution ripples*. *Rillenkarren* merupakan kumpulan saluran mulai dari igir, lebarnya satu hingga tiga cm, dipicu oleh air hujan, bagian bawah menghilang. Solutional runnels merupakan saluran mengikuti hukum horton, berkembang mulai dari sebelah bawah erosi lembar. Pada singkapan batuan dicirikan oleh tepi yang curam (*rinnenkarren*), bulat jika tertutup tanah (*runkarren*). Saluran meluas ke arah bawah, lebar 3 – 30 cm, panjang 1 – 10 m, pola lairan linier, dendritik atau sentripetal. *Decantation runnels* adalah pelarutan yang terjadi pada bagian atas pada satu titik, ke arah bawah saluran menyempit. Ukuran bervariasi hingga mencapai panjang lebih dari 100 m, seperti *wallkarren* (*wandkareen*) dan *maanderkarren*. *Decantation flutings* pelarut berasal dari sumber diffuse pada lereng atas. Saluran padat, ke arah bawah kadang-kadang semakin berkurang. *Fluted scollaps* atau *solitional ripples* adalah flute seperti ripple dengan arah sesuai arah aliran. Banyak variasi dari scallop. Banyak ditemukan sebagai komponen dari cockling pattern di singkapan batuan berlereng curam.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Bentuk poligonal terdiri dari karrenfiled, *limestone pavement, pinnacle karst, ruiniform karst, corridor karst* dan *coastal karren*. *Karrenfield* adalah istilah umum untuk hamparan karren tersingkap. *Limestone pavement* merupakan tipe dari *karrenfield* yang didominasi oleh clints yang teratur (*flachkarren*) atau *grikes* (*kluftkarren*). *Pinnacle karst* merupakan topografi yang runcing-runcing, kadang terbuka karena erosi tanah. *Arete, pinnacle* dan *stone forest* kadang mempunyai pinnacle dengan tinggi 45 m dan spasi 50 m. *Ruiniform karst* merupakan grik yang lebar dengan clint yang sudah terdegradasi, bentuk peralihan ke tors. *Corridor karst* (*labyrinth karst, giant grike land*) merupakan skala besar dari grike dan clints dengan lebar beberapa meter dan panjang hingga 1 km. *Coastal karren* adalah karren di daerah pantai atau lakustrin, termasuk interdal dan subtidal *notch, pits, pans, micropits*.

1.5.6. Kenampakan Bentuklahan Berukuran Besar (Mayor Karst Features)

Proses pelarutan yang berjalan terus seiring bertambahnya waktu akan mengubah dan memperbesar lubang-lubang pelarutan serta memperdalam lembah. Bentuklahan mayor yang mudah dikenali di lapangan adalah doline, uvala, polje, karst window, lembah karst dan sisa pelarutan berupa bukit sisa karst (*conical hill*). Kenampakan-kenampakan tersebut merupakan kelanjutan dari perkembangan kenampakan yang tadinya kecil berupa alur-alur yang semakin mendalam dan lubang-lubang yang semakin besar. Bentuk dan ukuran dari bentuklahan karst mayor sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor pembentuknya, yaitu litologi, iklim, struktur geologi, relief dan waktu.

Doline merupakan cekungan tertutup dengan berbagai bentuk baik bulat maupun lonjong dengan berbagai ukuran mulai dari beberapa meter hingga sekitar satu kilometer (Ford dan Williams, 1992). Doline juga dikenal dengan beberapa istilah lain antara lain *sinkhole, sink, swallow holes, cenote* dan *blue hole*. Doline merupakan bentuklahan yang paling banyak dijumpai di kawasan karst (Haryono, 2004). Bahkan di daerah beriklim sedang, karstifikasi selalu diawali dengan terbentuknya doline tunggal akibat dari proses pelarutan yang terkonsentrasi. Tempat konsentrasi merupakan tempat konsentrasi kekar, tempat konsentrasi

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

mineral yang paling mudah larut, pemotongan kekar dan bidang perlapisan batuan miring.

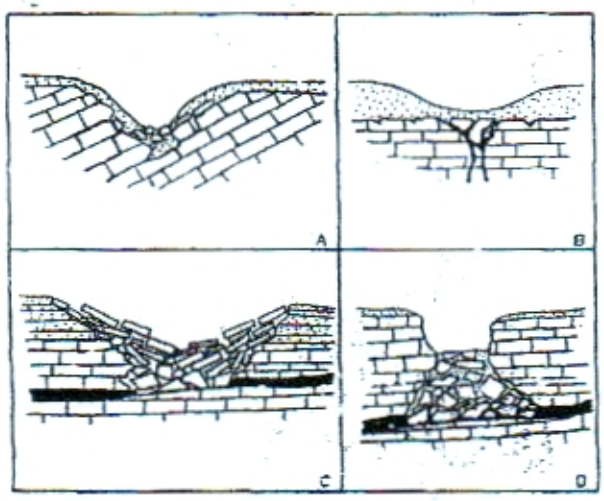
Bentuk dan ukuran doline sangat bervariasi dari satu tempat ke tempat lain. Bentuk doline di daerah iklim sedang cenderung lebih teratur dengan bentuk membulat hingga lonjong. Di daerah iklim tropis, bentuk doline tidak sesempurna doline di daerah iklim sedang, doline di daerah iklim tropis bentuknya tidak teratur (Haryono, 2004). Di daerah tropis sering ditemukan doline dengan bentuk menyerupai bintang, yang biasa disebut dengan istilah *cockpit*. Berdasarkan bentuknya oleh Cvijij (1893 dalam Haryono 2004) doline dibedakan menjadi tiga kategori, yaitu doline mangkok, doline corong dan doline sumur. Doline mangkok dicirikan oleh perbandingan lebar dan kedalaman 10:1 dan kemiringan lereng doline berkisar antara 10°-12°. dasar rata dan tertutup oleh tanah atau berawa. Doline corong mempunyai diameter dua sampai tiga kali kedalamannya dan lereng doline antara 30-40, dengan dasar sempit dapat tertutup tanah atau berupa singkapan batuan. Doline Sumuran dicirikan oleh diameternya yang lebih kecil dari kedalamannya, lereng vertikal berupa singkapan batuan.

Berdasarkan proses terbentuknya (genetik) Bogli (1980 dalam Haryono 2004) mengklasifikasikan doline menjadi empat tipe, yaitu doline pelarutan, doline aluvial, doline amblesan, dan doline runtuhan. Doline runtuhan terbentuk karena pelarutan yang terkonsentrasi akibat dari keberadaan kekar, pelebaran pori-pori batuan, atau perbedaan mineralogi batuan karbonat. Doline pelarutan terbentuk hampir disebagian besar awal proses karstifikasi. Doline aluvial pada dasarnya merupakan doline pelarutan, namun dalam kasus ini batugamping tertutup oleh endapan aluvial. Cekungan tertutup yang terbentuk di endapan aluvial disebabkan oleh terbawanya endapan aluvium yang berada di atas rekahan hasil pelarutan ke sistem drainase bawah tanah. Infiltrasi melalui endapan aluvium membawa material halus ke sistem kekar di bawahnya yang berhubungan dengan gua-gua dalam tanah, sehingga endapan atasnya menjadi cekung. Doline amblesan terjadi apabila lapisan batugamping ambles secara perlahan-lahan karena di bawah lapisan batugamping terdapat rongga. Doline tipe ini dicirikan oleh terdapatnya rombakan batugamping dengan sortasi jelek di dasar doline dan lereng yang

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

miring hingga terjal. Doline runtuhan terbentuk apabila gua atau saluran dekat permukaan runtuh karena tidak mampu menahan atapnya. Doline runtuhan terjadi bila runtuhan terjadi seketika, sedangkan doline amblesan terjadi secara perlahan-lahan. Doline runtuhan dicirikan oleh lereng curam hingga vertikal. Secara lebih rinci bermacam-macam doline berdasarkan genetiknya dijelaskan pada Gambar 1.2.

Perkembangan dari doline dapat membentuk doline majemuk (*coumpound doline*) atau yang sering disebut dengan istilah uvala. Uvala merupakan hasil penggabungan dari doline-doline yang terbentuk di karst pada stadium perkembangan karst agak lanjut. Menurut Sweeting ukuran uvala berkisar antara 500-1000 meter dengan kedalaman 100-200 meter dengan ukuran tidak teratur. Bentukanlahan lebih besar yang terbentuk adalah polje. Menurut Gans (1978 dalam Haryono 2004) menyimpulkan bahwa polje mempunyai karakteristik berupa dasar yang rata dapat berupa batuan dasar (dapat berteras) maupun tertutup sedimen lepas atau aluvium, cekungan tertutup dibatasi oleh perbukitan dengan lereng terjal pada dua sisi atau salah satu sisinya, mempunyai drainase karstik, dan dasar yang rata harus mempunyai lebar minimum 400 meter.



Gambar 1.2. Jenis bentukan doline berdasarkan genetiknya (Ford dan Williams,1989)

A. Doline pelarutan
B. Doline aluvial
C. Doline amblesan
D. Doline Runtuhan

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Pelarutan yang membentuk lembah dan cekungan tertutup (doline) dapat menyisakan bentukan sisa pelarutan berupa bukit sisa karst (*conical hill*). Bentukan bukit-bukit pada igir merupakan sisa atau residu dari kenampakan permukaan yang asli, disebut *kegel* atau kerucut, jika bukit-bukit tersebut sangat miring dan meruncing, disebut *pinnacle*. Gabungan dari bentuklahan ini dikenal sebagai *cockpit* karst atau kegel karst. Beberapa daerah batugamping di wilayah tropis basah dan subtropis didominasi oleh bukit-bukit terpisah dengan sisi-sisi sangat miring, dipisahkan oleh dataran aluvial membentuk bentang alam yang sangat spektakuler, yaitu *tower karst* atau *turm karst*.

1.5.7. Bentukan Karst Bawah Permukaan

Perkembangan bentukan endokarst, terutama gua dipengaruhi oleh tiga proses utama yang berlangsung sepanjang ruang dan waktu geologi. Proses yang dimaksud meliputi (Ko, 1997 dalam Samodra, 2001): a. Pengikisan kimiawi, mekanis, atau keduanya. b. Pengendapan yang membentuk sedimen gua dan penghabluran-ulang larutan $CaCO_3$ jenuh yang membentuk speleotem (ornamen-ornamen dalam gua). c. Peruntuhan. Beragam bentuk dan ukuran speleotem di dalam gua yang berfungsi sebagai hiasan terbentuk karena penghablur-ulang larutan $CaCO_3$ jenuh. Tetesan air vadose pada atap gua membentuk *stalaktit*, sedang yang berada di dasar gua menghablur membentuk *stalakmit*. Stalaktit dan stalakmit yang tumbuh bersama dalam waktu yang lama akan menyatu membentuk pilar, kolom, atau tiang.

Pembentukan speleotem yang bentuknya ganjil, misalnya tumbuh memencar, ke samping, bahkan berbelok dari bawah ke atas, disebabkan karena kecepatan tumbuh kristal melebihi jumlah air yang mengalir atau menetes (Samodra, 2001). Ragam bentuk speleotem yang dihasilkan dipengaruhi oleh jenis mineral dan laju pertumbuhannya. Speleotem berbangun ganjil dan jarang dijumpai, yang seluruhnya disusun oleh mineral karbonat, di antaranya adalah *heliktit, antrodit dan botryoidal*. Heliktit seperti halnya stalaktit mempunyai saluran tengah yang berfungsi sebagai jalan keluarnya air. Pada awalnya air keluar melalui saluran yang ada, tetapi selanjutnya bisa berasal dari mana saja di sekitar

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

atap gua. Proses tersebut menyebabkan heliktit tumbuh ke segala arah, termasuk ke samping dan ke atas. Heliktit mempunyai garis tengah lebih kecil dari stalaktit. Pembesaran speleotem ini disebabkan oleh pertumbuhan kalsit yang melingkupi hablur sebelumnya (Ford dan Williams, 1989). Antrodit adalah hablur aragonit di atap gua yang berbentuk memencar. Beberapa antrodit di susun oleh kalsit, tetapi mineral ini terbatas melingkupi bagian luar speleotem saja, sementara intinya masih berupa aragonit. Speleotem yang berada pada lapisan batuan yang menonjol dan bentuknya menyerupai koral dinamakan botryoidal. Speleotem ini dibentuk oleh larutan $CaCO_3$ jenuh yang mengalir secara cepat.

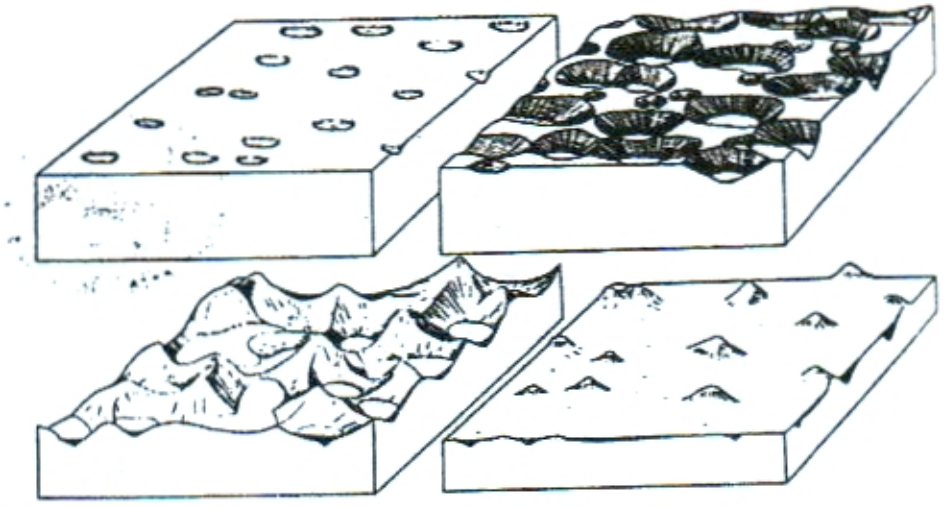
Di lantai gua juga sering dijumpai *gurdam*, yang menyerupai undak pematang sawah. Bentuk lain seperti *kanopi*, *flowstone* dan *drapery* dikendalikan oleh aliran air vadose, bukan tetesan. Aliran air melalui retakan atau bidang antar lapisan batuan di dinding gua membentuk *flowstone*. *Drapery* akan lebih banyak berkembang pada atap gua, meskipun dapat pula terbentuk di pinggiran *flowstone*. Di dasar *flowstone* sering dijumpai gurdam-gurdam kecil yang membentuk kenampakan seperti sisik ikan (*micro-gurdam*). *Kanopi* dibentuk oleh air vadose yang mengalir di atas bongkahan batu.

1.5.8. Perkembangan Morfologi Karst

Perkembangan karst dimulai dengan proses pelarutan yang membentuk karren dan pelebaran pori-pori batuan yang selanjutnya akan membentuk bentukan yang lebih besar. Kegiatan tektonik yang menyebabkan pengangkatan daerah yang semula cekungan pengendapan batugamping yang merupakan perairan laut dangkal tersebut terletak di atas permukaan laut, membentuk daratan di pinggiran pantai. Setelah berada di daratan batugamping mengalami berbagai proses pelapukan, pengikisan, dan denudasi yang dikenal dengan proses karstifikasi. Supaya dapat membentuk morfologi karst, faktor-faktor yang harus terpenuhi oleh suatu lapisan batugamping di antaranya (Ko, 1977 dalam Samodra 2001): a. Lapisan batugamping cukup tebal. b. Curah hujan di daerah tersebut cukup tinggi. c. Banyak kekar atau batuannya banyak celah dan rongga. d. Letaknya lebih tinggi dibanding daerah sekitarnya dan mempunyai sungai

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

permukaan yang berfungsi sebagai muka-dasar air setempat. e. Ditutupi oleh vegetasi yang rapat.



Gambar 1.3. Siklus perkembangan karst (Grund dalam Sweeting, 1972).
Kiri atas : Tahapan muda Kiri bawah : Tahapan Dewasa akhir
Kanan atas : Tahapan dewasa Kanan bawah : Tahapan tua

Perkembangan karst di daerah tropis diawali oleh pembentukan doline yang selanjutnya membentuk *cockpit*, menurut Grund bentukan-bentukan di iklim tropis dan iklim sedang dimasukkan dalam satu rangkaian evolusi (Grund dalam Sweeting, 1972). Menurut Grund tahapan perkembangan meliputi empat tahap, yaitu muda, dewasa, dewasa akhir dan tua. Tahapan muda diawali dengan pembentukan drainase pada permukaan batugamping dengan bentukan karst yang terlihat berupa lapies dan doline yang menyebar, belum terbentuk gua dan aliran bawah tanah yang kompleks. Selama tahapan dewasa terbentuk sistem aliran bawah tanah secara maksimum, sedangkan aliran permukaan keberadaannya terbatas pada anak-anak sungai kecil yang berakhir di *swallow holes* atau *blind valleys*. Adanya sistem perguaan menjadi ciri dari tahapan dewasa ini dan merupakan saat perkembangan maksimum karst. Tahapan dewasa akhir menggambarkan terjadinya kemunduran dari tahap perkembangan karst, dalam artian bentukan-bentukan karst mulai mengalami reduksi, sebagai contoh aliran

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

bawah tanah menjadi terbuka karena atap gua terkikis oleh oleh proses pelarutan, yang selanjutnya akan membentuk uvala dan polje. Tahapan tua ditunjukkan dengan munculnya kembali aliran permukaan. Kenampakan yang ada pada tahapan ini berupa bukit-bukit residu terisolasi seperti menara, *mogote*, dan kerucut karst. Siklus Perkembangan karst tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.3.

1.5.9. Faktor-Faktor Perkembangan Karst

A. litologi

Faktor litologi yang berpengaruh terhadap perkembangan karst adalah jenis batuan yang menunjukkan mudah tidaknya batuan tersebut terlarut. Proses pelarutan dapat terjadi pada berbagai batuan, akan tetapi batuan karbonat yang terdiri dari batugamping dan dolomit mempunyai tingkat pelarutan yang tinggi serta mempunyai persebaran yang luas, sehingga proses karstifikasi pada batuan karbonat lebih cepat dan lebih berkembang. Perkembangan karst pada batugamping akan lebih tinggi bila dibandingkan dengan dolomit. Hal ini disebabkan oleh kandungan $CaCO_3$ yang tinggi pada batugamping sehingga lebih mudah larut, juga disebabkan oleh tingginya porositas sekunder pada batugamping. Kelarutan $CaCO_3$ yang terkandung dalam dolomit $\{CaMg(CO_3)_2\}$ sebenarnya tinggi akan tetapi unsur Mg yang terikat bersama-sama Ca dapat menyebabkan berkurangnya tingkat pelarutan pada batuan dolomit. Kondisi yang paling ideal bagi perkembangan karst apabila penyusun batugamping, *allochem grains, mikrit,* dan *sparit* dalam jumlah kecil sehingga porositasnya mencapai 25 % (Sweeting, 1972). Morfologi karst dapat terbentuk pada batuan karbonat dengan kemurnian 80 %, tetapi biasanya semakin murni batugamping, makin baik perkembangan morfologi karstnya (Jennings,1971 dalam Ahmad, 2000).

B. Struktur Geologi

Struktur geologi yang umum terdapat dalam pembentukan topografi karst adalah kekar, sesar, dan lipatan (Darpilo dalam Ahmad,2000). Adanya struktur-struktur tersebut akan menyebabkan terbentuknya porositas sekunder yang mempercepat proses pelarutan. Intensitas kekar berpengaruh terhadap proses

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

kartifikasi, karena kekar dapat memperbesar porositas sekunder dan bidang kekar merupakan bagian terlemah pada batuan sehingga memungkinkan terjadinya pelarutan yang lebih intensif. Sesar dan kekar merupakan kenampakan yang paling banyak dijumpai pada bentuklahan karst dan merupakan celah-celah sebagai proses awal pelarutan. Dijelaskan oleh Darpilo (1992 dalam Ahmad, 2000), sesar mempunyai pengaruh yang besar terhadap pembentukan topografi karst, karena zona-zona sesar merupakan zona terlemah yang memudahkan terjadinya erosi dan pelarutan. Selain itu sesar dalam perkembangannya selalu diikuti oleh terbentuknya struktur-struktur lain yang menyertainya, misalkan kekar.

C. Relief

Relief berpengaruh terhadap kecepatan aliran, semakin terjal suatu lereng maka alirannya akan semakin cepat dan sebaliknya semakin datar lereng alirannya akan semakin lambat. Kecepatan aliran yang tinggi pada lereng curam akan mengakibatkan kesempatan air untuk masuk dalam pori-pori batuan akan semakin kecil sehingga pelarutan yang terjadi lebih lambat. Sebaliknya pada lereng yang datar kesempatan air masuk dalam pori-pori batuan akan semakin besar sehingga proses pelarutan yang terjadi akan semakin cepat. Selain kemiringan lereng ketinggian tempat juga berpengaruh dalam perkembangan karst. Seperti dijelaskan oleh Summerfield (1991, dalam Ahmad 2000) salah satu syarat terbentuknya bentuklahan karst adalah elevasi batuan yang lebih tinggi dari muka air laut. Dijelaskan Choquette dan Pray (1970 dalam Ahmad, 2000) setelah batuan sedimen karbonat terangkat ke permukaan maka akan terjadi porositas sekunder atau disebut porositas telogenik. Pembentukan porositas ini berasosiasi dengan bidang ketidakselarasan atau bidang erosi, sedangkan batas terbentuknya porositas telogenik sampai pada beberapa meter dari muka air tanah. Dengan kondisi seperti ini, maka dapat dimengerti mengapa pada suatu area medan gamping dengan elevasi rendah tidak dapat berkembang topografi karst.

D. Iklim

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Faktor iklim yang berpengaruh terhadap perkembangan karst terutama adalah curah hujan dan suhu. Curah hujan berpangaruh dalam proses pelarutan batugamping atau senyawa karbonat lainnya. Semakin besar curah hujan, maka pelarut batugamping akan semakin banyak sehingga pelarutan yang terjadi pada batugamping akan semakin besar pula. Proses pelapukan dan pelarutan batuan karbonat di daerah beriklim tropis basah berjalan lebih cepat dibanding pada tempat beriklim lain (Samodra, 2001). Suhu berpengaruh terhadap konsentrasi CO_2 dan aktivitas organisme yang menghasilkan CO_2. pelarutan akan berlangsung selama suhu berada di atas titik beku air. Daerah dengan temperatur hangat seperti di daerah tropis merupakan tempat yang ideal bagi perkembangan organisme yang selanjutnya menghasilkan CO_2 dalam tanah yang melimpah hasil dari repirasi (pernafasan) organisme tersebut. Temperatur juga menentukan evaporasi, semakin tinggi temperatur semakin besar evaporasi yang pada akhirnya akan menyebabkan rekristalisasi larutan karbonat di permukaan dan dekat permukaan tanah. Adanya rekristalisasi ini akan membuat pengerasan permukaan (*case hardening*) sehingga bentuklahan karst yang terbentuk dapat dipertahankan dari proses denudasi lain (erosi dan gerak masa batuan) (Haryono, 2004). Kecepatan reaksi sebenarnya lebih besar di daerah temperatur rendah karena konsentrasi CO_2 lebih tinggi. akan tetapi pelarutan pada daerah tropis lebih cepat, karena di daerah tropis curah hujannya lebih besar dan perkembangan organismenya lebih besar karena suhu yang mendukung.

E. Waktu

Waktu berpengaruh terhadap lamanya proses pelarutan, semakin lama waktu pelarutan yang terjadi pada batuan karbonat maka bentuklahan karst akan semakin berkembang. Perkembangan karst juga akan melalui tahapan-tahapan waktu seperti yang telah dijelaskan pada perkembangan karst menurut Grund (dalam Sweeting, 1972), yaitu melalui tahapan muda, dewasa, dewasa akhir, dan tua. Pada tahapan awal proses yang terjadi adalah pelarutan yang menghasilkan alur dan lubang yang kecil, seiring bertambahnya waktu alur dan lubang tersebut akan berkembang menjadi bentukan yang lebih besar seperti lembah dan doline.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

F. Vegetasi

Proses pelarutan dalam karstifikasi sangat dipengaruhi oleh CO_2, yaitu sebagai unsur yang mempercepat proses pelarutan. CO_2 berasal dari atmosfer yang terdapat di atas permukaan tanah maupun yang berada di bawah permukaan sebagai hasil dari pembusukan sisa tumbuhan atau humus. CO_2 di dalam tanah juga berasal dari penguapan akar tumbuhan, kadar CO_2 asal biogenik umumnya tinggi. Oleh karena itu keberadaan vegetasi akan sangat mempengaruhi proses karstifikasi, semakin lebat vegatasinya maka bentuklahan karst akan semakin cepat berkembang. Menurut Samodra (2006) salah satu faktor supaya batuan karbonat utamanya batugamping dapat membentuk morfologi karst adalah ditutupi oleh vegetasi yang lebat.

I.6. Kerangka Pemikiran

Bentuklahan karst merupakan bentuklahan yang khas akibat proses pelarutan pada batuan karbonat atau batugamping. Bentuklahan karst dicirikan oleh adanya cekungan tertutup atau lembah kering dalam berbagai bentuk dan ukuran, masuknya sungai permukaan ke dalam batuan sehingga drainase permukaan sedikit dan terbentuknya sistem drainase bawah tanah serta terbentuknya sistem pergoaan. Studi mengenai bentuklahan karst ini dapat dilakukan melalui survei geomorfologi dengan pendekatan analitik yang meliputi empat aspek utama, yaitu: (1) morfologi atau relief umum yang terdiri dari morfografi, yaitu aspek deskriptif geomorfologi suatu bentuklahan dan morfometri, yaitu aspek kuantitatif suatu bentuklahan; (2) morfogenesa atau asal kejadian dari bentuklahan serta proses-proses yang berlangsung. Morfogenesa terdiri atas morfostruktur pasif (litologi), morfostruktur aktif (struktur geologi hasil proses endogen), dan morfodinamik (proses eksogen); (3) morfokronologi, yaitu aspek geomorfologi yang penekanan utamanya pada umur absolut atau relief dari bentuklahan dan proses-proses yang terkait dengannya; (4) *morfoarrangement*, yaitu susunan keruangan dan keterkaitan antara berbagai bentuklahan dan proses-proses terkait.

Dalam perkembangannya bantuklahan karst sangat dipengaruhi oleh lima faktor, yaitu litologi, struktur geologi, kondisi iklim, relief, waktu, dan waktu.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Faktor-faktor tersebut bekerja saling mempengaruhi dan menentukan proses pelarutan yang terjadi pada permukaan maupun bawah permukaan batuan karbonat sehingga dapat mencirikan keberadaan bantuklahan karst yang berbeda dengan bentuklahan asal proses lainnya. Perbedaan karakteristik dari masing-masing faktor pembentuk bentuklahan karst akan mengakibatkan perbedaan bentuklahan karst yang terbentuk berbeda pada satu tempat dengan tempat lain.

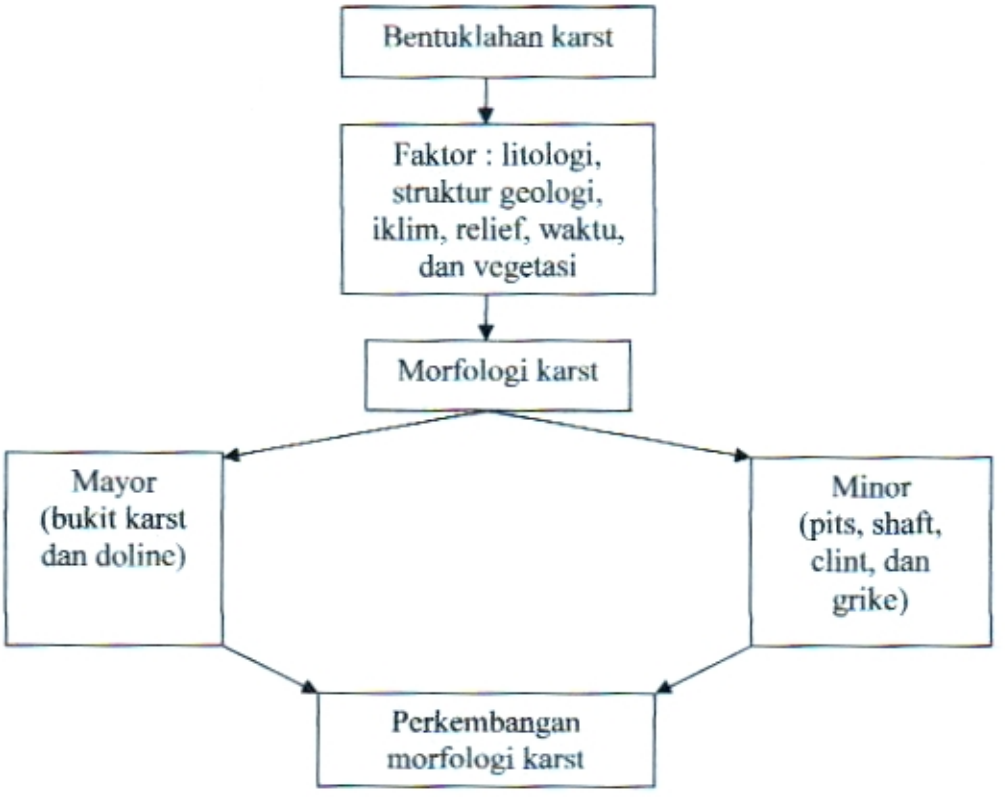
Morfologi karst secara garis besar dapat dibagi menjadi tiga kenampakan, yaitu kenampakan minor, mayor dan sisa pelarutan. Masing-masing kenampakan dapat dijabarkan lagi menjadi beberapa jenis kenampakan yang mencirikan dari setiap kenampakan. Kenampakan minor yang mudah dikenali di lapangan adalah *karren*, kenampakan mayor yang sering dijumpai di lapangan adalah doline, uvala, polje, karst window dan lembah karst. kenampakan dari sisa pelarutan yang biasa dijumpai adalah bukit sisa karst (*conical hill*). Morfologi karst minor diwakili oleh *karren* yang merupakan bentuk-bentuk permukaan yang kasar pada permukaan batugamping akibat proses pelarutan dan penggerusan. *Karren* merupakan indikasi dari perkembangan bentuklahan karst. Morfometri *karren* yang diukur dalam penelitian ini meliputi panjang, diameter, lebar dan kedalaman, sedangkan morfografinya dianalisis bentuk luar dari *karren*. Doline digunakan sebagai ukuran objektif dalam analisis perkembangan karst, karena pembentukan topografi karst selalu diawali oleh terbentuknya doline. Morfometri doline yang diukur dalam penelitian ini meliputi panjang maksimum (L_{max}), lebar maksimum (W_{max}) dan rasio antara lebar maksimum dengan panjang maksimum (W_{max}/L_{max}). Bukit karst yang merupakan sisa pelarutan dibedakan menjadi dua tipe berdasarkan geometrinya, yaitu *asimetric conical karts* dan *symetric conical karts*. *Asimetric conical karts* merupakan bukit karst yang mempunyai kemiringan berbeda pada masing-masing sisinya, dipengaruhi oleh pembentukannya yang terjadi pada permukaan yang miring. *Symetric conical karts* merupakan bukit karst yang mempunyai kemiringan sama pada masing-masing sisinya, dipengaruhi oleh pembentukannya yang terjadi pada permukaan yang datar. Morfologi lembah karst dalam perkembanganya terbentuk oleh aliran air di permukaan bentuklahan karst, karena tidak semua aliran air permukaan karst menghilang masuk ke dalam

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

retakan batuan sehingga terbentuk lembah karst. lembah karst digunakan sebagai salah satu indikasi perkembangan morfologi karst karena proses pembentukannya berkembang membentuk sistem jaringan dalam orde tertentu. Morfologi karst yang lain dan penting sebagai indikasi perkembangan morfologi karst yang lain adalah morfologi bawah permukaan yang dijumpai pada gua karst. kenampakan di dalam gua dengan berbagai ukuran dan bentuk secara keseluruhan dapat disebut sebagai *speleotem*. Sungai bawah tanah yang mempunyai input swallet pada umumnya merupakan saluran utama dari suatu sistem jaringan gua.

Kenampakan-kenampakan tersebut yang selanjutnya akan dideskripsikan karakteristiknya di lapangan dan digunakan sebagai parameter untuk mengetahui perkembangan morfologi karst yang ada pada daerah penelitian. Berdasarkan deskripsi tersebut selain mengetahui perkembangan morfologi dari masing-masing bentukan diharapkan juga dapat diketahui tahapan perkembangan bentuklahan karst, sehingga dapat dikelompokkan ke dalam tahapan muda, dewasa, dewasa akhir, atau tua. Perkembangan morfologi bentuklahan karst ditentukan dengan analisis morfografi yang merupakan gambaran bentuklahan secara kualitatif dan analisis morfometri yang merupakan pengukuran bentuklahan karst yang terbentuk. Karst yang berkembang dapat dilihat dari bentuk dan ukuran morfologi karst yang terbentuk telah berada pada salah satu tahapan perkembangan karst. Perkembangan tersebut harus berkelanjutan, yang artinya perkembangan karst akan memenuhi seluruh tahapan-tahapan yang ada. Adapun karst yang tidak berkembang adalah perkembangan karst yang belum mencapai pada tahapan akhir sudah terhenti perkembangannya atau kembali ketahap awal perkembangan yang disebabkan oleh berbagai faktor.

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Tingkat perkembangan morfologi karst formasi Jonggrangan di kecamatan Girimulyo dan kecamatan Kaligesing
Mu'arifin , Dr. Eko Haryono, M.Si.
Universitas Gadjah Mada, 2009 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/



Gambar 1.4. Diagram Kerangka Pemikiran