

EKOSISTEM KARST DAN GUA : Gudangnya keanekaragaman hayati yang unik¹

oleh:

Cahyo Rahmadi

Bidang Zoologi Pusat Penelitian Biologi LIPI

Cibinong

Email: cahyo.rahmadi@gmail.com

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang mempunyai kawasan karst yang tersebar di hampir semua pulau-pulau besar dari Sumatra sampai Papua. Namun sampai saat ini keberadaan kawasan karst di Indonesia masih terpinggirkan terutama untuk kawasan konservasi, yang menonjol hanyalah potensi dari sisi ekonomi seperti penambangan batu kapur. Perhatian terhadap potensi kawasan karst dan guanya dari sisi non ekonomi mulai meningkat beberapa tahun terakhir, namun kemauan untuk perlindungan yang menyeluruh belum juga terwujud.

Gua merupakan lingkungan yang sangat rentan, perubahan sedikit saja pada lingkungan gua maupun luar gua dapat mengganggu kehidupan di dalamnya dan memusnahkan berbagai jenis biota yang unik dan khas --- cave softly --

Ekosistem karst sampai saat ini belum banyak tersentuh, ekosistem ini menyimpan potensi keanekaragaman hayati yang sangat tinggi baik terestrial maupun akuatik baik di permukaan maupun di dalam gua. Beberapa penelitian di kawasan karst menunjukkan temuan yang cukup menarik dan mencengangkan dengan banyak ditemukannya jenis baru maupun catatan baru. Sampai saat ini gua-gua di Indonesia menduduki kekayaan keanekaragaman

hayati yang tinggi di daerah tropis (Deharveng and Bedos 2000).

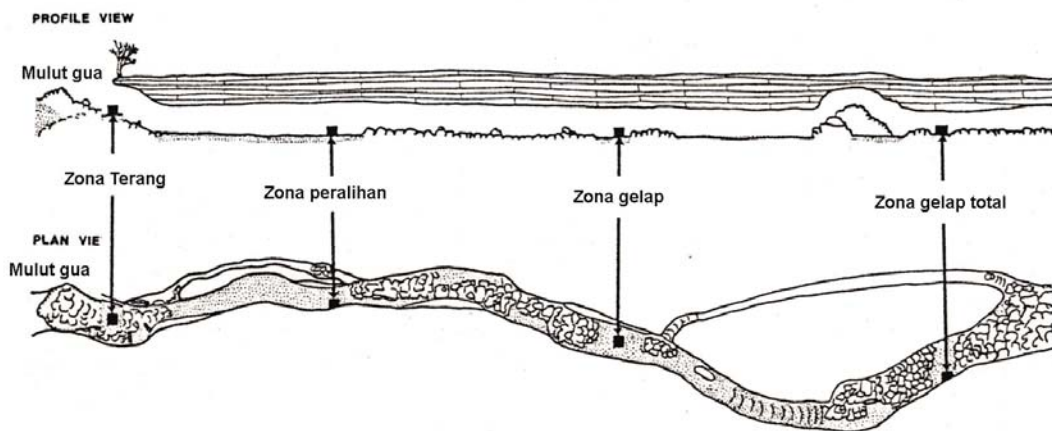
Sementara data dari Jawa masih belum terdokumentasi dengan baik. Hal ini menjadi sebuah tantangan tersendiri mengingat laju kerusakan dan kehancuran ekosistem karst di Jawa menghadang terutama dengan aktivitas penambangan dan penurunan kualitas lingkungan baik di karst maupun di luar kawasan karst.

LINGKUNGAN GUA

Lingkungan gua merupakan sebuah lingkungan yang unik dan khas dengan kondisi gelap total sepanjang masa. Lingkungan gua lazim dibagi menjadi 4 zona yaitu mulut gua, zona peralihan (Zona remang-remang), zona gelap dan zona gelap abadi. Masing-zona mempunyai karakteristik lingkungan (abiotik) yang berbeda-beda begitu juga kehidupan

¹ Disampaikan dalam Pelatihan Kader Lingkungan diselenggarakan oleh KAPEDAL Gunung Kidul, Wonosari, 21 November 2007

faunanya (biotik) (Howarth 1983, Howarth and Stone 1990, Howarth 1991). **Mulut gua** merupakan daerah yang menghubungkan luar gua dengan lingkungan gua dan masih mendapatkan cahaya matahari dan kondisi lingkungannya masih sangat dipengaruhi oleh perubahan lingkungan luar gua. Temperatur dan kelembaban berfluktuasi tergantung kondisi luar gua. Mulut gua mempunyai komposisi fauna yang mirip dengan komposisi fauna di luar gua. Kondisi iklim mikro di mulut gua masih sangat dipengaruhi oleh perubahan kondisi di luar gua. Zona berikutnya adalah **zona peralihan atau zona remang-remang** yang dicirikan dengan kondisi yang sudah gelap namun masih dapat terlihat berkas cahaya yang memantul dinding gua yang tergantung tipe gua. Di zona peralihan kondisi lingkungan masih dipengaruhi oleh luar gua yaitu masih ditemukan aliran udara. Temperatur dan kelembaban masih dipengaruhi lingkungan luar gua. Komposisi fauna mulai berbeda baik jumlah jenis maupun individu. Kelimpahan jenis dan individu lebih sedikit dibandingkan di daerah mulut gua. **Zona gelap** adalah daerah yang gelap total sepanjang masa, kondisi temperatur dan kelembaban mempunyai fluktuasi yang sangat kecil sekali. Jenis fauna yang ditemukan sudah sangat khas dan telah teradaptasi pada kondisi gelap total. Fauna yang ditemukan biasanya mempunyai jumlah individu yang kecil namun mempunyai jumlah jenis yang besar (Deharveng and Bedos 2000). Zona yang terakhir adalah **zona gelap total** dimana sama sekali tidak terdapat aliran udara kondisi temperatur dan kelembaban mempunyai fluktuasi yang sangat kecil. Biasanya mempunyai kandungan karbondioksida yang sangat tinggi. Zona ini biasanya terdapat pada sebuah ruangan yang lorongnya sempit dan berkelok-kelok.



Gambar 1. Profil gua menunjukkan pembagian berbagai tipe zona gua (Modifikasi dari Howarth 1980).

Berdasarkan keberadaan aliran sungai di dalam gua terdapat beberapa istilah gua fosil dan gua aktif. Gua fosil adalah gua yang sudah tidak mempunyai aliran sungai di dalam gua sehingga sepanjang lorong gua sama sekali tidak ditemukan aliran sungai yang berasal dari permukaan gua. Air di dalam gua biasanya berasal dari air perkolasi yang berasal dari permukaan tanah yang mengalir ke dalam gua melalui sistem celah rekahan dalam batu gamping. Air ini menetes dan membentuk ornamen gua seperti stalagtit dan

stalagmit serta kolam-kolam air kecil yang sangat menarik. Sedangkan gua aktif adalah gua yang terdapat aliran sungai di dalam gua yang berasal dari luar gua baik besar maupun kecil. Gua tipe ini sangat dipengaruhi kondisi luar gua seperti terjadinya banjir pada saat musim hujan.

Gua tidak hanya merupakan satu lorong tunggal saja namun juga dapat terdiri dari berbagai macam lorong yang bercabang-cabang dan berkelok-kelok yang ditentukan oleh proses speleogenesisnya. Lorong gua yang bercabang-cabang, berkelok-kelok dan bahkan bertingkat sehingga membentuk satu sistem biasanya disebut dengan sistem gua. Dalam sistem gua ini biasanya terdapat lorong aktif, lorong vadose dan lorong fosil yang ditentukan berdasarkan keberadaan aliran air. Lorong aktif sama dengan gua aktif dimana ditemukan aliran air dan pembentukan ornamen gua masih berjalan. Lorong vadose adalah lorong gua yang seluruh lorongnya dipenuhi oleh air dan untuk melewatinya memerlukan teknik khusus. Sedangkan lorong fosil adalah lorong yang biasanya berada bagian atas lorong aktif dan lorong vadose. Lorong ini sudah tidak mempunyai aliran air karena turunnya permukaan air. Kondisi lorong yang berbeda-beda sangat menentukan kekayaan fauna di dalam gua karena variasi habitat berkorelasi positif dengan keanekaragaman fauna gua (Poulson and Culver 1967).

ADAPTASI FAUNA GUA

Gua sebagai lingkungan yang gelap dapat berperan sebagai perangkap fauna dari luar gua. Sehingga gua dapat memicu terjadinya proses evolusi fauna dari luar gua untuk dapat beradaptasi dan bertahan hidup di dalam gua. Bentuk adaptasi di dalam gua bermacam-macam baik secara morfologi, perilaku maupun fisiologi, sehingga fauna gua mempunyai bentuk bahkan perilaku yang berbeda dengan kerabatnya yang ada di luar gua. Adaptasi yang paling utama adalah mereduksinya organ penglihatan karena kondisi lingkungan gua yang gelap total. Karena tidak berfungsinya indra penglihatan menyebabkan perkembangan indra lain untuk menggantikan indra penglihatan. Di dalam kelompok Arthropoda, khususnya serangga indra penglihatan digantikan oleh indra peraba yaitu antena. Antena serangga gua dapat mencapai 10 kali panjang tubuhnya seperti pada jangkrik gua. Sedangkan kelompok Arthropoda yang tidak mempunyai antena seperti kelompok Arachnida (Laba-laba) mengalami adaptasi dengan berubah fungsinya kaki yang paling depan menjadi indra peraba yang berfungsi seperti antena contohnya pada kala cemeti (*Amblypygi*). Kondisi lingkungan gua yang terkadang minim bahan organik menyebabkan fauna gua mempunyai laju metabolisme yang lebih lambat.

Lingkungan gua mempunyai kondisi iklim yang relatif stabil baik temperatur, kelembaban, kandungan karbondioksida dan oksigen. Hal ini disebabkan kondisi lingkungan yang relatif stagnan karena minimnya aliran udara dalam gua. Kondisi ini mempengaruhi adaptasi fauna gua pada lingkungan yang relatif stabil sehingga mempunyai kisaran toleransi yang sempit. Sedikit perubahan dalam lingkungan gua akan berpengaruh sekali pada kehidupan fauna gua. Sehingga fauna yang telah teradaptasi pada lingkungan gua sangat rentan terhadap gangguan. Perubahan

lingkungan yang drastis seperti tercemarnya perairan gua akan berpengaruh pada kehidupan fauna akuatik maupun terrestrial.

Berdasarkan tingkat adaptasi di dalam gua, fauna gua dibedakan menjadi 3 kelompok yaitu troglonexes, troglophiles dan troglobionts (Howarth 1983, Culver 1986, Tercaf 2000, Ferreira & Horta 2001). Kelompok **troglonexes** merupakan kelompok dari fauna gua yang menggunakan gua sebagai tempat tinggal namun hidupnya secara periodik masih tergantung pada lingkungan luar gua terutama untuk mencari pakan. Contoh fauna dalam kelompok ini adalah kelelawar, walet, sriti dan mamalia lain yang tinggal di sekitar mulut gua. Kelompok **troglophiles** merupakan kelompok fauna yang seluruh daur hidupnya terdapat di dalam gua namun kelompok ini juga dapat hidup di luar gua. Kelompok **troglobionts** atau **troglobites** adalah kelompok fauna yang seluruh daur hidupnya di dalam gua dan sangat tergantung sekali dengan lingkungan dalam gua. Kelompok ini hanya mampu hidup di alam gua.

SUMBER ENERGI DI GUA

Gua merupakan sebuah ekosistem yang khas. Ada yang menganggap bahwa gua merupakan sebuah ekosistem yang tertutup namun hal ini tidak sebenarnya terjadi dalam ekosistem gua. Ekosistem gua merupakan sebuah ekosistem yang terbuka dimana semua komponen saling berkaitan baik dalam lingkungan gua maupun lingkungan luar gua. Kondisi gelap total tidak memungkinkan produsen utama seperti di lingkungan luar gua dapat hidup. Hal ini menyebabkan tumbuhan hijau sebagai sumber utama energi di ekosistem lain di luar gua tidak ditemukan di dalam gua. Sehingga energi dalam gua merupakan sumber energi yang *allochthonous* dan sangat bergantung pada produktivitas mikroorganisme yang ada dalam gua maupun sumber-sumber lain yang berasal dari luar gua.

Sumber energi gua masuk ke dalam lingkungan gua melalui beberapa cara, menurut Culver (1986) ada 5 sumber pakan yang penting untuk habitat terrestrial di dalam gua di daerah empat musim yaitu guano kelelawar, telur dan guano jangkrik gua, mikroorganisme, kotoran mamalia dan bangkai hewan dan terakhir adalah serasah tanaman yang terbawa banjir. Semua sumber pakan ini juga penting di gua-gua daerah tropis namun guano jangkrik tetap merupakan hasil dari adanya guano kelelawar karena jangkrik tidak pernah meninggalkan gua untuk mencari pakan (Deharveng and Bedos 2000). Umumnya di tropis terutama di Indonesia, jangkrik gua ditemukan sangat melimpah di lorong yang melimpah guanonya seperti di Gua Lawa (Nusakambangan). Sumber pakan yang penting berasal dari akar-akar yang menerobos melalui celah rekahan dan menggantung di langit-langit gua.

Berdasarkan kelimpahan dan jenis sumber pakan dibedakan 5 tipe gua yaitu **oligotrophic** yaitu gua yang mempunyai jumlah ketersediaan bahan organik yang rendah yang berasal dari hewan atau tumbuhan. **Eutrophic** adalah gua yang mempunyai ketersediaan bahan organik yang sangat tinggi, umumnya berasal dari hewan khususnya guano kelelawar. **Distrophic** adalah gua yang ketersediaan bahan organik berasal dari

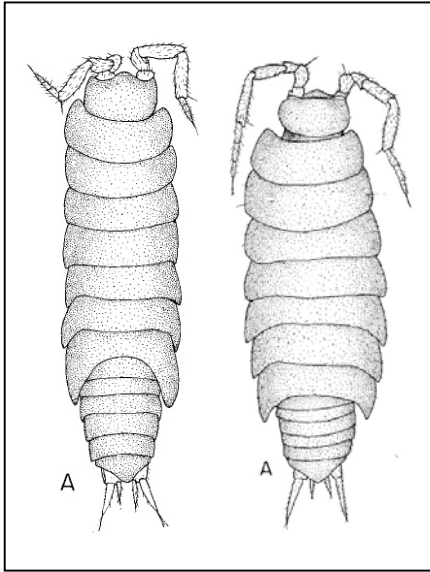
tumbuhan yang terbawa banjir. **Mesotrophic** adalah gua yang berada pada tingkat menengah antara tiga tipe tersebut dan dicirikan dengan ketersediaan bahan organik dari hewan dan tumbuhan dalam jumlah yang sedang. **Poecilotrophic** adalah gua yang merupakan pemanjangan bagian gua dengan suplai energi yang berbeda dengan rentang bagian oligotrophic sampai eutrophic (Gnaspini and Trajano 2000).

Gua merupakan sebuah habitat yang tidak terpisahkan dari lingkungan di luar gua. Perubahan yang terjadi di luar gua akan sangat berpengaruh pada lingkungan gua. Perubahan lingkungan luar gua akan mempengaruhi ketersediaan sumber pakan di dalam gua. Terjadinya perubahan lahan seperti penebangan liar atau penggundulan hutan sangat berpengaruh terhadap ketersediaan guano yang dihasilkan kelelawar. Gundulnya hutan di luar gua akan berpengaruh juga pada ketersediaan air di dalam gua yang melalui sistem percelah rekahan sehingga menyebabkan perubahan kondisi iklim mikro dalam gua yang berpengaruh pada proses dekomposisi dan perkembangan mikroorganisme yang penting sebagai sumber energi utama dalam gua. Semua komponen sumber makan yang telah disebutkan di atas merupakan satu kesatuan yang utuh yang tidak terpisahkan dan membentuk satu jaring-jaring makanan yang penting dalam gua. Hilangnya salah satu rantai makanan akan berpengaruh pada keseluruhan ekosistem dalam gua maupun luar gua.

FLORA FAUNA KARST

Kawasan karst menyimpan kekayaan flora fauna yang sangat menarik dan unik. Karena kondisi lingkungan karst yang kering, beberapa jenis flora harus mampu beradaptasi pada kondisi kekeringan yang tinggi pada musim kemarau selain itu, kandungan kalsium yang tinggi juga mengharuskan semua jenis flora dan fauna mampu beradaptasi pada lingkungan karst.

Flora. Flora di kawasan karst mempunyai keunikan di segala hal. Keanekaragaman dan komposisi jenisnya sangat berbeda dibandingkan dengan tipe vegetasi lainnya. Flora di kawasan karst mempunyai tingkat keendemikan yang sangat tinggi dengan potensi ekonomi yang sangat tinggi. Beberapa jenis flora seperti anggrek, paku-pakuan, palem dan pandang merupakan jenis yang terkadang hidup di tebing-tebing karst. Beberapa jenis mempunyai habitat yang sangat spesifik seperti anggrek yang ditemukan di Borneo. Beberapa adaptasi flora terhadap kondisi lingkungan karst adalah kemampuan hidup di puncak bukit dengan sistem perakaran yang sangat panjang mampu menembus celah rekahan batu karst dan mencapai batas sumber air, contoh pohon beringin (*Ficus* spp.). Beberapa jenis mampu beradaptasi pada lingkungan yang sangat minim lapisan tanahnya. Adaptasi tersebut dengan cara meningkatkan kemampuan bertahan hidup tanpa kesulitan dengan cara sistem perakaran di udara bebas, contoh anggrek yang mampu memanfaatkan celah-celah batuan untuk tumbuh. Flora karst juga mempunyai tingkat endemisitas yang sangat tinggi terkadang, satu bukit karst mempunyai satu jenis yang tidak ditemukan di bukit yang lain di sekelilingnya (Vermaullen and Whitten 1999).



Gambar 2. Isopoda khas gua dari Gunung Sewu *Javanoscia elongata* (kiri) dan *Tenebrioscia antennuata* (kanan). Sumber : Schultz 1985

Fauna. Fauna permukaan karst belum banyak yang meneliti, namun diyakini tebing-tebing karst merupakan habitat bagi berbagai jenis burung yang khas seperti gelatik Jawa yang ditemukan di tebing-tebing di sekitar pantai selatan di Gunung Kidul. Tebing-tebing karst juga menjadi habitat berbagai jenis elang yang membuat sarang di dahan-dahan yang tumbuh di tebing karst. Berbagai jenis mamalia juga sering dijumpai seperti macan kumbang, macan tutul maupun jenis-jenis karnivora lainnya. Fauna yang menarik adalah fauna yang hidup di kegelapan gua. Karena kondisi gua yang gelap sepanjang masa, berbagai jenis fauna mempunyai morfologi yang unik seperti pemanjangan antena, pemanjangan kaki, warna putih pucat dan bermata kecil atau bahkan tidak bermata. Contoh-contoh fauna khas gua yang ditemukan di Gunung sewu antara lain: kepiting gua (*Sesarmoides jacobsoni*) dan udang

gua (*Macrobrachium poeti*). Jenis-jenis khas lainnya seperti Isopoda terestrial yang sangat kecil yang ditemukan di Gua semuluh dan Gua Bribin yaitu *Javanoscia elongata* dan *Tenebrioscia antennuata*. Jenis-jenis udang lainnya juga mempunyai kekhasan tersendiri namun sampai sekarang belum diteliti lebih lanjut seperti udang kecil yang ditemukan di Gua Jomblang Bedoyo. Ikan-ikan gua juga sangat menarik karena biasanya mempunyai mata yang sangat kecil. Gunung sewu merupakan tempat temuan jenis ikan khas gua yang sudah terancam punah yaitu *Puntius microps* yang ditemukan di perairan bawah tanah.

Berbagai jenis fauna bertulang belakang lainnya juga sering ditemukan hidup di dalam gua. Fauna yang paling sering ditemui adalah kelelawar. Berbagai jenis kelelawar menghuni lorong-lorong gua di Gunung Sewu, baik jenis-jenis pemakan serangga maupun pemakan buah. Jenis-jenis pemakan serangga lebih banyak hidup di lorong-lorong yang sempit dan jauh di dalam gua sedangkan pemakan buah banyak menghuni lorong gua yang tidak jauh dari mulut gua. Fauna lain seperti walet, sangat banyak ditemukan di gua-gua di pesisir selatan Gunung Kidul dan memberikan fungsi ekonomi dan ekologi tersendiri.

POTENSI KEANEKARAGAMAN HAYATI KARST

Keanekaragaman hayati karst mempunyai potensi yang sangat tinggi antara lain potensi ekologi, potensi ilmiah dan potensi ekonomi. Keanekaragaman yang berpotensi ekologi antara lain jenis-jenis kelelawar baik kelelawar pemakan serangga maupun pemakan buah. Kelelawar pemakan serangga mempunyai peran untuk mengendalikan serangga hama yang berpotensi merugikan pertanian. Sedangkan kelelawar pemakan buah mempunyai peran penyebaran biji maupun membantu penyerbukan berbagai jenis

tanaman yang bernilai ekonomi tinggi. Kelelawar di Gunung Sewu yang mempunyai kelimpahan populasi sangat tinggi ditemukan di Gua Ngeleng di daerah Paliyan. Namun kelimpahannya sangat ditentukan oleh musim. Potensi ilmiah keanekaragaman hayati karst dan gua adalah tempat dimana berbagai jenis fauna yang mempunyai nilai ilmiah tinggi ditemukan. Nilai ilmiah fauna gua dapat ditinjau dari keunikan dan kekhasannya karena adaptasi terhadap lingkungan gua yang gelap. Bentuk adaptasi morfologi ini menjadikan bentuk-bentuk fauna gua menjadi unik dan khas. Beberapa jenis sangat tergantung pada satu habitat dan bahkan hanya ditemukan di satu gua atau kawasannya saja. Selain itu fauna gua atau karst juga mempunyai biogeografi yang menarik untuk dipelajari dan memerlukan kajian lebih mendalam. Jenis-jenis yang ditemukan pun kebanyakan merupakan jenis baru bagi ilmu pengetahuan. Potensi ekonomi merupakan potensi yang dapat dirasakan langsung oleh masyarakat seperti manfaat sarang walet yang mempunyai nilai jual tinggi. Namun dua potensi lainnya juga dapat memberikan kontribusi pada ekonomi meskipun perannya tidak secara langsung.

ANCAMAN

Seiring laju pembangunan, kawasan karst menghadapi satu ancaman yang sangat besar terutama meningkatnya aktivitas manusia di kawasan karst dan gua. Beberapa ancaman yang nyata di adalah meningkatnya intensitas penambangan batu kapur yang terjadi di daerah Bedoyo (Ponjong).

Penambangan fosfat dan guano merupakan ancaman tersendiri untuk kelestarian ekosistem gua. Karena dengan hilangnya guano akan menghilangkan sumber bahan organik utama bagi ekosistem gua yang akan mempengaruhi keseluruhan kehidupan fauna di dalam gua. Seperti yang bertahun-tahun terjadi penambangan fosfat di Gua Lawa (Ponjong) yang telah menghancurkan lorong-lorong gua.

Penangkapan kelelawar juga suatu ancaman serius bagi keanekaragaman hayati karst. Di daerah Gunung Sewu aktivitas penangkapan kelelawar terjadi di Luweng Ngeleng yang dijual untuk obat. Aktivitas penangkapan kelelawar hampir terjadi di hampir semua kawasan karst yang mempunyai gua-gua, namun di beberapa daerah terdapat kepercayaan yang melarang untuk menangkap kelelawar seperti di Sulawesi dan Tuban, Jawa Timur.

Pembuatan dam untuk keperluan untuk konsumsi air minum seperti di Gua Bribin dan Seropan, Gunung Sewu juga memberikan perubahan yang nyata terhadap lingkungan gua. Pembuatan dam akan merubah sistem hidrologi dalam gua, seperti perubahan aliran air. Lorong-lorong yang tadinya lembab karena dialiri air dapat menjadi kering karena sudah tidak ada lagi aliran air, begitu juga sebaliknya lorong yang kering dapat menjadi terisi oleh air dan mengancam punahnya fauna terestrial di dalam gua.

KONSERVASI

Gua sebagai lingkungan yang khas dan unik memerlukan perlindungan dan pengelolaan yang semestinya mengingat potensinya cukup besar di Indonesia. Beberapa pertimbangan perlunya perlindungan gua dan karst adalah:

1. merupakan lingkungan yang sangat rentan sekali terhadap perubahan lingkungan,
2. menyimpan kekayaan keanekaragaman hayati yang unik
3. fauna yang hidup di dalamnya sangat rentan terhadap kepunahan karena biasanya mempunyai populasi yang sangat kecil dan tingkat toleransi terhadap perubahan lingkungan sangat sempit,
4. merupakan sebuah laboratorium alam untuk mempelajari biologi dan evolusi makhluk hidup serta sejarah iklim masa lampau,
5. tempat tinggal beberapa fauna yang penting untuk keseimbangan ekologi (kelelawar) dan juga fauna bernilai ekonomi tinggi (walet),
6. mempunyai peninggalan sejarah budaya yang penting
7. sebagai sumber perokonomian yang penting terutama sebagai penampung sumber air bawah tanah,
8. sebagai tempat untuk wisata yang bernilai ekonomi tinggi jika dikelola secara benar

Beberapa pertimbangan lainpun masih banyak yang belum diungkapkan namun pertimbangan di atas sudah cukup untuk menjadikan dasar perlindungan terhadap ekosistem gua karst. Di Indonesia sendiri belum banyak gua yang dilindungi oleh undang-undang, namun ada beberapa yang dilindungi seperti perlindungan terhadap Luweng Jaran yang sangat terkenal dengan keindahan dekorasi guanya. Sementara laju kerusakan ekosistem gua sangat cepat dengan cepatnya laju penurunan kualitas lingkungan di sekitar kawasan karst maupun dalam karst karena aktivitas manusia yang tidak terkendali. Perlindungan terhadap kawasan karst biasanya berbenturan dengan kepentingan ekonomi sesaat yang kadang tidak mempertimbangkan kepentingan ekonomi jangka panjang.

Untuk mewujudkan kelestarian gua-gua karst diperlukan beberapa tindakan nyata yang dapat mencegah atau setidaknya mengurangi laju kerusakan ekosistem gua. Hal yang mendasar untuk perlindungan ekosistem gua dan karstnya adalah menumbuhkan kesadaran pentingnya karst dan gua bagi umat manusia di setiap lapisan masyarakat, mempertahankan tradisi maupun kepercayaan masyarakat lokal yang dapat mendukung pelestarian gua dan karst namun juga dapat dimanfaatkan secara bijaksana sebagai sumber pendapatan, melakukan survei potensi biotik dan abiotik sebagai landasan untuk pengelolaan gua terutama pemantauan terus-menerus untuk memahami dinamika yang terjadi dalam gua dan sekaligus sebagai acuan peringatan dini terhadap perubahan lingkungan, pengelolaan wisata gua secara bijaksana berlandaskan kaidah-kaidah yang sesuai untuk mendukung kelangsungan ekosistem gua, pembuatan sistem zonasi kawasan karst sebagai dasar pemanfaatan kawasan karst.

DAFTAR PUSTAKA

- Bernath, R.F and Kunz, T.H. 1981. Structure and dynamic of arthropods communities in bat guano deposits in building. *Can. J. Zool.* 59: 260-270
- Braack, L.E.O.1989. Arthropods Inhabitants of Tropical Cave 'Island' Environment Provisioned by Bats. *Biol. Conserve.* 48: 77-84
- Culver, D. 1986. Cave Faunas. In. M.E. Soule (ed). *Conservation: the Science of Scarcity and Diversity*. Sinaver Associates Inc. Publ. Sunderland Massachuset.
- Deharveng, L. and Bedos, A. 2000. The Cave Fauna of Southeast Asia:Origin, evolution and Ecology in. Wilkens, H., Culver, D.C, and Humpreys, W.F. (eds), *Ecosystem of The World, Vol. 30: Subterranean Ecosystem*: Elsevier, Amsterdam.
- Deharveng, Louis. 2002. The cave fauna of the oriental region: progress in knowledge, and the gaps. *XVI International Symposium of Biospeleology-Italy. Abstract.*
- Estrada D. and Palacios-Vargas J.G.2002. Biodiversity of terrestrial microarthropods from Las Sardinias Cave, Tabasco, Mexico. *XVI International Symposium of Biospeleology-Italy. Abstract.*
- Ferreira, R.L. and Horta, L.C.S..2001. Natural and Human Impacts on Invertebrate Communities in Brazilian Caves. *Rev. Brasil. Biol.*, 61(1):7-17pp
- Gnaspirini, Pedro and Eleonoara Trajano. 2000. Guano Communities in Tropical Caves. in. Wilkens, H., Culver, D.C, and Humpreys, W.F. (eds), *Ecosystem of The World, Vol. 30: Subterranean Ecosystem*: Elsevier, Amsterdam.
- Greenslade, Penelope. In pres. Systematic Composition and Distribution on Australian Cave Collembolan Faunas with Notes on Exotic Taxa. *Helictit.*
- Howarth, F.G. 1980. The Zoogeography of Spcialized Cave Animals: A Bioclimatic Models. *Evolution* 34(2): 394-406
- Howarth, F.G. 1983. Ecology of Cave Arthropods. *Ann. Rev. Entomol.* 28: 365-389
- Poulson, T.L. 1972. Bat Guano Ecosystem. *Bull. Natl. Speleol. Soc.* 34: 55-59
- Rahmadi, C., Y.R.Suhardjono, J. Subagja. 2002. Komunitas Collembola Guano Kelelawar di Gua Lawa Nusakambangan, Jawa Tengah. *Biologi* 2(14): pp. 861-875
- Rahmadi, Cahyo, Y. R. Suhardjono dan Jusup Subagja. 2002. Komunitas Collembola di Guano Kelelawar di Gua Lawa Nusakambangan, Jawa Tengah. *Biologi* 2 (14): 861-875
- Suhardjono, Y.R. Cahyo R. and Deharveng. 2001. The Cave fauna of Java. *XV International Symposium of Biospeleology-Brazil. Abstract.*
- Tercafs, Raymond.1988. Optimal Management on Karst Sites with Cave Fauna Protection. *Environmental Conservation* 15(2): 149-159
- Vermaullen, J. and Whitten, T. 1999. Biodiversity and Cultural Property in the Management of Limestones Resources. The World Bank. Washington.
- Whitten, T., Soeriatmadja, R.I and Afif, S.A. 1996. *The Ecology of Indonesian Series: The Ecology of Java and Bali*. Vol. III. Periplus Peditron. Singapore