PENGARUH PENAMBANGAN GAMPING TERHADAP FUNGSI PENYERAPAN KARBONDIOKSIDA (CO₂) ATMOSFER DI KAWASAN KARST KECAMATAN PONJONG, KABUPATEN GUNUNGKIDUL

Ahmad Cahyadi¹ dan Anggit Priadmodjo²

¹Program BEASISWA UNGGULAN BPKLN KEMDIKBUD RI pada Magister Perencanaan Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai (MPPDAS) Fakultas Geografi UGM Yogyakarta

²Alumni Program Studi Pembangunan Wilayah Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada

^{1,2}Karst Student Forum (KSF) Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Email: ahya.edelweiss@gmail.com

INTISARI

Kawasan karst memiliki arti penting sebagai objek penelitian yang menarik, wilayah yang sangat sensitif terhadap pencemaran sumberdaya air, habitat bagi beberapa spesies makhluk hidup dan sebagai penyerap karbondioksida secara alamiah. Penyerapan karbondioksida terjadi pada proses pelarutan/karstifikasi, di mana setiap proses pelarutan 1000 kg CaCO₃ akan diikuti dengan penyerapan karbondioksida dari udara sebanyak 120 kg. Kawasan karst Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunungkidul memiliki arti sangat penting dalam penyerapan karbondioksida karena terletak di kawasan tropis yang memiliki rerata suhu udara tahunan tinggi dan curah hujan yang lebih dari 2000 mm/tahun. Selain itu, letak kawasan karst di daerah tropis menjadi sangat penting karena pada skala global terjadi aliran masa udara global termasuk di dalamnya polusi udara akibat adanya *Intertropical Convergence Zone* atau sering disebut sebagai ITCZ. Meskipun demikian, fungsi penyerapan karbondioksida di kawasan karst Kecamatan Ponjong saat ini terganggu oleh adanya penambangan batu gamping.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengetahui kapasitas penyerapan karbondioksida oleh kawasan karst di Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunungkidul dan (2) menghitung besarnya karbon yang tidak lagi dapat diserap akibat terjadinya penambangan batu gamping. Variabel yang digunakan adalah besar presipitasi, evapotranspirasi dan kandungan CaCO₃ pada mata air yang ada di sekitar daerah penelitian. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas penyerapan karbondioksida di kawasan karst Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul adalah sebesar 95,13 m³/tahun/km². Berdasarkan hal tersebut maka diketahui bahwa jumlah karbondioksida yang tidak lagi dapat diserap akibat adanya penambangan batu gamping adalah sebesar 2,32 m³/tahun atau setara dengan 51,43 kg. Namun demikian, perhitungan ini hanya menggambarkan kehilangan fungsi penyerapan karbondioksida akibat hilangnya lapisan epikarst. Penelitian ini tidak menghitung besarnya kehilangan karbondioksida akibat hilangnya batuan gamping yang ditambang. Selain itu, penelitian ini hanya memperhitungkan kehilangan penyerapan karbondioksida pada penambangan yang memiliki ijin saja. Meskipun gangguan yang terjadi terhadap penyerapan karbondioksida relatif sedikit, bukan berarti penambangan gamping tidak menyebabkan kerusakan lingkungan. Hal ini karena perhitungan yang dilakukan ini hanya merupakan salah satu indikator yang perlu diperhitungkan dalam menilai dampak penambangan gamping terhadap kondisi ekosistem karst.

Kata Kunci: Karst, Penambangan Gamping, Penyerapan Karbondioksida

I. PENDAHULUAN

Karst adalah sebuah istilah dalam Bahasa Jerman yang diturunkan dari Bahasa Slovenia yang berarti lahan gersang berbatu (Adji dkk, 1999). Istilah tersebut menggambarkan kondisi yang sering ditemui di banyak daerah dengan karakteristik batuan mudah larut. Proses pelarutan telah menyebabkan terbentuknya lorong-lorong yang menjadikan kawasan karst didominasi oleh porositas sekunder (Cahyadi, 2010). Hal ini menyebabkan air hujan yang jatuh dengan cepat masuk ke dalam sistem aliran bawah tanah dan menyebabkan kondisi kering di permukaan. Salah satu kawasan di Indonesia adalah kawasan karst Gunungsewu. Sebagian kawasan karst tersebut masuk dalam wilayah administrasi Kabupaten Gunungkidul, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta khususnya di Kecamatan Ponjong.

Kondisi geomorfologi, geologi dan hidrologi kawasan karst di Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul yang unik ternyata juga menyimpan banyak sumberdaya alam khususnya air bersih yang

berada di dalam tanah dan batugamping sebagai barang tambang. Selain itu, Haryono, dkk (2002) menjelaskan bahwa kawasan karst memiliki arti penting sebagai berikut:

1. Kawasan karst merupakan objek kajian ilmu pengetahuan yang unik dan langka;
2. Kawasan karst merupakan yang sangat sensitif terhadap keberadaan air dan sosial budaya masyarakat;
3. Kawasan karst merupakan habitat yang mendukung keanekaragaman jenis flora dan fauna yang spesifik; serta
4. Kawasan karst memiliki fungsi dalam penyerapan karbondioksida (CO₂) dari atmosfer.

Gambar 1. Peta Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul (Cahyadi dkk, 2012)

Fungsi karst dalam penyerapan karbondioksida (CO₂) merupakan salah satu proses alam yang dapat mencegah atau mengurangi terjadinya pemanasan global (*global warming*). Hal tersebut karena karbondioksida (CO₂) merupakan salah satu penyebab terjadinya pemanasan global (Murdiyarso, 2005). Karbondioksida (CO₂) dipakai sebagai komparasi terhadap kenaikan temperatur akibat adanya kenaikan gas rumah kaca karena memberikan kontribusi terbesar dalam pemanasan global, yaitu 50% (Cahyono, 2009).

Proses penyerapan karbondioksida (CO₂) di kawasan karst kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul terjadi pada proses pelarutan batuan gamping (karstifikasi). Proses ini diawali dengan larutnya karbondioksida (CO₂) di dalam air membentuk H₂CO₃. Larutan H₂CO₃ bersifat tidak stabil sehingga terurai menjadi HCO₃²⁻ dan H⁺. Ion H⁺ inilah yang kemudian akan menguraikan batugamping (CaCO₃) menjadi Ca²⁺ dan HCO₃⁻.

Letak kawasan karst Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul yang berada di daerah tropis memiliki arti penting dalam penyerapan karbondioksida (CO₂) pada skala global. Hal ini berkaitan dengan adanya *Intertropical Convergence Zone* atau sering disebut sebagai ITCZ (Gambar 2). ITCZ adalah suatu zona di sekitar equator (garis khatulistiwa) yang memiliki tekanan lebih rendah dari daerah di sekitarnya. Hal ini menyebabkan adanya aliran udara global dari lintang 30° LU dan 30° LS mengalir ke arah equator, sehingga secara tidak langsung akan membawa polutan dalam udara termasuk karbondioksida (CO₂) yang dihasilkan di lintang tengah ke daerah tropis (Cahyadi, 2010).

Selain itu, letak kawasan karst Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul yang berada di daerah tropis menjadikan kawasan ini sebagai penyerap karbon yang potensial karena pada daerah

ini curah hujan sangat tinggi. Hujan atau dalam hal ini air (H_2O) merupakan salah satu syarat utama terjadinya proses karstifikasi, sehingga semakin banyak curah hujan di suatu wilayah maka proses karstifikasi akan berkembang dengan lebih intensif. Haryono dan Adji (2004) menyebutkan bahwa proses karstifikasi dapat terjadi apabila dipenuhi beberapa syarat, yaitu: (1) Adanya batuan yang mudah larut, kompak, tebal dan memiliki banyak rekahan; (2) Curah hujan yang cukup (minimal 250 mm/tahun); dan (3) Batuan terangkat di ketinggian yang memungkinkan perkembangan sirkulasi air atau drainase secara vertikal.

Gambar 2. *Intertropical Convergence Zone/ ITCZ* (kadarsah.wordpress.com)

Gambar 3. Dampak Penambangan Terhadap Morfologi Kawasan Karst Gunungsewu di Desa Bedoyo, Kecamatan Ponjong (Koleksi Cahyadi, 2009 dan 2010)

Penambangan gamping banyak terjadi di kawasan karst Gunungkidul termasuk di Kecamatan Ponjong (Gambar 3). Penambangan batu gamping di kawasan karst Gunungkidul dilakukan dengan cara *overburden* (pengelupasan) kerucut karst baik secara manual dengan tenaga manusia ataupun dengan menggunakan alat berat (Cahyadi, 2010). Proses penambangan ini menyebabkan hilangnya lapisan epikarst (Gambar 4), yakni suatu lapisan epikarst adalah lapisan tipis yang berada di bagian atas batuan gamping yang terbentuk oleh tanah atau rekahan-rekahan yang mampu menyimpan air. Hal ini akan menyebabkan air hujan tidak dapat meresap ke dalam tanah dan langsung mengalir sebagai aliran permukaan (*runoff*) sehingga menjadi simpanan permukaan yang nantinya menguap dan proses kartifikasi tidak akan terjadi. Oleh karena itu, maka diperlukan suatu kajian tentang pengaruh penambangan batugamping terhadap fungsi penyerapan karbondioksida. Hal tersebut kemudian dapat digunakan sebagai salah satu masukan dalam pembuatan rencana pengelolaan kawasan karst yang berkelanjutan dan mensejahterakan masyarakat.

Gambar 4. Lapisan Epikarst Sebagai Lapisan Penyimpan Air yang Melepaskan Secara Perlahan-Lahan ke Dalam Sistem Sungai Bawah Tanah Karst (Haryono, 2004)

II. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penulisan karya tulis ini antara lain :

- Mengetahui kapasitas penyerapan karbondioksida kawasan karst di Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul?
- Mengetahui kuantitas karbondioksida yang tidak dapat diserap lagi akibat adanya penambangan batugamping di kawasa karst Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul?

III. METODE PENELITIAN

a. Perhitungan karbondioksida (CO₂) yang terserap oleh proses karstifikasi

Perhitungan karbondioksida (CO₂) dapat dilakukan dengan menggunakan rumus yang digunakan oleh Haryono, dkk (2009) dalam penelitiannya yang berjudul *"Atmospheric Carbondioxide Sequestration Trough Karst Denudation Process, Preliminary Estimation from Gunung Sewu Karst Area"* sebagai berikut:

$$V = (4 E T) / 100 = 0,04 E T$$

Keterangan:

V = Volume karbondioksida yang terserap dalam proses karstifikasi (m³/year/km²)

E = Runoff per desa (Presipitasi – Evapotranspirasi) (dm)

T = Konsentrasi CaCO₃ dalam air yang keluar melalui mata air (mg/l)

Perhitungan pengurangan penyerapan karbon dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$V_{pt} = V \cdot A_{pt}$$

Keterangan:

V_{pt} = Volume karbon yang hilang

A_{pt} = Luas Penambahan

V = Volume karbon yang terserap dalam proses karstifikasi ($m^3/year/km^2$)

b. Perhitungan curah hujan

Perhitungan curah hujan dilakukan dengan menggunakan metode isohyet. Isohyet adalah garis yang menghubungkan tempat-tempat yang memiliki curah hujan yang sama (Seyhan, 1990). Data curah hujan di ambil dari stasiun klimatologi dan kemudian dicari data rerata tahunannya. Setelah itu, kemudian dilakukan interpolasi menggunakan software Arcgis 9.3 untuk mengetahui nilai hujan wilayah. Rumus menghitung hujan wilayah adalah sebagai berikut:

$$P = (P_1 \cdot A_1 + P_2 \cdot A_2 + \dots + P_n \cdot A_n) / (A_1 + A_2 + \dots + A_n) \dots\dots\dots (Seyhan, 1990)$$

Keterangan:

P = Curah Hujan Wilayah

P_1, P_2, P_n = Curah hujan rata-rata pada masing-masing poligon antar isohyet

A_1, A_2, A_n = Luas masing-masing poligon diantara isohyets

c. Perhitungan Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah keseluruhan jumlah air yang berasal dari permukaan tanah, air dan vegetasi yang diuapkan kembali ke atmosfer oleh adanya pengaruh faktor-faktor iklim dan fisiologi tanaman. Perhitungan evapotranspirasi menggunakan metode Turc-Lungbein. Metode ini menggunakan data hujan dan suhu suatu wilayah. Rumus evapotranspirasi Turc-Lungbein adalah sebagai berikut:

$$E_a = P / [0,9 + (P^2 / E_o^2)]^{(1/2)} \text{ (Sosrodarsono dan Takeda, 2006)}$$

Keterangan:

E_a = Evapotranspirasi potensial (mm/tahun)

P = Curah hujan Tahunan (mm/tahun)

E_o = Evaporasi aktual (mm/tahun) = $325 + 21 T + 0,9 T^2$

T = Rerata temperatur tahunan ($^{\circ}C$)

d. Perolehan Data Konsentrasi $CaCO_3$

Data konsentrasi $CaCO_3$ dalam air yang keluar melalui mata air dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data yang digunakan oleh Haryono, dkk (2009) dalam penelitiannya yang berjudul *“Atmospheric Carbondioxide Sequestration Trough Karst Denudation Process, Preliminary Estimation from Gunung Sewu Karst Area”* yakni sebesar 185 mg/l. Data ini diperoleh rerata data konsentrasi $CaCO_3$ pada beberapa mata air yang diambil sampelnya pada beberapa debit yang berbeda (multi temporal).

e. Penentuan Suhu Setiap Stasiun yang tidak Memiliki Data Suhu

Penentuan suhu digunakan untuk menghitung besarnya evapotranspirasi. Suhu yang digunakan dalam perhitungan diasumsikan bahwa semua tempat di Kecamatan Ponjong memiliki suhu yang sama dengan stasiun klimatologi Ponjong. Untuk mengetahui suhu yang ada pada masing-masing stasiun hujan yang tidak memiliki data suhu digunakan rumus Mock sebagai berikut:

$$T = 0,006 (Z_1 - Z_2) ^{\circ}C \text{ (Triadmodjo, 2009)}$$

Keterangan:

T = Beda temperatur udara antara Z_1 dan Z_2

Z_1 = Elevasi tempat stasiun koreksi (Stasiun Adisucipto < 122 mdpl >)

Z_2 = Elevasi tempat stasiun terkoreksi (Stasiun Ponjong)

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapasitas penyerapan karbon kawasan karst sangat dipengaruhi oleh besarnya curah hujan dan suhu. Perhitungan curah setiap desa di Kecamatan Ponjong menunjukkan bahwa curah hujan tertinggi adalah 2325 mm/tahun dan terendah sebesar 2038 mm/tahun (Tabel 1). Hasil ini menunjukkan bahwa curah hujan di daerah ini tergolong cukup tinggi sehingga sangat efektif untuk perkembangan topografi karst. Selain itu, perbedaan curah hujan tertinggi dan terendah yang tidak terlalu besar menunjukkan bahwa variasi curah hujan antar daerah tidak terlalu besar sehingga akan berpengaruh pada bentuk topografi karst yang relatif seragam.

Tabel 1. Tebal hujan tahunan desa-desa di Kecamatan Ponjong

No	Kecamatan	Desa	Tebal hujan tahunan (mm/th)
1	Ponjong	Bedoyo	2325
2		Genjahan	2100
3		Gombong	2325
4		Karang Asem	2288
5		Kenteng	2188
6		Ponjong	2200
7		Sawahan	2075
8		Sidorejo	2225
9		Sumber Giri	2163
10		Tambakromo	2113
11		Umbul Rejo	2038

Sumber : analisis data sekunder

Perhitungan suhu dengan menggunakan rumus Mock menunjukkan perbedaan suhu di Stasiun Ponjong dengan suhu di Stasiun Adisucipto adalah $-1,14^{\circ}\text{C}$. Suhu udara rerata tahunan wilayah ini adalah $25,3^{\circ}\text{C}$, yang berarti sangat sesuai untuk perkembangan topografi karst. Berdasarkan hasil perhitungan suhu dan curah hujan yang ada, maka kemudian diketahui evapotranspirasi yang terjadi pada masing-masing desa berdasarkan rumus Turc-Lungbein adalah antara 876,82 mm/tahun sampai dengan 920,83 mm/tahun.

Suhu dan curah hujan kemudian akan berpengaruh kepada jumlah air yang kemudian tidak menguap dan tinggal sebagai simpanan dalam epikarst, yang dalam hal ini diasumsikan sama dengan besarnya *runoff*. *Runoff* dihitung dengan mengurangkan presipitasi (hujan) dengan evapotranspirasi yang terjadi di daerah tersebut. Besarnya *runoff* yang terjadi rata-rata adalah 1286 mm/tahun atau sekitar 58% dari rerata curah hujan tahunan yang terjadi.

Kapasitas penyerapan karbondioksida diartikan sebagai kemampuan suatu luasan bentanglahan karst (dalam penelitian ini per km^2) untuk menyerap karbondioksida dalam waktu satu tahun. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan variabel konsentrasi CaCO_3 yang terkandung dalam mata air dan besarnya *runoff*, diketahui bahwa kapasitas penyerapan karbondioksida kawasan karst di Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunungkidul adalah sebesar $95,13 \text{ m}^3/\text{tahun}/\text{km}^2$. Rincian kapasitas penyerapan karbondioksida kawasan karst di Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunungkidul untuk setiap desa adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Kapasitas penyerapan CO_2 masing-masing desa di Kecamatan Ponjong

No	Desa	Tebal Hujan Tahunan (mm/th)	Suhu Udara	E_o (mm/th)	Evapotranspirasi (mm/th)	Runoff (dm)	Penyerapan karbondioksida (m^3/tahun)
1	Bedoyo	2325	25.3	1430.87	920.83	14.04	103.9084
2	Genjahan	2100	25.3	1430.87	886.96	12.13	89.76506
3	Gombong	2325	25.3	1430.87	920.83	14.04	103.9084

Lanjutan Tabel 2. Kapasitas penyerapan CO₂ masing-masing desa di Kecamatan Ponjong

No	Desa	Tebal Hujan Tahunan (mm/th)	Suhu Udara	Eo (mm/th)	Evapotranspirasi (mm/th)	Runoff (dm)	Penyerapan karbondioksida (m ³ /tahun)
4	Karang Asem	2288	25.3	1430.87	915.56	13.72	101.5609
5	Kenteng	2188	25.3	1430.87	900.73	12.87	95.25803
6	Ponjong	2200	25.3	1430.87	902.55	12.97	96.01106
7	Sawahan	2075	25.3	1430.87	882.91	11.92	88.21429
8	Sidorejo	2225	25.3	1430.87	906.31	13.19	97.58282
9	Sumber Giri	2163	25.3	1430.87	896.89	12.66	93.69224
10	Tambakromo	2113	25.3	1430.87	889.04	12.24	90.57321
11	Umbul Rejo	2038	25.3	1430.87	876.82	11.61	85.9274

Sumber : analisis data sekunder

Data kapasitas penyerapan karbondioksida masing-masing desa kemudian di kalikan dengan luas penambangan gamping yang ada di masing-masing desa untuk mengetahui volume karbondioksida yang tidak lagi dapat diserap akibat adanya penambangan batu gamping. Namun demikian, data lokasi penambangan dari Dinas Perekonomian Sub Dinas Pertambangan Gunungkidul menunjukkan bahwa ternyata hanya empat desa di Kecamatan Ponjong yang memiliki area penambangan batu gamping. Desa-desa yang memiliki area penambangan batu gamping adalah Desa Bedoyo, Desa Gombang, Desa Karang Asem dan Desa Sidorejo. Berdasarkan luas masing-masing area pertambangan didapat nilai jumlah karbondioksida yang tidak lagi dapat terserap akibat adanya penambangan batu gamping adalah sebesar 2,32 m³/tahun. Angka ini setara dengan 428,56 m³ CaCO₃ (karena konsentrasi CaCO₃ dalam mata air adalah 185 mg/l). Berdasarkan kenyataannya, setiap pelarutan 1000 kg CaCO₃ akan menyebabkan penyerapan 120 kg karbondioksida, maka berarti karbondioksida yang tidak terserap akibat adanya penambangan batu gamping di Kecamatan Ponjong Kabupaten Gunungkidul akan setara dengan 51,43 kg.

Tabel 3. Volume CO₂ yang tidak terserap untuk masing-masing lokasi penambangan batugamping di Kecamatan Ponjong

Nomor	Lokasi pertambangan	Kapasitas penyerapan karbondioksida (m ³ /tahun/km ²)	Luas pertambangan (km ²)	Volume karbondioksida yang tidak terserap (m ³ /tahun)
1	Bedoyo	103.91	0.0134	1.39
2	Gombang	103.91	0.006	0.62
3	Karangasem	101.56	0.002	0.20
4	Sidorejo	97.58	0.001	0.10
Jumlah				2.32

Sumber : analisis data sekunder

Hasil perhitungan jumlah karbondioksida yang tidak dapat diserap akibat adanya penambangan batu gamping menunjukkan bahwa pengaruh terhadap penyerapan karbondioksida tergolong tidak terlalu besar. Hal ini disebabkan karena luas penambangan yang diperhitungkan hanya sempit dan hanya meliputi penambangan yang memiliki ijin saja. Apabila jumlah karbondioksida yang tidak terserap akibat penambangan batu gamping dibandingkan dengan total penyerapan karbondioksida di Kabupaten Gunungkidul yakni sebesar 72.804,16 ton, maka jumlahnya sangatlah sedikit. Selain itu, penelitian ini hanya menghitung kehilangan fungsi penyerapan karbondioksida akibat hilangnya lapisan epikarst. Penelitian ini tidak menghitung besarnya kehilangan karbondioksida akibat hilangnya batuan gamping yang ditambang. Hal ini bukan berarti bahwa penambangan batu gamping tidak menyebabkan kerusakan lingkungan, karena untuk mengetahui dampak penambangan gamping terhadap kawasan karst harus dilakukan pula penelitian yang lain tentang pengaruhnya terhadap

kondisi flora dan fauna, kondisi hidrologi dan sebagainya. Penelitian-penelitian tersebut diharapkan dapat benar-benar menjadi jawaban yang memuaskan bagi semua kalangan tentang dampak penambangan batu gamping terhadap ekosistem kawasan karst.

V. PENUTUP

a. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diimpuln bahwa:

1. Kapasitas penyerapan karbondioksida di kawasan karst Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul adalah sebesar 95,13 m³/tahun/km².
2. Jumlah Karbon dioksida yang tidak dapat terserap lagi akibat terjadinya penambangan batu gamping adalah sebesar 2,32 m³/tahun atau setara dengan 51,43 kg. Perhitungan tersebut hanya mempertimbangkan kehilangan akibat hilangnya epikarst, tidak memperhitungkan akibat dari hilangnya gamping yang ditambang. Selain itu, penelitian ini hanya menghitung dampak dari penambangan yang legal saja.

b. Saran

Saran yang dapat diajukan antara lain :

1. Sosialisasi tentang arti penting dan keunikan kawasan karst bagi penduduk kawasan karst dan masyarakat di luar kawasan karst;
2. Melakukan usaha-usaha pemulihan sumberdaya hayati;
3. Membuat perundang-undangan yang tegas namun tetap memperhatikan asas lestari dan mensejahterakan di tingkat daerah (kabupaten) yang mendukung pengelolaan kawasan karst yang lestari;
4. Pengaturan pemanfaatan ruang berwawasan lingkungan dengan zonasi kawasan karst;
5. Pengendalian erosi dan pemanfaatan lahan yang salah;
6. Inventarisasi dan evaluasi potensi sumberdaya lahan dan air;
7. Pengembangan potensi kawasan karst seperti pengembangan geowisata atau wisata minat khusus; dan
8. Pemberdayaan ekonomi masyarakat kawasan karst.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, Tjahyo Nugroho; Haryono, Eko; dan Woro, Suratman. 1999. Kawasan Karst dan Prospek Pengembangannya. **Makalah dalam Seminar Pertemuan Ilmiah Tahunan Ikatan Geografi Indonesia 1999**. Universitas Indonesia, 26-27 Oktober 1999.
- Cahyadi, Ahmad. 2010. Pengelolaan Kawasan Karst dan Peranannya dalam Siklus Karbon di Indonesia. **Makalah dalam Seminar Nasional Perubahan Iklim di Indonesia**. Sekolah Pasca Sarjana UGM Yogyakarta, 13 Oktober 2010.
- Cahyadi, Ahmad; Nucifera, Fitria; Marfai, Muh Aris; Rahmadana, Aries Dwi Wahyu. 2012. Perencanaan Penggunaan Lahan di Kawasan Karst Berbasis Analisis Kemampuan Lahan dan Pemetaan Kawasan Lindung Sumberdaya Air, Studi Kasus di Kecamatan Ponjong, Kabupaten Gunungkidul, D.I. Yogyakarta. **Makalah dalam Seminar Science, Engineering and Technology (SciETec) 2012**. Program Magister dan doktor Fakultas teknik Universitas Brawijaya Malang, 23-24 Februari 2012.
- Cahyono, Eko W. 2009. Telah Terjadi Dampak Pemanasan Global Terhadap Ekosistem. **Media Dirgantara Vol. 4 : 2 Juni 2009**. Hal: 14-17.
- Haryono, Eko; Woro, Suratman; Srijono; Ahmad, Mufti Latif; Suwarsono; dan Hariyati, Nunik. 2002. Zonasi Kawasan Karst Kabupaten Wonogiri. **Laporan Penelitian**. BAPPEDA Kabupaten Wonogiri dan Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Haryono, Eko dan Adji, Tjahyo Nugroho. 2004. **Pengantar Geomorfologi dan Hidrologi Karst**. Tidak Dipublikasikan. Yogyakarta: Kelompok Studi Karst Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Haryono, Eko. 2004. **Hidup Bersahabat dengan Kawasan Karst**. Yogyakarta: Forum Karst Goenoeng Sewoe.

- Haryono, Eko; Adji, Tjahyo Nugroho; Widyastuti, M; Trijuni, Sutanto. 2009. Atmospheric Carbon Dioxide Sequestration Trough Karst Denudation Process, Preliminary Estimation From Gunung Sewu Karst. **Makalah dalam Achieving Resilient-Agriculture to Climate Change Through the Development of Climate-Based Risk Management Scheme**. Bogor: PERHIMPI.
- Murdiyarso, daniel. 2005. **Sepuluh Tahun Perjalanan Negosiasi Konvensi Perubahan Iklim**, Edisi Kedua. Jakarta: Kompas.
- Seyhan, Ersin. 1990. **Dasar-Dasar Hidrologi**, Terjemahan Sentot Subagyo. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sosrodarsono, Sutono dan Takeda, Kensaku. 2006. **Hidrologi untuk Pengairan**, Edisi Keenam. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Triatmodjo, Bambang. 2009. **Hidrologi Terapan**, Edisi Kedua. Yogyakarta: Beta Offset.
- Zhongcheng, Jiang. 2011. **Atmospheric CO₂ Sink of Karst Processes in China**. Guilin: Institute of Karst Geology, CAGS.