

ANALISIS KUALITAS AIR PADA SUMBER MATA AIR DI KECAMATAN KARANGAN DAN KALIORANG KABUPATEN KUTAI TIMUR

Quality Analisis of Springs in Karangan and Kaliorang Districts, East Kutai

Iin Sumbada Sulistyorini, Muli Edwin, & Adriana Sampe Arung

Forestry of Study Program, High School of Agriculture (STIPER) East Kutai, Sukarno-Hatta Street Number 01, Sangatta, East Kalimantan 75683

ABSTRACT. *The purpose of this study was to determine the water quality based on some parameters of physical, chemical and biological properties of the three springs. One location site in the district of Kaliorang and then two location site in the District of Karangan. Landscape characteristics in the two districts almost equal in the hills with a small incision. Likewise, the third location of water sources is a hilly area of karst (limestone). Karst landscapes not only provide material goods, biodiversity, but also providers of ecosystem services such as clean water, the water regulator and the potential of the upper and lower surfaces such as caves. The results showed that the physical quality of water from the three water sources meet the quality standards required. From the results of laboratory testing, chemical water quality at three locations contain BOD (Biochemical Oxygen Demand) and COD (Chemical Oxygen Demand) is relatively high. The high value of BOD and COD indicated that the water conditions have polluted by the accumulation of organic materials, especially the litter of the forest vegetation. Furthermore, for total coliform and fecal coliform although the amount is below the threshold quality standards required, but its existence in the water indicates the contamination of water sources by sewage as from agricultural run-off, animal feces containing the bacteria, viruses, or disease-causing organisms more. Based on the designated class of water, the springs at the third location is very suitable for use as irrigation, facilities or infrastructure freshwater fish farming, recreation, and other designation that requires the same quality standards. As for the water designation for drinking water must through the processing or specific treatment.*

Keywords : *water; quality; potential; karst*

ABSTRAK. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kualitas air berdasarkan beberapa parameter fisik, kimia dan biologi dari tiga sumber mata air, yaitu satu lokasi di kecamatan Kaliorang dan dua lokasi di Kecamatan Karangan. Karakteristik bentang alam di dua kecamatan hampir sama, yaitu merupakan perbukitan dengan torehan kecil. Begitu juga ketiga lokasi sumber air merupakan kawasan perbukitan Karst (Batu kapur). Bentang lahan Karst bukan hanya menyediakan bahan-bahan material, keanekaragaman hayati, tetapi juga penyedia jasa ekosistem seperti air bersih, pengatur tata air dan potensi atas dan bawah permukaan seperti gua-gua. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas fisik air dari ketiga sumber air memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan. Dari hasil pengujian laboratorium, kualitas kimia air di tiga lokasi memiliki kandungan BOD (*Biochemical Oxygen Demand*) dan COD (*Chemical Oxygen Demand*) yang relatif tinggi. Tingginya nilai BOD dan COD mengindikasikan bahwa air tersebut dalam kondisi tercemar oleh akumulasi bahan organik terutama seresah dari vegetasi hutan di atasnya. Selanjutnya untuk *Total coliform* dan *Fecal coliform* walaupun jumlahnya di bawah ambang batas baku mutu yang dipersyaratkan, namun keberadaannya di dalam air menunjukkan adanya kontaminasi sumber mata air oleh limbah seperti dari

limpasan pertanian, kotoran hewan yang mengandung bakteri, virus, dan atau organisme penyebab penyakit lainnya. Berdasarkan kelas peruntukkan air, sumber air di ketiga lokasi sangat sesuai untuk digunakan sebagai irigasi, sarana atau prasarana budidaya ikan air tawar, rekreasi, dan peruntukkan lainnya yang mempersyaratkan baku mutu yang sama. Sedangkan untuk peruntukkan air sebagai bahan baku air minum terlebih dahulu harus melalui pengolahan atau treatment tertentu.

Kata kunci : air; mutu; potensi; karst

Penulis untuk korespondensi, surel :iin_sumbada@yahoo.co.id; HP: 081347222995

PENDAHULUAN

Hutan memiliki manfaat nyata bagi keberlangsungan hidup organisme baik berupa manfaat *tangible* maupun *intangible*. Secara teoritis, fungsi ekologis hutan berperan penting dalam menjaga kestabilan ekosistem. Salah satu fungsi hutan adalah menjaga tata air yang ada di bumi. Ekosistem hutan yang terdiri dari komponen biotik dan abiotik berpengaruh nyata terhadap siklus hidrologis. Hutan berperan penting dalam mengintersepsi hujan, meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah, mengurangi laju erosi tanah, mengurangi limpasan permukaan, mempertahankan debit air sungai dan meningkatkan kelembapan nisbi tanah. Manan (1976) menyebutkan bahwa hutan memiliki tiga pengaruh penting terhadap karakteristik hidrologis yaitu menahan tanah, dimana tanah hutan menahan air lebih banyak dan meningkatkan kapasitas infiltrasi. Ketersediaan air baik secara kuantitas maupun kualitas berkaitan erat dengan kualitas hutan atau dengan kata lain kualitas dan kuantitas air merupakan salah satu indikator kondisi hutan.

Air memiliki banyak fungsi, sebagai pelarut umum, air digunakan oleh organisme untuk reaksi-reaksi kimia dalam proses metabolisme serta menjadi media transportasi nutrisi dan hasil metabolisme. Bagi manusia, air memiliki peranan yang sangat besar bukan hanya untuk kebutuhan biologisnya, yaitu bertahan hidup. Air tawar diperlukan manusia untuk keperluan masak dan minum, mencuci, mengairi tanaman, untuk keperluan industri dan lain sebagainya sehingga tidak terpungkiri terkadang keterbatasan persediaan air untuk pemenuhan kebutuhan menjadi pemicu timbulnya konflik

sosial di masyarakat (Wiryo, 2013). Tidak dapat dipungkiri bahwa penurunan kualitas air dewasa ini merupakan dampak dari aktivitas manusia yang mengeksploitasi lingkungan secara berlebihan. Pola hidup masyarakat yang kurang memperhatikan aspek lingkungan seperti membuang sampah tidak pada tempatnya, membuang limbah berbahaya, serta alih fungsi kawasan hutan yang dapat meningkatkan potensi erosi dan seringkali menyebabkan sedimentasi pada dasar perairan memberikan dampak negatif baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap lingkungan alami terutama sumber air. Tingginya degradasi dan deforestasi hutan berdampak signifikan terhadap perubahan dan penurunan kualitas air.

Perlindungan dan pelestarian sumberdaya air harus menjadi salah satu prioritas utama manusia. Pemanfaatan air untuk berbagai kebutuhan harus memperhatikan parameter-parameter kualitas air sesuai baku mutu yang sudah ditetapkan. Sumber mata air di lokasi studi telah dimanfaatkan masyarakat sekitar, seperti untuk kebutuhan air bersih serta sebagai sarana rekreasi alami. Penggunaan lahan di Kecamatan Karangan dan Kaliorang sebagian besar untuk kegiatan perkebunan, dan pertanian. Sehingga potensi tercemarnya sumber mata air semakin tinggi dengan semakin tingginya aktivitas manusia di sekitar sumber air tersebut. Menurut Soerjani dkk. (2005), kebutuhan akan air bersih oleh manusia semakin meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk. Kenyataan yang terjadi sekarang ini, kualitas dan kuantitas air semakin menurun serta mengalami penyimpangan tatanan sebagai dampak dari eksploitasi secara berlebihan dan perilaku makhluk hidup terutama aktivitas manusia yang tidak memperhatikan aspek

lingkungan, sehingga tidak mencapai peruntukan dan mutunya bagi berbagai segi kehidupan. Maraknya alih fungsi kawasan hutan (konversi) seperti untuk kegiatan pertambangan, pertanian, perkebunan dan lainnya dewasa ini, berdampak besar pada perubahan kondisi air baik secara kualitas maupun kuantitas (Wiryono, 2013).

Tingkat kualitas air yang dibutuhkan untuk setiap kegiatan tertentu memiliki baku mutu yang berbeda oleh karena itu harus dilakukan pengujian untuk mengetahui kesesuaian kualitas dengan peruntukannya. Dengan dasar pemikiran ini, maka perlu dilakukan analisa kualitas air dengan berdasarkan beberapa parameter yaitu parameter fisika, kimia dan biologi. Hasil dari analisis parameter ini akan dibandingkan dan disesuaikan dengan baku mutu yang sudah ditentukan. Berdasarkan uraian di atas, maka tujuan penelitian ini adalah, untuk mengetahui beberapa parameter kualitas air secara fisik, kimia dan biologi dari tiga lokasi sumber mata air di lokasi studi, dan membandingkan hasil pengujian kualitas air dari tiga sumber mata air dengan baku mutu yang mengacu pada Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur nomor 02 Tahun 2011 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Kutai Timur khususnya sumber mata air di Desa Karangan Hilir, dan Desa Batu Lepoq Kecamatan Karangan serta sumber mata air di Desa Bukit Harapan Kecamatan Kaliorang. Penelitian dilakukan selama kurang lebih 3 bulan Tahun 2015, dan analisis sampel air dilakukan di Laboratorium Analisis Terpadu FPIK Universitas. Prosedur dalam penelitian ini secara umum terdiri dari studi kepustakaan, orientasi lapangan dan pengambilan sampel air. Sampel air yang diambil disesuaikan dengan kebutuhan, untuk masing-masing lokasi diambil 3 botol (± 1800 ml) dengan diberi perlakuan tertentu agar suhu konstan tetap terjaga bertujuan untuk mempertahankan dan mengawetkan sifat fisik, kimia dan biologi sampel air tersebut.

Metode dalam penelitian ini adalah metode survey langsung dan analisis laboratorium. Lokasi

survey sumber mata air ditentukan secara sengaja. Penelitian ini bersifat deskriptif kuantitatif, yaitu menggambarkan hasil perbandingan data kualitas air hasil uji laboratorium dengan baku mutu yang berlaku dan mendeskripsikan hasil penelitian berdasarkan kajian kepustakaan. Parameter kualitas air yang akan diuji dan metode analisisnya dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Parameter Kualitas Air dan Metode Analisis

No	Parameter	Metode analisis
1	Warna	Metode visual (langsung)
2	Ph	Metode electrometric (pengukuran pH dilakukan menggunakan pH meter)
3	COD	Metode titration
4	BOD	Metode electrometric dengan digital instrumental
5	Amonia	Metode reaksi <i>Diazotasi – Spectrofotometri</i>
6	Kesadahan (CaCO ₃)	Metode titrasi EDTA- <i>spectrofotometric</i>
7	Sulfat (SO ₄)	Metode turbidimeter
8	Nitrit	Metode reaksi <i>Diazotasi – Spectrofotometri</i>
9	Coliform	metoda tabung/ <i>Most Probable Number</i> (MPN)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desa Karangan Hilir merupakan salah satu desa yang ada di Kecamatan Karangan Kabupaten Kutai Timur yang dapat ditempuh sekitar kurang lebih 7 jam dari ibukota kabupaten (Sangatta). Sumber air dingin di Desa Karangan Hilir dapat dicapai dengan menempuh perjalanan selama kurang lebih 30 menit dari pusat pemukiman padat penduduk dengan menggunakan transportasi darat. Desa Karangan Hilir terletak pada daerah dengan keadaan topografi yang bervariasi mulai dari daerah dataran, lereng bergelombang, sampai pegunungan kapur (karst). Pada umumnya tanah yang ada di Kecamatan Karangan Hilir adalah jenis tanah alluvial dan batu endapan tanah liat dan pasir dengan pH 4,5-6,5. Selain alluvial, juga terdapat berupa tanah lempung berpasir yang biasanya terdapat di sekitar daerah aliran sungai dengan pH 4,5-6 serta tanah podsolik merah kuning yang biasanya terdapat pada daerah

bergelombang atau berbukit dengan topografi $\geq 15^\circ$ dan kisaran pH antara 4,5-5,5 (Dendang, 2013).

Potensi di sektor kehutanan, Desa Karang Hilir, yaitu memiliki hutan alam yang masih relatif luas, terdiri atas kawasan lindung karst, hutan produksi (HPH) dan hutan non-produksi. Hutan alami didominasi oleh famili *Dipterocarpaceae* seperti beberapa jenis meranti (*Shorea* sp.), keruing (*Dipterocarpus* sp.), kapur (*Balanocarpus* sp.) dan lain sebagainya. Sektor perkebunan, masyarakat Desa Karang Hilir mengembangkan beberapa jenis tanaman perkebunan antara lain : kelapa sawit (*Elaeis guinensis*), karet (*Hevea brucei*), kopi (*Coffea arabica*), lada (*Piper nigrum*) dan lainnya. Untuk sektor pertanian, yang dikembangkan masyarakat desa Karang Hilir dapat dikelompokkan menjadi tanaman pangan yang terdiri dari tanaman padi, jagung, umbi-umbian, sagu dan kedelai ; tanaman sayur-sayuran yang terdiri dari : kacang-kacangan, bayam, sawi, kangkung, terong, labu, cabe dan lainnya; serta tanaman buah-buahan yang terdiri dari : pisang, pepaya, belimbing, salak dan lainnya.

Desa Batu Lepoq di Kecamatan Karang berada di dataran rendah pada ketinggian ± 71 meter dari permukaan laut dengan keadaan topografi yang cukup datar/ landai. Letak sumber air panas lokasi penelitian berada di bekas kawasan HPH PT. Hartati (RPJMDes Batu Lepok Tahun 2012) dimana jenis vegetasi yang ada di sekitar mata air didominasi oleh jenis jati (*Tectona grandis* Linn.) dan beberapa tanaman kehutanan lainnya. Perekonomian masyarakat Desa Batu Lepoq sangat tergantung pada alam, beberapa kegiatan yang menjadi prioritas umum masyarakat (Anonimus, 2013) diantaranya: **Pertama:** Pertanian, kearifan lokal masyarakat desa Batu Lepoq dalam aktivitas pertanian dilakukan dengan ladang berpindah. Tanaman pertanian yang dikembangkan di Desa Batu Lepoq diprioritaskan pada tanaman pangan misalnya padi, jagung ubi dan lain sebagainya. Selain tanaman pangan, masyarakat juga mengembangkan tanaman sayuran dan buah-buahan seperti bayam, kacang-kacangan, cabe, pepaya, pisang dan lainnya. **Kedua,** Perkebunan, di bidang perkebunan masyarakat mengembangkan tanaman kelapa sawit, kakao, kopi, dan kelapa kopra. **Ketiga,** Kehutanan, kehidupan

masyarakat Desa Batu Lepoq sangat mengandalkan hasil hutan baik berupa kayu maupun hasil hutan non-kayu. Hasil hutan berupa kayu yang menjadi komoditi dari Batu Lepoq antara lain jenis meranti (*Shorea* sp.), ulin (*Eusideroxylon zwageri*), dan bangkirai, sedangkan hasil hutan non-kayu yang banyak dimanfaatkan masyarakat antara lain madu, rotan, sarang burung walet, kayu ramuan, kulit kayu, kulit terantang dan damar. Besarnya potensi hutan di Desa Batu Lepoq menyebabkan *illegal logging* marak terjadi. **Keempat:** Peternakan, hewan ternak yang menjadi peliharaan masyarakat di sana antara lain : kambing, sapi, ayam dan unggas. Selain kegiatan peternakan, masyarakat desa batu lepoq juga masih sangat tergantung pada hasil buruan binatang hutan seperti rusa, ayam hutan, landak, pelanduk dan lembu hutan.

Salah satu mata air lokasi studi yang ada di Desa Bukit Harapan Kecamatan Kaliorang dimanfaatkan oleh masyarakat untuk berbagai rutinitas terutama sebagai sumber air minum. Lokasi tempat mata air berada di kawasan budidaya kehutanan yang telah banyak mengalami perambahan. Sekitar 300 meter dari titik mata air terdapat jalan besar yang digunakan untuk mengangkut batu bara dan hasil perkebunan termasuk kelapa sawit. Aktivitas pertanian terpadu yang dikembangkan dan menjadi kegiatan prioritas masyarakat Desa Bukit Harapan antara lain: Pertanian, masyarakat Desa Bukit Harapan mengembangkan tanaman pertanian yang seperti tanaman pangan seperti padi, jagung ubi dan lain sebagainya. Selain tanaman pangan, masyarakat juga mengembangkan tanaman sayuran seperti bayam dan kacang-kacangan serta tanaman buah-buahan seperti cabe, pepaya, pisang dan lainnya. Perkebunan, tanaman perkebunan yang menjadi tanaman andalan masyarakat Desa Bukit Harapan adalah kelapa sawit. Kehutanan, Desa Bukit Harapan memiliki kawasan budidaya kehutanan yang sudah mulai mengalami degradasi. Kawasan hutan di desa tersebut dialihfungsikan (konversi) ke areal penggunaan lain seperti menjadi areal perkebunan dan lahan pertanian. Peternakan, hewan ternak yang menjadi peliharaan masyarakat Desa Bukit Harapan antara lain: kambing, sapi, ayam dan unggas (Anonimus, 2013).

Kualitas Air

Kualitas air sangat menentukan kesehatan manusia. Menurut laporan United Nation Enviromental Program (UNEP), setiap tahun jumlah balita yang meninggal karena penyakit yang berkaitan dengan buruknya kualitas air mencapai 1,8 juta jiwa (*The Jakarta Post*, 24 Maret 2010). Negara-negara di dunia menerapkan baku mutu yang tinggi untuk air minum sehingga airnya aman untuk dikonsumsi, akan tetapi tidak semua negara dapat menerapkan baku mutu dengan baik terutama negara yang berkembang sehingga kualitas air minumnya masih sangat buruk (Wiryono, 2013).

Di sebagian negara-negara berkembang sungai dijadikan tempat pembuangan sampah, kotoran manusia sekaligus dijadikan tempat untuk mandi, mencuci pakaian bahkan mencuci peralatan memasak. Pemanfaatan air untuk kegiatan seperti di atas dapat menimbulkan penyakit. Secara global, air yang tercemar mikroorganisme patogen merupakan penyebab terbesar terjadinya penyakit manusia. Organisme pencemar air dikelompokkan menjadi tiga, yaitu bakteri, virus dan parasit, dimana organisme-organisme tersebut dapat menyebabkan penyakit tipus, disentri, radang usus, kolera, polio, hepatitis dan masih banyak lagi (Hill, 2010).

Air pada sumber air yang berada dalam dua atau lebih wilayah kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Timur menurut peruntukannya dibagi menjadi 4 (empat) kelas. Tingkatan mutu air dari setiap kelas disusun berdasarkan kemungkinan kegunaannya

bagi suatu peruntukan air (*designated beneficial water uses*). Pembagian kelas air berdasarkan peruntukannya (Perda Kaltim no. 02 Tahun 2011 tentang PKA dan PPA) meliputi:

- Kelas I (satu), air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- Kelas II (dua), air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- Kelas III (tiga), air yang peruntukannya digunakan untuk pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanaman dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
- Kelas IV (empat), air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanaman dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Berdasarkan hasil ujikualitas air yang telah dilakukan dari tiga lokasi sumber mata air, yaitu mata air desa Bukit Harapan di Kaliorang, sumber air dingin desa Karangan Hilir dan sumber air panas desa Batu Lepoq di Kecamatan Karangan dapat dikatakan dalam katagori kurang baik terlihat dari BOD, COD, dan total coliform yang relatif tinggi.

Tabel 2. Hasil Uji Laboratorium Kualitas Air dari Tiga Lokasi

Parameter	Satuan	Lokasi		
		Kaliorang	Karangan	
			Air dingin	Air panas
Kimia				
a. pH	Mg/l	6.94	7.09	8.26
b. Amoniak (NH ₃ -N)	Mg/l	<0.01	0.22	0.08
c. Nitrit (NO ₂ -N)	Mg/l	<0.01	<0.01	<0.01
d. BOD ₅	Mg/l	11,55	17.70	13.85
e. COD	Mg/l	190.00	170.70	180.00
f. Alkalinitas (CaCO ₃)	Mg/l	15.06	15.06	14.15
g. Sulfat (SO ₄)	Mg/l	32.17	25.00	26.95
Biologi				
a. Total Coliform	Ind/L	40.00	40.00	90.00
b. Coli Fekal	Ind/L	0	40.00	0

Sumber air di lokasi studi merupakan sumber air dari kawasan perbukitan karst (batu kapur) dimana sumber mata air dari tiga lokasi tersebut berasal dari akuifer (lapisan batuan di bawah permukaan tanah yang mengandung air dan dapat dirembesi air) batuan karst. Bentang lahan karst memiliki peran yang sangat penting bagi lingkungan dimana lahan karst menyediakan jasa ekosistem seperti air bersih, bahan-bahan material, dan menjadi agen pengendali perubahan iklim (Brinkman dan Jo Garren, 2011). Terganggunya ekosistem karst dapat mempengaruhi kualitas air dari sumber mata air yang dihasilkan. Untuk ketiga lokasi studi sudah terdapat berbagai aktivitas pemanfaatan lahan baik di sektor pertambangan, perkebunan dan pertanian masyarakat.

Kawasan karst memiliki fungsi ekosistem yang serupa dengan hutan rimba, yaitu sebagai pengatur tata air khususnya air bawah tanah dan penyimpan potensi karbon. Aliran air yang tersimpan di bukit karst dikeluarkan perlahan-lahan baik sebagai mata air maupun sungai bawah tanah. Air yang berada di permukaan karst meresap masuk ke dalam kawasan karst dan kemudian tertampung lalu mengalir dan membentuk sebuah aliran sungai. Aliran itu disebut *percolation water* atau aliran *autochthonous* (Haryono dkk, 2000). Air perkolasi pada umumnya banyak mengandung CaCO_3 , karena air perkolasi meresap dan merembes secara perlahan ke dalam gua sehingga mineral pada batu gamping yang didominasi oleh *Cal site* (CaCO_3) lebih banyak terbawa. Air perkolasi memiliki aliran jernih karena pada proses perembesan air tersaring pada pori-pori batu gamping (*Lime Stone*). Perjalanan air hingga ke sistem sungai bawah tanah atau mata air menurut Gunn (1981) melewati paling tidak enam jalan yaitu aliran permukaan, *troughflow*, aliran dekat permukaan (*subcutaneous flow*), aliran luweng (*shaft flow*), aliran vados dan rembesan vados (*vadose seepage*). Selain mengandung banyak mineral dan aliran yang jernih, air perkolasi

juga memiliki fluktuasi suhu yang konstan sepanjang hari bahkan sepanjang tahun.

Di samping sumber daya air, kawasan karst memiliki berbagai sumber daya yang sangat potensial untuk dikembangkan seperti sumber daya lahan, sumber daya hayati, dan potensi bentang lahan baik permukaan ataupun bawah permukaan (Suryatmojo, 2006). Namun sangat disayangkan, kawasan karst sering terkesan hanya sebagai lahan gersang dan berbatu, sehingga penambangan batu gamping di kawasan karst seolah menjadi primadona sektor usaha, tanpa menghiraukan fungsi yang lain terutama fungsi hidrologis (Haryono dkk, 2000). Salah satu hal yang paling dikhawatirkan adalah lokasi penambangan pada posisi yang tidak tepat, seperti dilakukan tepat atau dekat dengan sumber air. Hal ini akan memicu pencemaran jika penambangan bukit karst memotong *vertical cavities* atau lorong vertikal sebagai penghubung zona permukaan dan sungai bawah tanah. Dengan kata lain, jika aktivitas penambangan menemukan "luweng" atau lorong vertikal saat menambang, maka tidak akan ada lagi *filter* atau saringan yang dapat menahan berbagai macam polutan dari permukaan (limbah, pupuk, sampah, dan lain-lain) untuk sampai ke sungai bawah tanah, karena zona epikarst di atasnya sudah habis ditambang (Adji, 2006).

Parameter Kimia

Dari beberapa indikator parameter kimia yang diuji dapat diketahui bahwa kualitas air yang berasal dari tiga lokasi sumber air memiliki kondisi yang kurang baik dengan beberapa parameter memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan kecuali BOD dan COD. Sumber air dingin yang berada di desa Karang Hilir selain dimanfaatkan untuk kegiatan rekreasi air juga dimanfaatkan untuk mengairi tanaman pertanian dan perkebunan masyarakat sekitar.

Tabel 3. Baku Mutu Parameter Kimia terhadap Kualitas Air Dingin Desa Karangan Hilir dan Air Panas Desa Batu Lepoq

Parameter kimia	Satuan	Baku mutu berdasarkan kelas				Air dingin	Air panas	Keterangan
		I	II	III	IV			
Ph		6-9	6-9	6-9	5-9	7.09	8.26	Sesuai
Amoniak (NH ₃ -N)	Mg/l	0,5	-	-	-	0.22	0.08	Sesuai
Nitrit (NO ₂ -N)	Mg/l	0,6	0,6	0,6	-	<0.01	<0.01	Sesuai
BOD ₅	Mg/l	2	3	6	12	17.70	13.85	T. sesuai
COD	Mg/l	10	25	50	100	170.70	180.00	T. sesuai
Alkalinitas (CaCO ₃)	Mg/l	50	50	75	100	15.06	14.15	Sesuai
Sulfat (SO ₄)	Mg/l	400	-	-	-	25.00	26.95	Sesuai

Keterangan: sesuai atau tidak sesuai dengan baku mutu yang disyaratkan

Berdasarkan hasil laboratorium nilai BOD dan COD di kedua sumber air di desa Karangan Hilir dan desa Batu Lepoq melebihi ambang batas atau tidak memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan untuk semua kelas peruntukkan air. Untuk kualitas sumber mata air Desa Bukit Harapan Kaliorang

sebagian besar memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan untuk semua kelas peruntukkan air, kemudian BOD hanya memenuhi persyaratan untuk kelas peruntukkan IV, sedangkan COD melebihi semua ambang batas nilai baku mutu yang telah ditetapkan.

Tabel 4. Baku Mutu Parameter Kimia terhadap Kualitas Air Dingin Desa Bukit Harapan

Parameter kimia	Satuan	Baku mutu berdasarkan kelas				kaliorang	Keterangan
		I	II	III	IV		
pH		6-9	6-9	6-9	5-9	6.94	Sesuai
Amoniak (NH ₃ -N)	Mg/l	0,5	-	-	-	<0.01	Sesuai
Nitrit (NO ₂ -N)	Mg/l	0,6	0,6	0,6	-	<0.01	Sesuai
BOD ₅	Mg/l	2	3	6	12	11,55	Kelas IV
COD	Mg/l	10	25	50	100	190.00	T. sesuai
Alkalinitas (CaCO ₃)	Mg/l	50	50	75	100	15.06	Sesuai
Sulfat (SO ₄)	Mg/l	400	-	-	-	32.17	Sesuai

Potensial of Hydrogen (pH)

Nilai pH air yang bersumber dari tiga lokasi, yaitu mata air dari Kecamatan Kaliorang, sumber mata air dingin serta sumber mata air panas di Kecamatan Karangan masing-masing adalah 6.94 mg/L; 7.09 mg/L dan 8.26 mg/L. Nilai pH tersebut mengindikasikan bahwa ion H⁺ dan ion OH⁻ yang terdapat dalam air yang berasal dari mata air. Di Kecamatan Kaliorang dan sumber mata air dingin di Kecamatan Karangan masih dalam jumlah yang berimbang sehingga bersifat netral, sedangkan berdasarkan skala nilai pH, air yang berasal dari sumber mata air panas di Kecamatan Karangan bersifat alkalis (basa) yang diindikasikan dengan nilai pH yang tinggi (>7,9).

Berdasarkan baku mutu dan kelas peruntukannya yang diatur dalam Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur, kualitas air dengan kisaran nilai pH 6,94 mg/l- 8,26 mg/l dari ketiga lokasi diatas sesuai dan dapat digunakan untuk semua kelas peruntukkan (I-IV), dimana air tersebut dapat dimanfaatkan untuk air minum, sarana dan prasarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, irigasi, dan/atau peruntukkan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Amonia (NH₃-N)

Kandungan amonia yang terdapat dalam air yang berasal dari tiga sumber air relatif rendah

yaitu sebesar >0.01 mg/L untuk air yang berasal dari mata air Kaliorang, sedangkan untuk air yang berasal dari sumber air dingin dan sumber air panas di Kecamatan Karangan memiliki kandungan amonia masing-masing sebesar 0.22 mg/L dan 0.08 mg/L. Menurut Weich (1952) pada air dengan kandungan oksigen terlarut tinggi, kandungan amonia relatif kecil sehingga amonia bertambah seiring bertambahnya kedalaman. Kondisi mata air yang cukup dangkal (tidak terlalu dalam) serta biota air dalam jumlah yang sedikit merupakan faktor penyebab rendahnya kandungan amonia yang terkandung dalam air yang berasal dari mata air di Kecamatan Kaliorang. Berbeda dengan kondisi sumber air di Kecamatan Kaliorang, sumber air dingin dan sumber air panas yang ada di Kecamatan Karangan memiliki kedalaman yang cukup tinggi. Selain kedalaman, pada kedua sumber air tersebut dapat dijumpai keberadaan biota air (ikan) dalam jumlah yang cukup banyak dan juga terdapat bahan organik seperti seresah. Ekresi amonia dari biota air serta dekomposisi bahan organik (amonifikasi) menyebabkan jumlah kandungan amonia yang terdapat dalam air dari dua sumber tersebut relatif banyak.

Dari tabel 4. dapat dilihat bahwa kandungan amonia dalam air dari tiga lokasi di atas kurang dari 0.5 mg/l (batas maksimum yang dipersyaratkan peraturan daerah). Hal ini berarti bahwa pH air dari tiga lokasi tersebut dapat dimanfaatkan pada kelas peruntukan I yaitu sebagai sumber air minum, sedangkan untuk kelas peruntukan II-IV kandungan amonia tidak dipersyaratkan oleh baku mutu.

Nitrit ($\text{NO}_2\text{-N}$)

Nitrit yang terkandung dalam air yang berasal dari tiga lokasi mata air cukup rendah. Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa kandungan nitrit dalam air yang berasal dari 3 lokasi terdapat dalam jumlah yang sama yaitu >0.01 mg/L. Hal ini mengindikasikan bahwa ketiga sumber air tersebut masih aman dan belum terkontaminasi oleh limbah industri maupun limbah domestik serta penggunaan pupuk nitrogen dalam kegiatan pertanian masyarakat di sekitar

sumber air masih terkontrol dengan baik.

Berdasarkan baku mutu dan kelas peruntukannya yang diatur dalam Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur, kualitas air dengan kandungan nitrit (NO_2) <0.01 mg/l sesuai dan dapat digunakan untuk semua kelas peruntukan (Kelas I-kelas IV), dimana air tersebut dapat dimanfaatkan untuk air minum, sarana dan prasarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, irigasi, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

BOD dan COD

Menurut Herlambang (2006), Indikator adanya zat organik dalam air limbah dapat diperoleh dengan cara mengukur jumlah kebutuhan oksigen yang diperlukan untuk menstabilkannya. Kebutuhan oksigen tersebut dapat dinyatakan dengan parameter BOD dan COD. Kadar BOD yang terdapat dalam air dari ketiga lokasi yaitu mata air di Kecamatan Kaliorang, sumber air dingin dan juga sumber air panas di Kecamatan Karangan adalah masing-masing sebesar 11.55 mg/L, 17.70 mg/L dan 13.85 mg/L. Kadar BOD dalam air dari ketiga lokasi tersebut cukup tinggi, hal ini mengindikasikan bahwa air dari ketiga lokasi tersebut telah tercemar dengan bahan organik seperti tumbuhan atau hewan yang sudah mengalami pembusukan, sehingga organisme air membutuhkan oksigen dalam jumlah yang cukup banyak untuk mendegradasi bahan buangan organik yang ada dalam air. Selain memiliki kadar BOD_5 yang cukup tinggi, air dari ketiga lokasi tersebut juga memiliki kadar COD yang sangat tinggi yaitu masing-masing sebesar 190 mg/L, 170 mg/L dan 180 mg/L. Nilai ini mengindikasikan bahwa sumber air dari tiga lokasi tersebut telah tercemar oleh bahan organik seperti tumbuhan (seresah) maupun hewan yang telah mati dan terdekomposisi (terurai), sehingga dibutuhkan oksigen yang sangat banyak untuk dapat mengoksidasi bahan buangan organik yang ada dalam air melalui reaksi kimia.

Berdasarkan baku mutu dan kelas peruntukan, tingginya kadar BOD air tersebut tidak dapat dimanfaatkan atau digunakan untuk semua kelas

peruntukkan air, kecuali air yang berasal dari Kecamatan Kaliorang dapat digunakan untuk mengairi tanaman dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Tingginya kadar COD air yang berasal dari tiga lokasi tersebut menandakan bahwa air tersebut tidak dapat dimanfaatkan untuk semua kelas peruntukan (kelas I- kelas IV) sesuai dengan baku mutu yang telah diatur dalam Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur no.02 tahun 2011 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.

Alkalinitas (CaCO_3)

Nilai alkalinitas air yang berasal dari mata air di Kaliorang, sumber air dingin serta sumber air panas di Karangan adalah masing-masing sebesar 15,06 mg/L, 15.06 mg/L dan 14,15 mg/L dan tergolong ke dalam klasifikasi perairan yang lunak (Peavy, 1985). Pada umumnya alkalinitas disebabkan oleh bikarbonat yang berasal dari larutnya batu kapur dalam air tanah. Alkalinitas sangat berguna dalam air maupun air limbah, karena dapat memberikan buffer untuk menahan perubahan pH (Herlambang). Nilai alkalinitas yang rendah mengindikasikan bahwa kandungan kalsium dan magnesium masih berimbang dengan ion logam bervalensi dua lainnya.

Berdasarkan baku mutu yang diatur dalam Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur no.02 tahun 2011, nilai alkalinitas air dibawah angka 50 mg/l (batas maksimum) sesuai dan dapat digunakan untuk semua kelas peruntukkan air yaitu antara lain dapat digunakan sebagai air minum, sarana dan prasarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, irigasi, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut.

Sulfat

Jumlah ion sulfat yang berlebih dalam air minum menyebabkan terjadinya efek cuci perut pada manusia. Selain itu, Kehadiran sulfat dapat menimbulkan masalah bau dan korosi pada pipa

air buangan akibat reduksi SO_4^{2-} menjadi S^{2-} dalam kondisi anaerob dan bersama ion H^+ membentuk H_2S . Dari hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium kandungan sulfat (SO_4) dalam air yang berasal dari tiga lokasi tersebut masih pada batas normal/ tidak melebihi ambang batas yang telah ditetapkan. Dibandingkan dengan baku mutu yang dipersyaratkan oleh lembaga-lembaga yang berkaitan dengan kualitas air, kandungan sulfat dengan kadar nilai sebesar 32.17 mg/L, 25.00 mg/L dan 26.95 mg/L masih relatif rendah sehingga pengelolaan dan pemanfaatan air untuk berbagai rutinitas masih memungkinkan untuk dilakukan.

Kandungan sulfat yang tidak melebihi ambang batas (400mg/l) mengindikasikan bahwa air yang berasal dari tiga lokasi tersebut dalam kondisi yang baik dan dapat dimanfaatkan untuk kelas peruntukan I yaitu sebagai air baku untuk air minum, dan/atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut. Sedangkan pemanfaatan air untuk kelas peruntukkan II, kelas peruntukkan III dan kelas peruntukkan IV tidak dipersyaratkan.

Parameter Biologi

Pengujian kualitas air dengan parameter biologi menggunakan dua indikator yaitu kandungan bakteri *Coliform total* dan bakteri *Fecal coliform*. Bakteri coliform dapat bersumber dari limbah, limpasan pertanian, kontaminasi dengan tinja dan lainnya. Secara umum dari segi biologi air yang berasal dari tiga lokasi tersebut dalam kondisi tercemar dimana dari hasil uji laboratorium ditemukan adanya bakteri total coliform dan coliform fecal dalam sampel. Air dingin yang ada di Karangan Hilir secara biologi dalam kondisi tercemar dimana dari hasil pengujian di laboratorium ditemukan adanya bakteri *Coliform total* dan *coliform fecal* yang masing-masing sekitar 40 individu/ 100 ml air. Berdasarkan baku mutu air, jumlah bakteri dalam air dingin tersebut tidak melebihi ambang batas yang dipersyaratkan sehingga masih dapat dimanfaatkan terutama untuk kelas peruntukan II, III dan IV.

Tabel 5. Baku Mutu Parameter Biologi terhadap Kualitas Air Dingin dan Air Panas di Karang

Parameter biologi	Satuan	Baku mutu berdasarkan kelas				Air dingin	Air panas	Ket.
		I	II	III	IV			
Total Coliform	Ind/ml	1.000	5.000	10.000	10.000	40.00	90,00	Sesuai
Coli Fekal	Ind/ml	100	1.000	2.000	2.000	40.00	0	Sesuai

Dari hasil pengujian, air panas yang ada di Batu Lepoq dalam kondisi tercemar oleh bakteri *total coliform*. Meskipun ditemukan adanya bakteri total coliform yang cukup banyak, namun sesuai dengan baku mutu jumlahnya belum melebihi ambang batas yang dipersyaratkan. Selanjutnya, hasil pengujian air yang berasal dari mata air di Kaliorang dalam kondisi

tercemar oleh bakteri *total coliform*, sedangkan untuk bakteri *fecal coliform* tidak ditemukan dalam air yang diuji. Kandungan bakteri total coliform dalam air yang berasal dari Kaliorang tidak melebihi ambang batas yang dipersyaratkan sehingga air tersebut sesuai dan layak untuk dimanfaatkan pada semua kelas peruntukkan air.

Tabel 6. Baku Mutu Parameter Biologi terhadap Kualitas Air di Sumber Air Kaliorang

Parameter biologi	Satuan	Baku mutu berdasarkan kelas				Kaliorang	Keterangan
		I	II	III	IV		
Total Coliform	Ind/ml	1000	5000	10000	10000	40.00	Sesuai
Coli Fekal	Ind/ml	100	1000	2000	2000	0	Sesuai

Coliform Total

Bakteri *coliform total* merupakan jenis bakteri coliform yang bersumber dari pencemaran lingkungan oleh bahan organik. Total coliform merupakan indikator bakteri pertama yang digunakan untuk menentukan aman tidaknya air untuk dikonsumsi. Dari hasil pengujian di laboratorium, sampel air yang berasal dari Kecamatan Kaliorang dan sumber air dingin di Kecamatan Karang jumlah total coliform yang terkandung dalam 100 ml air adalah masing-masing 40 individu sedangkan sampel air yang berasal dari sumber air panas di Karang mengandung total coliform sebanyak 90 individu/ 100 ml air. Banyaknya bakteri total coliform dalam sampel air yang berasal dari sumber air panas di Karang diakibatkan oleh kondisi lingkungan dimana jarak tempat pengambilan sampel kurang lebih 1 km dari sumber mata air, sehingga dengan jarak yang cukup jauh tersebut, kemungkinan air banyak terkontaminasi dengan bahan organik. Kandungan total coliform yang cukup banyak mengindikasikan adanya bakteri patogenik seperti *Giardia* dan *Cryptosporidium* terkandung di dalam air tersebut (Chiras dan Reganold, (2005). Bakteri patogen tersebut dapat menyebabkan berbagai macam penyakit, seperti disentri, kolera,

penyakit saluran pencernaan, tifus, hepatitis, polio dan lain sebagainya. Menurut Kepmenkes RI kadar maksimum total coliform yang diperbolehkan dalam air minum adalah 0 mpn/100ml, yang artinya bahwa keberadaan bakteri ini di dalam air minum benar-benar tidak diperkenankan. Apabila dibandingkan dengan baku mutu kualitas air yang diatur dalam Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur no.02 Tahun 2011, air dari tiga lokasi tersebut tidak melebihi ambang batas yang telah ditetapkan sehingga air tersebut dapat dimanfaatkan untuk semua kelas peruntukkan air.

Coliform Fekal

Coliform fekal merupakan bakteri coliform yang berasal dari tinja manusia dan atau hewan berdarah panas dimana secara normal bakteri coli fekal hanya ditemukan di dalam saluran pencernaan manusia dan hewan mamalia atau juga dapat ditemukan pada bahan yang telah terkontaminasi dengan tinja. Apabila dalam air ditemukan bakteri coliform fekal, maka air tersebut dianggap berbahaya bagi penggunaan domestik, selain itu keberadaan bakteri ini juga mengindikasikan adanya bakteri patogen lainnya dalam air tersebut (Wiryo, 2012).

Dari hasil pengujian yang dilakukan di laboratorium bakteri coliform fekal hanya ditemukan di dalam sampel air yang berasal dari sumber air dingin di Karangan, yaitu sebanyak ± 40 individu per 100 ml air. Pada sampel air yang berasal dari Kaliorang dan sumber air panas di Karangan tidak ditemukan adanya bakteri coliform fekal, sehingga dapat disimpulkan bahwa air tersebut dalam kondisi baik (tidak tercemar) serta tidak terkontaminasi dengan tinja manusia maupun hewan berdarah panas seperti ternak. Berdasarkan baku mutu, air yang berasal dari tiga lokasi tersebut tidak melebihi ambang batas yang dipersyaratkan sehingga dapat dimanfaatkan untuk semua kelas peruntukkan air.

Parameter Fisika

Dari hasil pengamatan secara visual, kualitas fisik air yang berasal dari tiga lokasi relatif baik. Beberapa indikator yang dijadikan parameter kualitas air meliputi warna, rasa dan bau. Warna air sangat dikaitkan dengan nilai estetika terutama untuk beberapa peruntukkan. Namun sangat penting untuk dapat membedakan antara air yang mempunyai warna asli akibat material terlarut dan warna semu akibat zat-zat yang tersuspensi. Warna kuning alami pada air yang berasal dari daerah pegunungan adalah berasal dari asam organik yang tidak berbahaya bagi kesehatan, dan warna ini bisa disamakan dengan warna asam tanik yang terdapat dalam air teh (Herlambang, 2006). Dari hasil pengamatan dengan metode visual warna air yang berasal dari ketiga lokasi tersebut sangat jernih sehingga memungkinkan untuk dimanfaatkan bagi semua kelas peruntukkan air baik untuk air minum, irigasi, wisata maupun kegiatan lainnya.

Rasa dan bau pada air diakibatkan oleh material-material terlarut, yang dapat berupa zat organik seperti phenol dan khlorophenol. Bau dan rasa merupakan sifat air yang sangat subyektif, karena itu sulit diukur, tetapi bisa diidentifikasi seperti bau busuk, bau gas, rasa pahit, dan rasa masam (Herlambang, 2006). Air yang berasal dari

ketiga lokasi penelitian tidak memiliki rasa (tawar) dan tidak berbau sehingga berdasarkan peraturan daerah air tersebut memenuhi syarat pemanfaatan untuk semua kelas peruntukkan air.

Upaya Perlindungan terhadap Sumber Air

Mengingat besarnya peranan air terhadap ekosistem terutama kelangsungan hidup organisme, maka perlindungan terhadap sumber air sangat penting dilakukan untuk menanggulangi dan meminimalisir pencemaran yang dapat memberikan dampak besar terhadap kerusakan lingkungan serta terutama untuk mempertahankan kuantitas dan kualitas sumberdaya air. Beberapa upaya perlindungan yang bisa diterapkan antara lain:

1. Melakukan tindakan konservasi dengan teknik vegetatif. Kegiatan ini berupa penanaman tumbuhan/tanaman (seperti jenis legum dan bambu) yang dapat menjaga dan mempertahankan kualitas dan tatanan air di sekitar sumber air.
2. Tidak melakukan kegiatan pertanian, perkebunan, peternakan atau kegiatan lainnya yang dapat berdampak terhadap penurunan kualitas air di sekitar sumber air.
3. Mengurangi penggunaan pupuk kimiawi yang banyak mengandung unsur nitrogen, fosfor, kalium dan lainnya. Pupuk kimiawi yang digunakan dalam jumlah yang banyak tidak semuanya dapat diserap oleh tanaman. Residu pupuk akan larut dalam air sehingga terjadi pencemaran.
4. Pemanfaatan dan pengelolaan sumberdaya air harus dilakukan dengan bijak dengan memperhatikan kepentingan generasi sekarang dan generasi yang akan datang.
5. Perlu adanya peraturan atau kebijakan pemerintah yang relevan dengan sumberdaya air yaitu misalnya penentuan dan penetapan lokasi serta batas sumber air (mata air, sungai, danau, dan lainnya) untuk meminimalisir kerusakan dan pencemaran sumber air.

SIMPULAN DAN SARAN

SIMPULAN

Secara fisik dengan indikator warna, bau dan rasa air yang berasal dari tiga lokasi, yaitu mata air desa Bukit Harapan di Kaliorang, sumber air dingin Karangan Hilir dan sumber air panas Batu Lepoq di Kecamatan Karangan memiliki kualitas yang baik sehingga memenuhi syarat pemanfaatan terutama untuk kelas peruntukkan air, yaitu kelas II, III dan IV.

Secara kimiawi kualitas air relatif baik berdasarkan beberapa indikator seperti pH, Nitrit, Amoniak, Alkalinitas dan sulfat yang tidak melebihi batas ambang baku mutu yang dipersyaratkan. Meskipun secara umum kualitas air cukup baik, namun ada dua indikator yang tidak memenuhi baku mutu, yaitu BOD dan COD.

Dari parameter biologi, air dari ketiga lokasi tersebut dalam kondisi tercemar oleh bakteri dilihat dari *coliform* terutama *total coliform*, meskipun dalam kondisi tercemar, jumlah bakteri *coliform* yang terkandung dalam air tersebut tidak melebihi batas ambang baku mutu yang dipersyaratkan sehingga apabila dimanfaatkan sebagai air minum, maka tetap harus melalui pengolahan air atau dipanaskan sampai titik didih tertentu, karena mengandung bakteri yang mungkin berbahaya bagi manusia.

SARAN

Pemanfaatan air untuk bahan baku air minum oleh masyarakat terlebih dahulu harus melalui pengolahan, salah satunya dengan cara sederhana yaitu dipanaskan sampai titik didih tertentu.

Banyaknya kegiatan-kegiatan seperti perkebunan, pertanian dan lainnya yang berpotensi menimbulkan dampak kerusakan lingkungan serta penurunan kualitas air, sehingga pengujian kualitas air harus dilakukan secara terus-menerus (berkala) untuk mengetahui layak tidaknya air tersebut untuk dimanfaatkan sebagai air bersih.

Perlu dilakukan upaya pengelolaan serta tindakan konservasi air dan tanah dengan teknik vegetatif di sekitar mata air untuk mencegah perubahan tatanan dan kualitas air.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T., N., 2006., Kondisi Darah Tangkapan Sungai Bawah Tanah Karst Gunungsewu dan Kemungkinan Dampak Lingkungannya terhadap Sumberdaya Air (Hidrologis) karena Aktivitas Manusia, Seminar UGK-BP DAS SOP, Fakultas Geografi UGM.
- Anonimus. 2011. Peraturan Daerah Provinsi Kalimantan Timur no. 02 tahun 2011 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air.
- Anonimus, 2013. Kutai Timur Dalam Angka. Badan Statistik Daerah, Kabupaten Kutai Timur, Sangatta.
- Brinkman, R., Garren, S., J., 2011. Karst and Sustainability. Karst Management. DOI : 10.1007/978-94-007-1207-2_16 dalam Budiyanto, E. 2013. Peran Penting Kawasan Karst, makalah, UGM.
- Chiras, D. And J.P. Reganold. 2005. Natural Resource Conservation, dalam Wiryono (peny.). 2013. Pengantar Ilmu Lingkungan. Pertelon Media. Bengkulu.
- Dendang, V. 2013. Identifikasi Potensi Ekowisata Desa Karangan Hilir Kecamatan Karangan Kabupaten Kutai Timur. Skripsi Program Studi Kehutanan, STIPER, Sangatta.
- Gunn, J., 1981, Hydrological Processes in Karst Depression, Z. Geomorph. N.F, (25)3,313-331 dalam Haryono, E. 2001. Makalah Seminar Nasional Teknik Sipil. UGM, Yogyakarta.
- Haryono, E., M.P. Hadi, S.W. Suprojo dan Sunarto. 2000. *Kajian Mintakat Epikarst Gunungkidul untuk Penyediaan Air Bersih*, Laporan PHB VIII, LIT -UGM, Yogyakarta.
- Hill, M.K. 2010 Understanding Environmental Pollution dalam Wiryono (peny.). 2013. Pengantar Ilmu Lingkungan. Pertelon Media. Bengkulu.
- Herlambang, Arie. 2006. Pencemaran Air dan Strategi Penanggulangannya, JAI vol. 2 nomor 1. Peneliti Pusat Teknologi Lingkungan, BPPT.

- Manan, S. 1976. Pengaruh Hutan dan Manajemen DAS. Bogor: Departemen Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Odum, E.P.1971.Fundamentals of Ecology. Third Edition. Saunders College Publishing. Philadelphia, dalam Wiryono (peny.). 2013. Pengantar Ilmu Lingkungan. Pertelon Media. Bengkulu.
- Peavy et al. 1985. dalam Effendi (peny.). 2003. Telaah Kualitas Air : Bagi Pengelolaan Sumber Daya dan Lingkungan Perairan. Kanisius, Yogyakarta.
- Soerjani, Mohamad dkk. 2005. Lingkungan Hidup (*The Living Environment*). Restu Agung. Jakarta.
- Suryatmojo, H., 2006. Strategi Pengelolaan Ekosistem Karst di Kabupaten Gunungkidul. Seminar Nasional Strategi Rehabilitasi Kawasan Konservasi di Daerah Padat Penduduk. Fakultas Kehutanan UGM
- Wiryono, 2013. Pengantar Ilmu Lingkungan. Pertelon Media. Bengkulu.