

PROSPEK PEMANFAATAN LAHAN PASKA PENAMBANGAN BATUGAMPING DI PULAU NUSAKAMBANGAN, JAWA TENGAH SEBAGAI PENAMPUNG AIR DAN SUMBER AIR BERSIH

Nyoman Sumawijaya¹

¹Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Jalan Sangkuriang Bandung 40135

Telpon: +62 022 2503654, Fax: +62 022 2504593

Email: nyomans@geotek.lipi.go.id

Sari

Salah satu alternatif pemanfaatan lahan paska penambangan batugamping di Nusakambangan adalah sebagai penampung dan sumber air bersih. Untuk mengetahui prospek pemanfaatan lahan paska tambang sebagai penampungan air telah dilakukan pendataan geologi, pendugaan geofisika, pendataan curah hujan dan kimia air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa batugamping menempati sekitar 30% dari P Nusakambangan, terutama bagian utara tengah sampai barat. Sekitar 1000 ha batugamping ini telah diberikan ijin penambangan kepada PT Holcim sejak tahun 1976, namun hanya 470 ha saja yang akan ditambang. Penambangan batugamping di Nusakambangan dilakukan dengan model sumuran (open pit). Bentuk akhir lahan paska tambang adalah berupa kolam (sumuran besar) dengan luas bukaan atas sekitar 470 ha, kedalaman 10 m s/d 50 m. Dengan curah hujan yang mencapai lebih dari 2500 mm/tahun dan potensial penguapan 2000 mm/tahun maka akan terakumulasi 500 mm atau setara dengan 2,25 juta m³ air dilahan bekas tambang. Sebagian air dari kawasan penambangan ini mengalir kearah utara melalui rekahan dan sungai bawah tanah. Dengan melakukan rekayasa rekahan buatan dan penataan pada dasar kolam bekas tambang maka lahan bekas tambang dapat dimanfaatkan untuk menampung air hujan yang cukup besar guna pemenuhan berbagai keperluan, khususnya untuk pelabuhan Cilacap secara berkelanjutan.

Kata kunci: batugamping, pertambangan, hidrologi, paska tambang

Abstract

One of the many alternatives of the post mining land use of the limestone quarry in Nusakambangan is as water storage. To analyze the prospect of using the post mining area as water storage data of geology, geophysic, rainfall and water chemistry data have been collected and analyzed. The study show that limestone comprise about 30% of the island, mainly in the central and western part of the nouthern area of the island. About 1000 ha of the limestone area have been given a mining permit to PT Holcim for quarrying and of that about 470 ha will be effectively mined. Open pit mining is applied to mine the limestone in Nusakambangan. At the end, the form of the post mining area will be a big pond with a total opening 470 ha and depth from 10 meters to more than 50 meters. With more than 2500 mm annual rainfall and about 2000 mm potential evaporation total rainwater that can be collected in the pond is 2,25 million m³ per year. Part of this water will flow to the sea in the north through cracks and underground river. By constructing artificial cracks and any engineering treatment to the bottom of the pond, big amount of water can be stored in the pond and sustainably used for various purposes, mainly to supply water need of the Cilacap harbor.

Keywords: limestone, karst, post mining, hydrology, sustainable, water storage

PENDAHULUAN

Semen merupakan salah satu kebutuhan bahan untuk membuat berbagai bangunan. Selama pembangunan masih berlangsung maka produksi semen akan terus berjalan dan penambangan batugamping akan terus dilakukan karena \pm 80% dari bahan baku semen adalah batugamping. Rusaknya lingkungan bekas tambang merupakan salah satu alasan bagi banyak pihak untuk berkeberatan dilakukannya penambangan batugamping. Salah satu ciri dari kawasan batugamping adalah keterbatasan sumber daya air. Pada daerah karst biasanya tidak terdapat aliran air permukaan yang dapat dipergunakan sebagai sumber air. Air hujan yang jatuh di daerah karst cepat masuk kedalam celah atau rekahan dan secara perlahan akan terakumulasi sebagai sungai bawah tanah ketika mencapai bagian karst yang massif atau lapisan tanah yang kedap air dan keluar sebagai mata air. Dengan dilakukannya penambangan maka volume batugamping yang berfungsi sebagai penyimpan air akan berkurang. Namun dengan menerapkan cara penambangan tertentu dan rekayasa pada lahan bekas tambang maka dampak ini bias diminimalisir, bahkan mungkin lahan bekas tambang bias difungsikan sebagai penyimpan air.

Dalam rangka mengoptimalkan pemanfaatan lahan paska tambang pada penambangan batugamping di Nusakambangan, telah dilakukan penelitian untuk memanfaatkan lahan paska tambang sebagai penampung air dan sumber air bagi daerah sekitarnya. Evaluasi terutama didasarkan pada metode penambangan yang diterapkan, rencana bentuk akhir lahan paska tambang dan curah hujan. Tulisan ini merupakan bagian dari hasil penelitian tersebut.

METODOLOGI

Kawasan batugamping merupakan daerah yang biasanya dicirikan dengan minimnya sumber air permukaan. Sumber air yang ada pada umumnya adalah airtanah baik yang bersifat statis maupun yang keluar sebagai mata air atau keluaran sungai bawah tanah. Hilangnya sumber air merupakan salah satu alasan bagi masyarakat untuk keberatan terhadap penambangan batugamping. Padahal menurut Bonnaci (1987) sekitar 20% penduduk duni kebutuhan airnya disuplai dari sumber air yang ada di kawasan karst.

Kota Cilacap sebagai salah satu kota di pantai selatan Jawa telah tumbuh menjadi kota industri dan kota bahari. Keberadaan pelabuhan niaga, industri-industri besar seperti Pertamina, Semen Nusantara dan industri lainnya sangat berpengaruh terhadap perkembangan dan dinamika kota ini. Tumbuhnya kota Cilacap sebagai kota industri akan memberikan konsekwensi pada meningkatnya kebutuhan air bersih. Salah satu alternatif untuk mendapatkan sumber air adalah dengan memanfaatkan lahan paska tambang di pulau Nusakambangan sebagai penampung dan sumber air bersih.

Untuk mendapatkan gambaran prospek pemanfaatan lahan paska tambang sebagai kolam penyimpanan air dilakukan pendekatan aspek geologi, morfologi, iklim (curah hujan) dan pendataan sifat fisika dan kimia air. Data geologi diperoleh melalui pengumpulan data sekunder dan pengamatan lapangan. Untuk mengetahui kondisi geologi bawah permukaan dilakukan pengukuran geofisika tahanan jenis pada sejumlah lintasan pada areal yang belum ditambang dan yang sudah selesai ditambang. Data curah hujan diambil dari stasiun meteorologi kota Cilacap dan alat pengukur curah hujan yang ada di PT Holcim, Nusakambangan. Untuk mengetahui karakteristik kimiawi air diambil sejumlah conto dari mata air, sumur dan sungai bawah tanah yang ada disekitar kuari dan dianalisa di lab air Psulit Geoteknologi – LIPI.

HASIL

1. Kondisi umum Pulau Nusakambangan

Pulau Nusakambangan termasuk katagori pulau kecil dengan luas sekitar 46.721 ha yang dipisahkan oleh selat yang sangat sempit dengan daratan P Jawa (Gambar 1). Morfologi pulau ini terdiri dari perbukitan, dengan kelerengan mulai sangat curam, khususnya pada bagian selatan, curam dan sedikit daerah landai di bagian utara. Sebagai sebuah ekosistem pulau kecil, Pulau Nusakambangan memiliki peranan yang sangat penting sebagai pengatur tata lingkungan kawasan Segara Anakan. Menurut Suwelo (2003) sebagaimana dikutip Dartoyo (2004) keberadaan hutan hujan dataran rendah di Pulau Nusakambangan memiliki kekayaan habitat berbagai jenis satwa, seperti macan kumbang (*Panthera pardus*), landak (*Hystrix brahyura*), trenggiling (*Manis javania*), ular sanca (*Python* sp) dan berbagai jenis burung seperti rangkong (*Buceros* sp) dan burung-burung merandai.

Secara umum daerah ini merupakan kawasan hutan dan sedikit lahan yang dibuka untuk lahan pertanian dan perkebunan, terutama untuk memberikan kegiatan para narapidana yang sudah memenuhi persyaratan untuk bersosialisasi. Bangunan yang ada terutama berkaitan dengan lembaga pemasaran seperti bangunan Lembaga Pemasarakatan, perkantoran dan perumahan karyawan. Penambangan batugamping dilakukan dibagian utara-timur (Gambar 1). Dari luas konsesi 1000 ha, berdasarkan hasil survey perusahaan, hanya 470 ha yang mengandung batugamping dan akan ditambang. Lokasi penambangan berseberangan langsung dengan pelabuhan Cilacap yang banyak disinggahi kapal besar pengangkut batubara, semen dan juga minyak mentah.



Gambar 1. Lokasi Penelitian dan bukaan tambang

2. Geologi

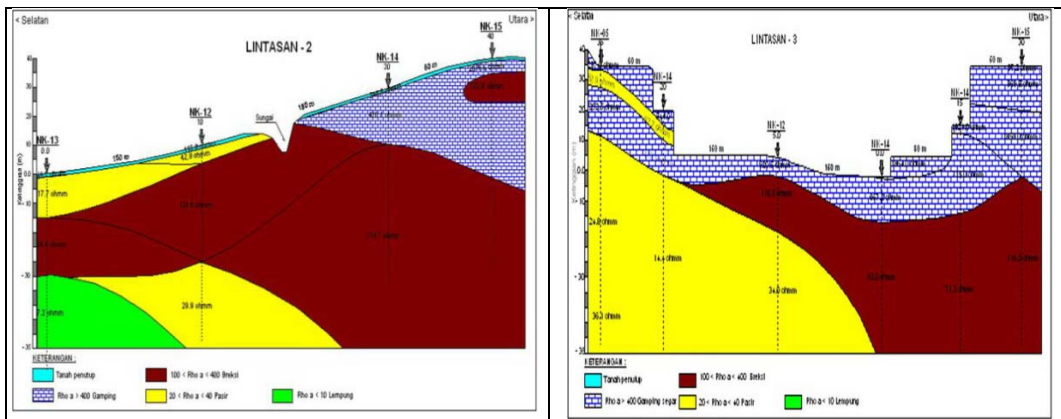
Berdasarkan peta geologi lembar Banyumas (Asikin dkk, 1992) dan lembar Pangandaran (Simanjuntak dan Surono, 1992) pulau Nusakambangan tersusun dari batuan endapan alluvial, terutama di bagian utara, batugamping Formasi Pamutuan, dan Tufa Napalan formasi Pamutuan. Batugamping terutama menempati bagian utara mulai dari ujung barat sampai di tengah agak ke timur. Lokasi penambangan batugamping PT Holcim menempati satuan batugamping yang paling timur. Stratigrafi daerah Nusakambangan dari tua ke muda berupa, breksi bersusunan andesitik, fragmen batuan beku dan oksida besi tertanam pada massa dasar pasir halus – sedang. Secara tidak selaras di atasnya diendapkan batugamping klastik, dolomitan, berumur Miosen, dan di atasnya diendapkan alluvial berumur Holosen, berupa lumpur, lempung, lanau dan pasir serta

sisanya tumbuhan. Batu gamping ini berwarna abu-abu kecoklatan, kurang kompak sampai lepas-lepas.

Sementara berdasarkan hasil pengukuran geofisika tahanan jenis pada dua lintasan seperti terlihat pada Gambar 2 sebagai batuan dasar adalah lempung yang terletak pada kedalaman 30 meter dibawah muka laut. Diatasnya berupa lapisan pasir dan breksi vulkanik hingga pada ketinggian 10 meter diatas permukaan laut, kemudian diatasnya diendapkan batugamping hingga pada ketinggian ± 110 meter diatas muka laut (kontur 110). Alluvial tipis terdeteksi pada lintasan 2 yang dibuat pada lahan yang belum ditambang.

3. Geohidrologi

Geohidrologi pada kawasan karst bersifat unik, akuifer terutama merupakan porositas sekunder yang berbentuk celah atau rekahan yang terbentuk baik akibat hasil pelarutan batugamping dan juga kegiatan tektonik. Faktor utama yang menentukan kondisi hidrologi suatu kawasan yaitu iklim (curah hujan), morfologi, geologi dan tutupan lahan.



Gambar 2. Penampang Geologi berdasarkan hasil pendugaan geolistrik

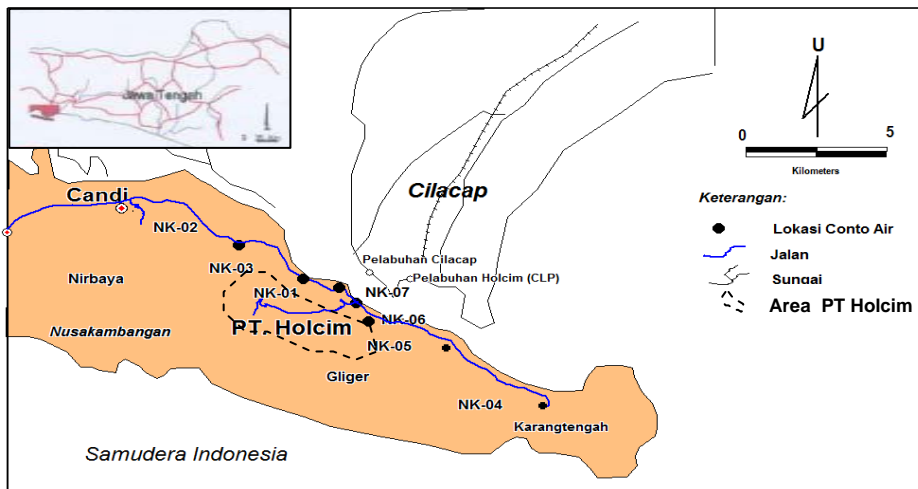
Curah hujan di daerah Nusakambangan dan Cilacap pada umumnya termasuk tinggi. Berdasarkan data curah hujan yang tersedia pada stasiun meteorologi Kota Cilacap dan stasiun pengukuran curah hujan yang terdapat di lokasi kuari Nusakambangan rata-rata curah hujan tahunan mencapai 3500 mm (Tabel 1). Tutupan lahan yang masih didominasi hutan serta sifat batugamping yang termasuk kurang kompak dan banyak celah dan rongga memungkinkan sebagian besar air hujan dapat meresap masuk kedalam tanah dan mengisi airtanah. Mata air yang muncul di sejumlah lokasi di sisi utara wilayah penambangan dan berair sepanjang tahun menandakan besarnya kapasitas penampungan air kawasan ini. Air yang keluar dari kawasan karst Nusakambangan banyak dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan air masyarakat di P Nusakambangan, seperti untuk kebutuhan air para narapidana, petugas LP dan keluarganya dan juga untuk memenuhi kebutuhan air perusahaan (PT Holcim) seperti sumber air Sodong (Nk1) dan Limusbuntu (Nk3) (lihat Gambar 3).

Tabel 1. Data curah hujan bulanan

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Juni	Juli	Ags	Sep	Okt	Nop	Des
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
Stasiun kota Cilacap												
2003	408.3	343.1	529.7	265.5	219.1	82.2	2	1	91.7	362.6	505.9	588
2004	265.8	238.7	388.1	186.7	631.1	140	187	32.6	54.6	98.5	834.7	684.1
2005	718.9	292.2	557.2	290.3	537.3	319.6	246.3	66.7	541.9	568.9	734.3	615.5
2006	396.1	365.9	252.1	200	282.9	114	57.2	5	0	60	31.3	194.6
2007	152.6	447.5	227	434.7	377.3	251.6	13.1	16.6	12.9	333.7	693.3	539.6
Stasiun Nusakambangan												
2005	789	213.5	654	224.9	272.4	428.3	212.5	95.5	116.3	525.7	673.2	134
2006	376.7	304.2	244.8	169	270.6	50	42.1	0	0	9.3	30.9	38.5
2007	26.4	122.5	103.7	348.6	373.7	216.2	13.6	20.7	12.5	277.2	361.7	442
2008	128.1	215.1	186.1	76.1	8.5							

Untuk mendapatkan gambaran kualitas kimiawi air di kawasan Pertambangan P Nusakambangan dilakukan pengamatan dan pengambilan contoh air pada sejumlah mata air yang airnya diduga bersumber dari airtanah kawasan batugamping (lihat Gambar 3). Sebanyak 7 contoh air diambil dan analisa kimia air dilakukan di Laboratorium hidrologi Puslit Geoteknologi LIPI dengan hasil seperti terlihat pada Tabel 2.

Seperti terlihat pada Tabel 2, semua conto air menunjukkan nilai kesadahan yang tinggi dan bersifat basa ($\text{pH} > 7$) yang menandakan air berasal dari batuan karbonat. Sementara dilihat dari data kimianya terlihat tidak ada kandungan ion-ion yang membatasi penggunaan air untuk pemenuhan kebutuhan rumahtangga kecuali unutm conto Nk7 yang mempunyai kandungan besi yang agak tinggi. Tingginya kandungan besi pada conto air Nk7 diduga ada kaitannya dengan lingkungan setempat. Conto air Nk7 diambil dari sumur pantau yang terletak di areal tempat penimbunan alat berat (bulldozer dan loader) yang sudah tidak dipakai. Kemungkinan penyebab lainnya adalah sumur menembus lapisan batuan yang mengandung oksida besi. Seperti disampaikan Simanjuntak dan Surono, (1992) salah satu komponen batuan yang ditemukan di Nusakambangan adalah breksi yang mengandung oksida besi.



Gambar 3. Peta lokasi Pengambilan conto air

Untuk mendapatkan gambaran hubungan antara curah hujan dengan airtanah dilakukan uji infiltrasi. Uji infiltrasi dilakukan pada 6 titik yang mewakili lahan bekas tambang yang sudah direklamasi dan lahan yang belum ditambang. Pengujian dilakukan sampai diperoleh kecepatan aliran air konstan. Kecepatan aliran konstan sama dengan nilai hidrolis konduktivitas pada kondisi jenuh. Dari hasil pengukuran diperoleh kecepatan pengaliran (hidrolis konduktivitas) pada lahan bekas tambang masih tergolong moderat dengan nilai antara 2,5 m/hari s/d 7,7 m/hari (lihat Tabel 3). Angka ini sangat sesuai dengan kondisi batugampingnya yang banyak mengalami pelapukan. Sementara pada lahan yang tidak ditambang dan ditutupi tanah penutup cukup tebal nilai konduktivitas hidrolisnya 0,06 s/d 0,34 m/hari, walaupun masih tergolong moderat.

Tabel 2. Hasil analisa kimia conto air Nusakambangan (Lab. Air, Puslit Geoteknologi LIPI)

PARAMETER	SATUAN	KODE CONTO						
		Nk 1	Nk2	Nk3	Nk4	Nk5	Nk6	Nk7
Keasaman (pH)		7.29	7.15	6.92	7.01	7.36	7.35	7.37
Daya Hantar Listrik (DHL)	$\mu\text{S/cm}$	465	545	550	579	684	475	795
Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	27	27.6	27.3	27.3	27.7	28.5	28.8
Natrium (Na)	mg/l	4.88	4.02	4.59	17.86	18.79	17.24	22.18
Kalium (K)	mg/l	0.25	0.2	0.25	0.89	2.84	2.19	4.78
Kalsium (Ca)	mg/l	80.07	100.53	95.12	84.88	84.28	49.97	107.2
Magnesium (Mg)	mg/l	4.72	3.09	7.43	7.72	25.88	21.27	18.25
Kesadahan (CaCO_3)	mg/l	219.86	264.79	268.79	244.40	318.61	213.61	344.00
Bikarbonat (HCO_3)	mg/l	259.35	272.1	290.98	227.73	327.73	251.4	278.3
Sulfat (SO_4)	mg/l	2.85	3.50	3.00	5.25	13.00	6.00	8.00
Klorida (Cl)	mg/l	10.65	12.39	10.74	30.14	39.75	11.09	78.74
Fe (besi)	mg/l	0.33	0.18	0.4	0.44	0.25	0.46	1.2

Keterangan: Nk1, Nk2, Nk3, = keluaran sungai bawah tanah; Nk4 dan Nk5 = sumur gali (digunakan penduduk), Nk6= mata air; dan Nk7= sumur pantau.

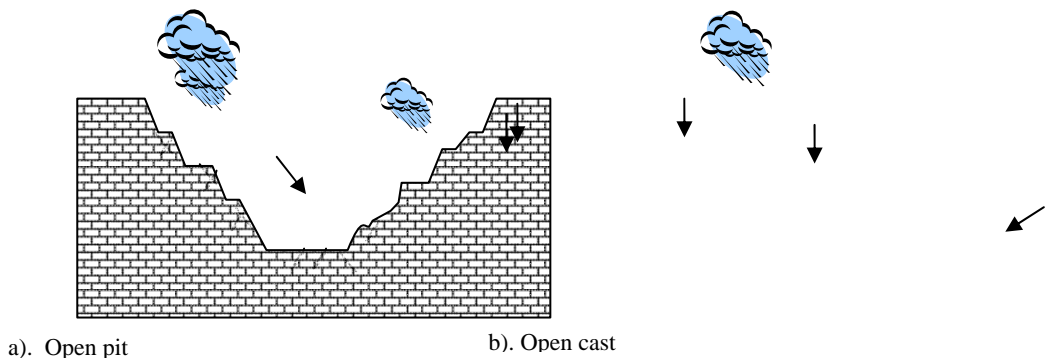
Tabel 3. Hasil pengukuran hidrolik konduktivitas batuan pada lahan bekas tambang.

No	Keterangan lokasi	Hasil pengukuran konduktivitas hidrolik kondisi jenuh		Rentang nilai hidrolik konduktivitas batuan; (Tood, 1980, p 72)	
		Cm/detik	m/hari	Konduktivitas (m/hari)	Klasifikasi
1	Bekas tambang	0.007	6.048	$10^4 - 10^2$	Sangat tinggi
2	Bekas tambang	0.009	7.776	$10^2 - 10^1$	Tinggi
3	Bekas tambang	0.003	2.592	$10^0 - 10^{-2}$	Moderat
4	Bekas tambang	0.003	2.592	$10^{-2} - 10^{-4}$	Rendah
5	Tanah penutup	0.0004	0.3456	$10^{-4} - 10^{-5}$	Sangat rendah
6	Tanah penutup	7.05E-05	0.060912		

ANALISA DAN DISKUSI

Bentuk pemanfaatan lahan paska penambangan merupakan salah satu jawaban dalam mengatasi permasalahan penambangan batugamping. Batugamping sebagai bahan utama pembuatan semen akan terus dibutuhkan seiring dengan meningkatnya kebutuhan semen. Semen akan terus dibutuhkan selama pembangunan masih berlanjut. Jika lahan bekas tambang dapat dimanfaatkan sebagai penampung air dan sumber air bersih maka akan terjadi pemanfaatan lahan secara berkelanjutan. Penambangan batugamping yang bersifat sementara, sesuai dengan besarnya cadangan dan produktivitas tambang dilanjutkan dengan pemanfaatan lahan untuk sumber air.

Dampak dari suatu kegiatan penambangan dan alternatif bentuk pemanfaatan lahan paska tambang sangat dipengaruhi oleh sistem atau metode penambangan yang diterapkan. Penambangan batugamping dilakukan dengan metode tambang terbuka (*open pit*). Bukaan tambang dibuat dari bagian tengah dengan memotong puncak bukit, melebar secara berjenjang (bench system) dan pada akhir penambangan akan terbentuk bukaan seperti terlihat dalam gambar 4a. Dalam rangka mengurangi dampak penambangan terhadap fungsi kawasan batugamping sebagai penyimpan air maka penambangan dibatasi sampai ketinggian 10 meter diatas permukaan laut dan jarak bukaan terluar dengan batas tepi utara endapan batugamping minimal 200 meter serta ketebalan batugamping yang disisakan minimal 10 m (dokumen AMDAL).



Gambar 4. Model skematik bukaan pada penambangan sistem tambang terbuka.

Dengan model penambangan seperti ini maka air larian dari areal penambangan akan masuk kedalam pit. Sebagian air masuk secara langsung mengisi dasar kolam dan sebagian meresap kedalam tanah (rekahan) pada jenzang (*bench*) dan kemudian akan keluar lagi pada jenzang dibawahnya dan akhirnya masuk kedalam kolam. Tidak ada bagian air hujan yang mengalir sebagai air larian (*run off*) keluar area. Berbeda jika model bukaan yang diterapkan adalah seperti gambar 4b. Pada model bukaan seperti gambar 4b air hujan yang jatuh di areal tambang sebagian besar akan menjadi air larian (*run off*) keluar wilayah dan hanya sebagian kecil yang masuk kedalam rekahan batu gamping bekas tambang dan menjadi airtanah. Air yang masuk kedalam batugampingpun nantinya sebagian akan mengalir keluar area bekas tambang karena area bekas tambang berada lebih tinggi dari wilayah sekitarnya. Sehingga dengan menerapkan model penambangan dengan bukaan kedalam (*open pit*) maka lahan bekas tambang dapat difungsikan sebagai penampung air.

Pada akhir penambangan akan terdapat bukaan dengan luas 470 ha, kedalaman antara 10 m sampai lebih dari 50 meter dan luas dasar bukaan sekitar 100 ha. Dengan curah hujan tahunan yang mencapai lebih dari 2500 mm/tahun dan potensial penguapan 2000 mm/tahun maka akan terakumulasi 500 mm air hujan dalam luasan 470 ha atau setara dengan 2,25 juta m³/tahun dilahan bekas tambang. Sesuai dengan fenomena aliran air saat ini maka sebagian besar air dari kawasan lahan bekas penambangan ini akan mengalir kearah utara melalui rekahan dan sungai bawah tanah dan sebagian akan mengisi airtanah. Dengan melakukan rekayasa rekahan buatan dan penataan pada dasar kolam bekas tambang maka lahan bekas tambang dapat dimanfaatkan untuk menampung air hujan yang cukup besar guna pemenuhan berbagai keperluan; khususnya untuk pelabuhan Cilacap secara berkelanjutan. Untuk mengoptimalkan berfungsinya bukaan bekas tambang sebagai penampung air maka yang perlu diperhatikan adalah porositas batuan pada lantai tambang dan adanya rekahan pada dinding lubang bukaan.

Dari hasil pengujian infiltrasi diperoleh angka besaran hidrolis konduktivitas tanah/batuan pada lahan bekas tambang berkisar antara 0,2 m/hari sampai 7,7 m/hari, menandakan bahwa permeabilitas tergolong sedang (lihat Tabel 3). Pada awal pengisian banyak air yang meresap kedalam tanah dan keluar secara alamiah kelaut dan sebagian keluar melalui rekahan dan sungai bawah tanah. Namun dalam jangka panjang, dengan terakumulasinya sedimen yang terbawa bersama aliran permukaan di lantai tambang maka pori-pori akan tertutup, aliran air keluar akan lebih lambat dan bukaan tambang akan berfungsi sebagai kolam penampungan. Dengan ketinggian lantai bukaan tambang berada 10 m diatas permukaan laut maka air dari kolam dapat

diharapkan keluar secara gravitasi melalui sungai bawah tanah. Pemanfaatan air hasil tampungan dapat dilakukan melalui keluaran sungai bawah tanah.

KESIMPULAN

Sistem penambangan batugamping PT Holcim di Nusakambangan dilakukan secara tambang terbuka dan pada akhir penambangan akan terbentuk bukaan berupa kolam yang luasnya mencapai 470ha. Dengan model bukaan tambang berupa *open pit* dan curah hujan yang mencapai 2500 mm/tahun dan penguapan sekitar 2000 mm/tahun maka akan terakumulasi air hujan dalam kolam sekitar 2,25 juta m³/tahun.

Dari data hasil analisa kimia, air yang keluar dari kawasan batugamping di Nusakambangan (airtanah dan air sungai bawah tanah) mempunyai tipe kalsium becarbonat dan tidak ada unsur yang membatasi penggunaannya untuk keperluan rumahtangga.

Untuk mengoptimalkan fungsi lahan paska penambangan batugamping sebagai kolam penampungan air hujan di Nusakambangan maka perlu dilakukan penataan lahan bekas tambang, terutama pengaturan permeabilitas lantai lahan bekas tambang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini terlaksana karena adanya dukungan dari berbagai pihak, untuk itu maka pada kesempatan ini kami sampaikan ucapan terimakasih kepada semua pihak, khususnya rekan peneliti dan teknisi di lingkungan Puslit Geoteknologi LIPI atas dukungannya baik secara langsung maupun berupa dukungan moril (semangat). Terimakasih terutama kami sampaikan kepada Kepala Puslit Geoteknologi dan jajarannya yang telah memberikan kesempatan kepada kami untuk melakukan penelitian ini. Secara khusus terimakasih kami sampaikan kepada saudara Alfi dan saudara Iman yang telah banyak memberikan bantuan teknis untuk membuat beberapa gambar yang diperlukan untuk melengkapi tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Dokumen AMDAL *Penambangan Batugamping PT Holcim Nusakambangan*,
 ----- Peraturan Pemerintah No. 20 tahun 1990, Lampiran A, Standar Kualitas Air di Perairan Umum.
- Asikin dkk, 1992, *Peta Geologi lembar Banyumas*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Bonnaci O, 1987, *Karst Hydrology*, Springer-Verlag, London.
- Dartoyo A.A, 2004, *Model Pengelolaan Wilayah Pesisir Kabupaten Berbasis Dijital, : Studi Kasus Kabupaten Cilacap Jawa Tengah*, Disampaikan dalam Temu Alumni MPKD 9-11 September 2004.
- Simanjuntak dan Surono, 1992, *Peta Geologi lembar Pangandaran*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Tood, D.K, 1980, *Groundwater Hydrology, 2nd Ed.*, John Willey & Sons, Tonronto.

