

PENATAAN RUANG DAN DAYA DUKUNG SUMBER DAYA AIR DI CEKUNGAN TERKUNGKUNG BERATAN - BUYAN - TAMBLINGAN PROVINSI BALI

P. E. Hehanussa

*Asia Pacific Center for Ecohydrology – Cibinong Science Center
Cibinong 16911*

ABSTRAK

"Endorheic basin" atau cekungan terkungkung adalah morfologi alami sebuah kawasan yang berbentuk wadah cekung tanpa adanya aliran air sungai keluar. Cekungan dengan Danau Beratan-Buyan-Tamblingan merupakan kaldera gunung api purba berukuran 12 X 7 km dengan paras air danau pada 1.231 dan 1.214 m di atas permukaan laut. Kawasan ini memiliki tanah yang subur, iklim yang sejuk, dan alam yang indah sehingga menjadi daya tarik untuk dihuni secara tetap, untuk pertanian dan perkebunan, maupun untuk industri pariwisata. Di dalam cekungan itu terdapat Gunung Tapak-Pohen-Lesung yang merupakan cagar alam dan di kaki gunung itu terdapat Kebun Raya 'Eka Karya' - LIPI. Pertumbuhan aneka aktivitas di wilayah ini pesat sehingga perlu ada rencana pengelolaan sumber daya alam pada umumnya dan air khususnya agar dapat terus tersedia mendukung kebutuhan manusia dan ekosistem wilayah itu. Daya dukung air adalah parameter dinamis yang tergantung kepada perilaku manusia menata alam atau ekosistem di sekitarnya. Batas daya dukung air bukan ditentukan oleh jumlah air yang tersedia di alam tetapi terkait erat dengan dampak perilaku manusia (peraturan dan pengendaliannya, budaya, penataan ruang yang terkait komponen ekosistem penyedia air di alam, konservasi ekosistem yang terkait tata air) serta pengendalian limbah (rumah tangga, urban, pertanian, perkebunan, serta pariwisata) yang telah dan akan dihasilkan di masa mendatang.

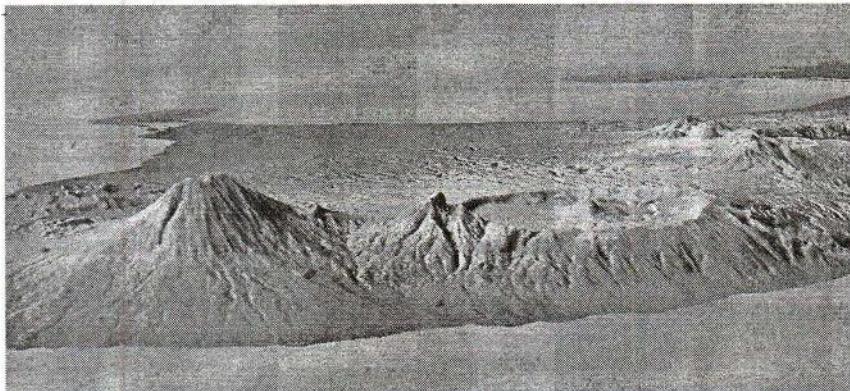
Kata kunci : Daya dukung, daya tampung, sumber daya air, tri-danau.

I. PENDAHULUAN

Sikap umat manusia terhadap pengelolaan sumber daya alam pada umumnya dan air khususnya mengalami transformasi sejalan sikap dan falsafah manusia terhadap alam tempat hidupnya. Duaribu-limaratus tahun lalu filsafatwan Plato membangun pikiran 'kosmosentrisme' yang menganggap bahwa manusia dengan akal pikirannya adalah pusat dari segala-galanya. Seabad kemudian konsep ini lebih digenapi oleh muridnya, Aristoteles dengan 'antroposentrisme' yang berpandangan bahwa manusia juga adalah bagian dari alam semesta tatanan kehidupan. Sepuluh abad kemudian marak

berkembang faham 'teosentrisme' yang menempatkan Tuhan pada titik sentral. Faham ini kemudian diboncengi oleh konsep kerajaan dimana raja diposisikan sebagai penjelmaan dari Tuhan. Beberapa abad kemudian lahirlah faham 'humanisme-sekularisme' yang berangkat dari faham teosentrisme namun mengasimilasikan posisi manusia dan alam ke dalam satu kesatuan yang utuh namun seimbang. Dari sanalah kemudian tersintesa sinergi dengan kearifan lokal menjadi faham 'humanisme-antroposentrisme' yang memandang manusia sebagai bagian integral dari alam, bukan sebagai penguasa alam.

Sejarah falsafah ini dijadikan awal pembukaan tulisan ini karena akan terkait erat dengan landasan pola pengelolaan air yang akan dikemukakan. Mengelola sumber daya alam pada umumnya dan air khususnya memerlukan landasan pikir yang tidak hanya didasarkan pada pendekatan teknokratis belaka tetapi juga menyangkut pengendalian perilaku manusia terhadap alam tempatnya hidup. Apakah kita menganggap alam itu mesti dan harus selalu melayani seluruh kebutuhan manusia, ataukah kita mau lebih arif mendukung alam dalam posisi yang setara dengan manusia. Manusia hidup di alam yang juga 'hidup', sehingga keduanya patut berperilaku sebagai insan yang saling membutuhkan.



Gambar 1. Panorama Pulau Bali dalam rekaman satelit NASA, dilihat dari arah Utara ke Selatan. Gunung Agung di kiri, Gunung Batur di tengah, dan kompleks Danau Beratan di ujung kanan gambar.

Dengan awal pendekatan ini hendak disampaikan bahwa menghitung daya dukung air di kaldera cekungan Beratan-Buyan-Tamblingan tidaklah dapat dan tidak boleh dilakukan sebagai hitungan matematik belaka, yaitu jumlah air dibagi dengan jumlah penduduk saja. Air disediakan oleh alam melalui proses daur hidrologi atau juga dinamai siklus hidrologi. Oleh karena itu hitungan daya dukung air pertama-tama mesti dimulai dari mengenali siklus

hidrologi. Siklus hidrologi mencakup komponen eksternal (iklim, perubahan antropogen oleh manusia antara lain tata ruang, tata guna lahan, persebaran penduduk, pertanian, dan sebagainya) dan komponen internal (fungsi dan peran ekosistem, morfologi, geologi, geografi, dan sebagainya).

Kedudukan cekungan Beratan-Buyan-Tamblingan sebagai bekas kaldera gunung api purba adalah khas karena bentang alamnya yang tertutup atau terkungkung. Bentuk ini dalam ilmu hidrologi dinamai cekungan terkungkung (CT) sebab tidak ada aliran air sungai keluar dari daratan kawasan itu. Air keluar dari CT karena ada penguapan ke angkasa dan rembesan air tanah ke wilayah sekelilingnya. Rembesan itu dapat terlihat sebagai mata air di hulu-hulu sungai, ada yang mengalir ke utara ke daerah Singaraja dan ada yang mengalir ke selatan ke daerah Tabanan. Rembesan air tanah tidak meresap terlalu dalam ke dalam tanah, yang disimpulkan dari hasil analisis kimia mata-mata air. Dari kimia air ditafsirkan bahwa rembesan air ke dalam tanah masuk tidak lebih dari kedalaman 300 meter.

Hal lain yang patut juga dipahami sejak dulu adalah sifat air yang berbeda dengan kebanyakan sumber daya alam lainnya yaitu sifatnya yang dinamis, yang terus bergerak tanpa henti, tidak pernah dapat dibatasi oleh batas-batas geografi, negara, dan batas administrasi pemerintahan. Gerak air di alam berlangsung dengan perubahan fase cair, uap, dan membeku menjadi es. Sebagai contoh adalah air yang menguap dari daratan Australia, bercampur dengan uap air dari Samudera Hindia, tertuju angin naik ke atas Pulau Sumba dan Lombok, lalu bercampur dengan uap air dari Denpasar dan Gunung Agung yang kemudian jatuh sebagai hujan di wilayah Candikuning. Tiba di daratan, air hujan yang jatuh di Kabupaten Buleleng akan meresap ke dalam tanah lalu mengalir ke wilayah Kabupaten Tabanan. Dari Pulau Bali air ini akan kembali menguap dan selanjutnya kelak akan jatuh sebagai hujan di Malaysia atau di Cina. Inilah contoh gerak air yang terus menerus dan abadi, tidak pernah berhenti sejak awal mula kejadian bumi.

II. KONSEP DAUR HIDROLOGI

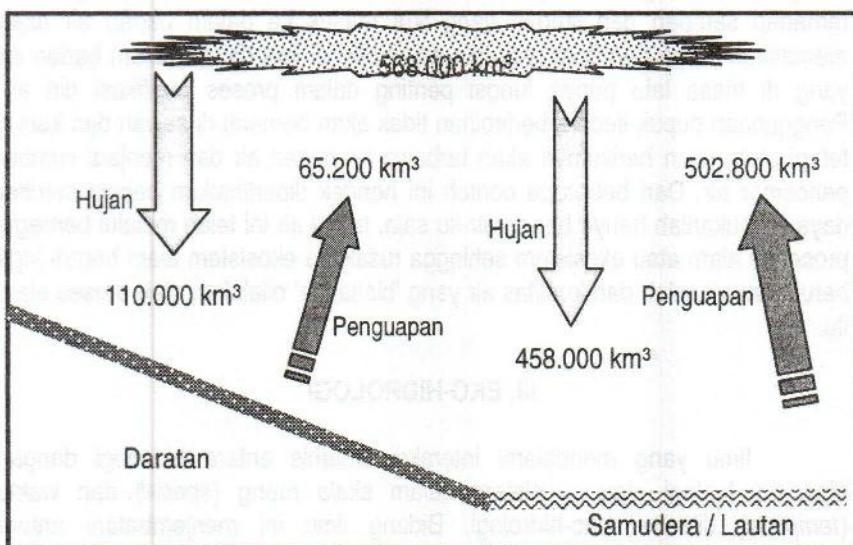
Pembahasan tentang daur hidrologi menjadi awal bahasan tulisan ini oleh karena untuk dapat memulai sebuah rencana pengelolaan air yang baik, pertama-tama yang mesti dimengerti terlebih dahulu ialah perilaku (atau dinamika) air itu. Air telah ada sejak awal mula-jadi bumi. Kitab suci menerangkan bahwa setelah matahari dan bulan serta angkasa, air adalah elemen awal yang diadakan untuk kemudian disusul dengan penciptaan hunian lainnya yaitu tanaman dan pepohonan di daratan, ikan di laut dan di sungai, burung di angkasa, dan hewan lainnya di daratan. Matahari adalah sumber energi abadi yang menggerakkan air, panas matahari adalah sumber energi perubahan fase dari cair menjadi uap air. Matahari juga memanaskan udara di

sebuah kawasan yang luas sehingga dari padanya lahirlah tiupan angin, dan oleh tiupan angin itu uap air akan bergerak dari satu tempat ke tempat lain sambil (ikut) membawa energi (panas) yang terperangkap di dalam partikel butiran air itu.

Setelah diketahui bahwa gerakan abadi air bersifat regional bahkan global, patut pula disadari bahwa secara lokal, air pun punya fungsi dan peran yang sangat penting. Air adalah 'bahan bakar' abadi yang memungkinkan adanya kehidupan. Bukan hanya untuk kebutuhan manusia tetapi terutama dan utamanya adalah bagi tetumbuhan yang juga lazim dinamai dengan biodiversitas. Tanpa air tidak mungkin ada biodiversitas dan sebaliknya juga benar dan adalah aksioma, yaitu bahwa tanpa biodiversitas air juga akan lenyap dari daur abadinya. Ilmu baru yang menggeluti interaksi dinamis antara air dengan ekosistem lingkungannya ini dinamai ekohidrologi. Pengertian tentang dinamika air dan interaksi dinamisnya dengan berbagai komponen ekosistem alam adalah fungsi kunci peran alam yang tidak boleh diabaikan atau dikesampingkan dalam awal upaya memulai penyusunan pengelolaan sumber daya air di suatu wilayah.

Hasil studi UNESCO menunjukkan bahwa jumlah seluruh air yang ada di dunia adalah 1.386.000.000 km³ (Shiklomanov, 1998). Namun hampir seluruh air itu (97,5%) terdiri dari air asin di laut dan hanya 2,5% yang berbentuk air tawar. Air tawar itu pun kebanyakan berbentuk es yang berada di kutub selatan dan utara serta di puncak gunung yaitu 68,7% dari air tawar yang hanya 2,5% itu. Dari air tawar itu sebanyak 29,9% berupa air yang tersimpan di dalam tanah dan selebihnya yaitu hanya 0,26% yang berupa air tawar yang terdapat di danau, sungai, reservoir, dan rawa. Jumlah air yang hanya sedikit inilah yang menjadi sumber utama untuk kehidupan manusia di bumi ini.

Dari semua persediaan air dunia itu berapa bagiankah yang ikut terlibat dalam dinamika abadi gerakan air atau daur hidrologi? UNESCO menyatakan bahwa tiap tahun jumlah air yang menguap dari samudera dan lautan adalah 502.800 km³ dan jumlah air yang menguap dari daratan naik ke angkasa adalah 65.200 km³. Yang mengherankan atau lebih tepat dinyatakan sebagai keagungan ciptaan Tuhan ialah bahwa air (hujan) yang jatuh kembali di laut hanya 458.000 km³ sedangkan hujan yang jatuh di daratan adalah 110.000 km³, sebuah jumlah yang jauh lebih besar daripada yang menguap dari daratan. Ini berarti bahwa jumlah air hujan yang jatuh di daratan lebih banyak 44.800 km³ dibanding air yang menguap dari daratan. Dari jumlah air itu, sebanyak 42.600 km³ akan mengalir sebagai air permukaan dan 2.200 km³ akan masuk meresap ke dalam tanah. Untuk dapat memperoleh gambaran tentang jumlah air di dunia itu, sebagai pembanding adalah bila semua air dari Danau Beratan ditambah air dari Danau Buyan dan Tamblingan dijumlahkan, besarnya hanya kurang dari 0,2 km³.



Gambar 2. Jumlah air dalam setahun yang terlibat dalam daur hidrologi global.

Air yang menjadi bagian dari daur hidrologi itulah yang merupakan sumber abadi air dunia. Karena perputaran air yang abadi itu maka air didefinisikan sebagai sumber daya terbarukan (*re-newable resource*). Penggunaan kata 'terbarukan' ini menyesatkan oleh karena sering ditafsirkan bahwa air selalu akan terbarukan, padahal sesungguhnya air 'dapat' terbarukan yaitu apabila komponen ekosistem yang terkait dalam proses itu tetap sehat dan berfungsi dengan baik. Komponen ekosistem itu adalah bentang alam tempat kita hidup, fauna dan flora yang hidup bersama kita, dan berbagai perubahan yang terjadi akibat ulah manusia. Perubahan akibat ulah manusia ada yang bersifat regional dan global, seperti perubahan kandungan gas-gas rumah kaca di angkasa yang akan menyebabkan perubahan dalam jumlah dan kualitas aliran energi matahari yang menerpa bumi. Ada pula perubahan yang bersifat lokal yaitu perubahan dalam tata ruang dan tata lahan pada wilayah dimana air hujan itu jatuh ke permukaan bumi. Perubahan itu dalam jangka panjang akan menyebabkan bergesernya jumlah air (dan uap air) yang terlibat dalam daur hidrologi. Perubahan yang berifat lokal ini penting untuk diperhatikan dalam perencanaan pengelolaan air di cekungan tertutup Beratan-Buyan-Tamblingan. Perubahan luasan tutupan hutan akan berpengaruh kepada jumlah air yang 'biasanya' dapat diserap oleh permukaan hutan yang ditutupi oleh serasah sehingga membantu meresapkan air ke dalam tanah sewaktu banyak air di musim hujan. Pembukaan lahan secara berlebihan menyebabkan suhu tanah akan naik sehingga jumlah air yang

menguap ke angkasa juga akan bertambah. Pengendalian yang buruk terhadap sampah dan limbah yang ikut masuk ke dalam badan air akan mematikan fauna dan flora akuatik yang hidup di tepi dan di dalam badan air yang di masa lalu punya fungsi penting dalam proses purifikasi diri air. Penggunaan pupuk secara berlebihan tidak akan berhenti di sawah dan kebun tetapi oleh hujan berikutnya akan terbawa ke badan air dan menjadi sumber pencemar air. Dari beberapa contoh ini hendak diperlihatkan bahwa sumber daya air bukanlah hanya benda air itu saja, tetapi air ini telah melalui berbagai proses di alam atau ekosistem sehingga rusaknya ekosistem alam berarti juga berubahnya jumlah dan kualitas air yang 'biasanya' dilakukan oleh proses alam itu.

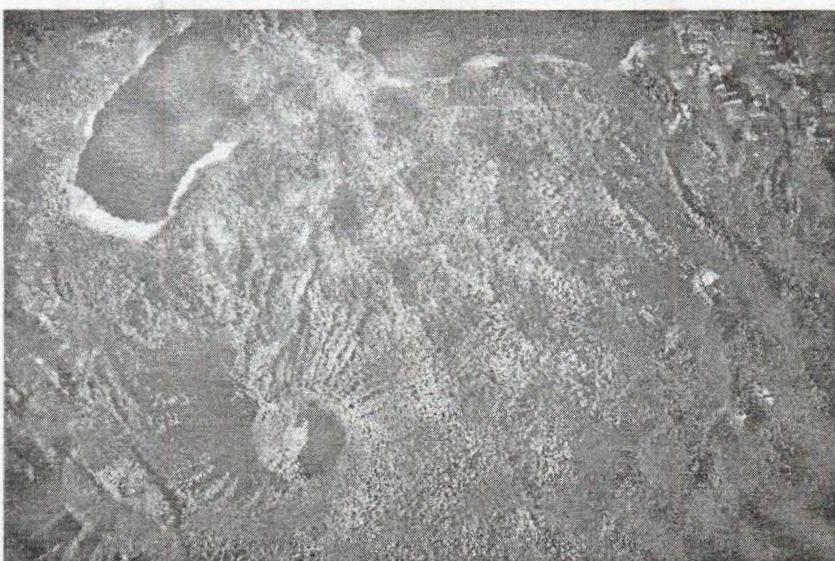
III. EKO-HIDROLOGI

Ilmu yang mendalami interaksi dinamis antara hidrologi dengan dinamika biologi atau ekosistem dalam skala ruang (*spatial*) dan waktu (*temporal*) dinamai eko-hidrologi. Bidang ilmu ini menjembatani antara kelompok yang hanya berkecimpung dalam bidang air saja dengan kelompok lainnya yang hanya berputar dengan studi ekosistem. Ekosistem di sini diartikan dalam pengertian yang sangat luas dan meski tidak tepat benar namun sering dinyatakan dalam kegiatan yang secara populer memakai label biodiversitas.

Dengan pendekatan eko-hidrologi, yang akan dilakukan adalah mempertahankan bahkan kalau mungkin meningkatkan ketersediaan air, dengan upaya-upaya pengelolaan ekosistem yang terkait langsung dan tidak langsung dengan fungsi penyediaan air (atau daur hidrologi). Fungsi penyediaan air bukan hanya berarti kuantitas (jumlah) yang cukup sepanjang tahun tetapi juga kualitas yang tetap baik tidak turun sepanjang tahun. Tentu ada batasan dan ada pengaturan dalam eksploitasi alam, mengendalikan perilaku manusia yang semula bersifat menguras habis kekayaan dan sumber daya alam menjadi perilaku yang mengambil dan memakai hanya secukupnya dan tidak berlebihan. Inilah perilaku yang dalam filsafat dijelaskan sebagai nama humanisme-antroposentrisme, biasanya langsung disingkat dengan label antroposentrisme. Sesungguhnya inilah akar atau sari pati dari kearifan tradisional yang telah diajarkan oleh leluhur kita.

Antroposentrisme yang mendukung implementasi eko-hidrologi ini, sering bertentangan dengan praktek kosmosentrisme yang sesungguhnya telah ditinggalkan 23 abad lalu namun kembali muncul dalam kehidupan yang oleh pemakainya memakai label 'modern'. Perilaku orang yang menamakan dirinya dan mendapat label modern, mempraktekkan perilaku eksploitatif kepada alam semesta, menggunakan teknologi secara salah untuk menguras habis sumber daya alam dalam waktu sesingkat-singkatnya. Mereka yang

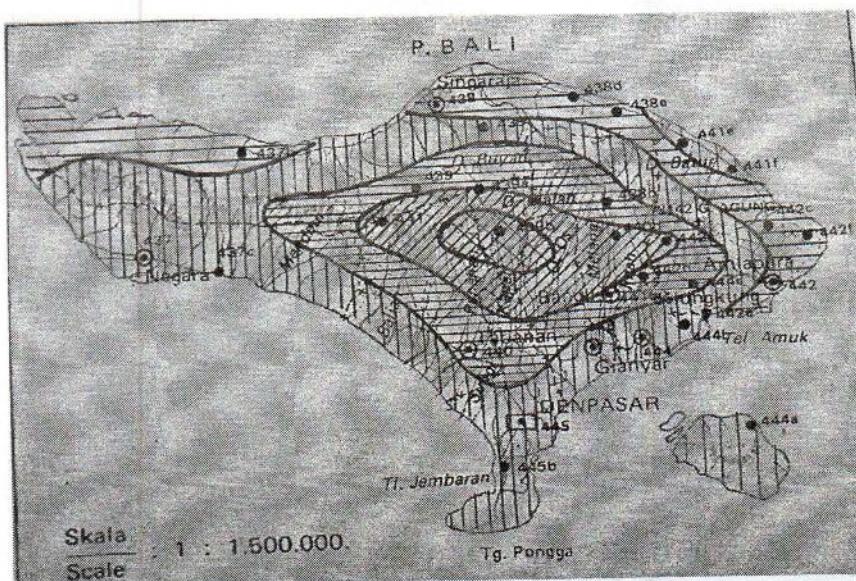
menggunakan alam secara secukupnya sebagaimana praktek masyarakat tradisional, mendapat label sebagai masyarakat terbelakang bahkan dikatai sebagai 'kampungan'. Pelajaran yang hendak disampaikan dari contoh yang beraserangan ini adalah hendaknya disadari bahwa diberi label kampungan bukan berarti bahwa orang-orang itu tidak bijak tetapi justru mereka adalah kelompok manusia yang tidak serakah.



Gambar 3. Hutan di puncak dan lereng G. Lesung (kiri bawah).
Di kiri-atas adalah Danau Tamblingan dan Danau Buyan di tengah-atas.
G.Tapak dengan hutan sekelilingnya (kanan gambar).

Salah satu komponen penting studi eko-hidrologi adalah data curah hujan. Pada Gambar 4 di bawah disampaikan jumlah hujan tahunan yang jatuh di Pulau Bali.

Di bagian tengah, di daerah Baturiti, adalah daerah dengan jumlah hujan tertinggi yaitu antara 3.000 – 3.500 mm tiap tahun. Di daerah Danau Beratan jumlah rata-rata hujan tahunan lebih rendah yaitu hanya 2.500 – 3.000 mm. Dari jumlah ini diperkirakan penguapan (evapotranspirasi) air tahunan mencapai angka 1.300 hingga 1.500 mm. Musim kemarau biasanya berlangsung dari bulan Mei hingga Oktober sedangkan musim hujan dari bulan November hingga Maret.



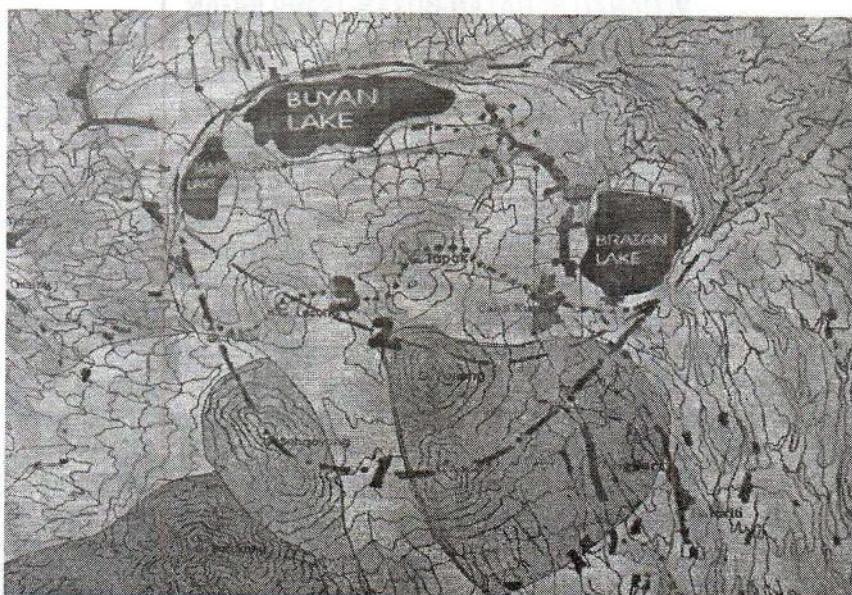
Gambar 4. Curah hujan tahunan di Provinsi Bali (3.000 - 3.500 mm di bagian tengah pulau).

IV. CEKUNGAN TERKUNGKUNG

Sebuah *endorheic basin* atau cekungan terkungkung (CT) adalah kawasan yang karena bentuk wilayahnya yang cekung, tidak memiliki aliran atau saluran air sungai keluar kawasan itu. Tidak banyak kawasan dunia yang memiliki sifat ini, namun Indonesia yang sebagian wilayahnya dibentuk oleh kompleks gunung api sangat mungkin memiliki CT yang adalah sisa letusan gunung api dahsyat yang telah menghancurkan puncak gunung dan hanya menyisakan kaldera yaitu kawah bagian atas sisa sebuah letusan agung.

Letusan besar Gunung Krakatau pada tahun 1883 menghancurkan puncak gunung yang diperkirakan tinggi awalnya sekitar 1.000 meter kemudian tersisa kaldera yang berada 250 m di bawah permukaan laut. Seratus duapuluh tahun kemudian telah lahir Gunung Anak Krakatau yang akibat letusan terus menerus, tingginya kini telah lebih dari 300 meter di atas permukaan laut. CT Beratan-Buyan-Tamblingan berukuran 12 X 7 km dengan bentuk oval dengan sumbu terpanjang pada arah timur barat.

Gambar 5 di bawah memperlihatkan peta topografi bagian puncak sekitar kaldera Beratan-Buyan-Tamblingan.



Gambar 5. Evolusi batas luar CT Beratan-Buyan-Tamblingan.
Awal batas CT (1); luas berkurang menjadi bentuk lonjong (2);
batas CT saat ini (3).

Angka 1, 2, dan 3 menggambarkan evolusi batas kaldera, semula luas kaldera lebih besar yang diperlihatkan oleh garis 1. Pada dinding kaldera di bagian sebelah selatan tumbuh beberapa puncak baru gunung api baru yaitu Gunung Sengayang (2.093 m) dan Adeng (1.810 m). Pertumbuhan dua gunung api baru itu menyebabkan terjadi pergeseran batas CT yang diperlihatkan oleh Garis 2. Pada fase berikutnya selanjutnya lahir tiga gunung api baru yaitu Gunung Lesong (1.860 m), Pohen (2.069 m), dan Tapak (1.905 m). Pertumbuhan Gunung Pohen sekali lagi menyebabkan pergeseran batas CT menjadi batas yang digambarkan dengan Garis 3. Bentuk batas CT yang melengkung di kaki utara Gunung Pohen disebabkan oleh erosi ke hulu (*headward erosion*) oleh Tukad Bangke di sekitar Desa Candikuning.

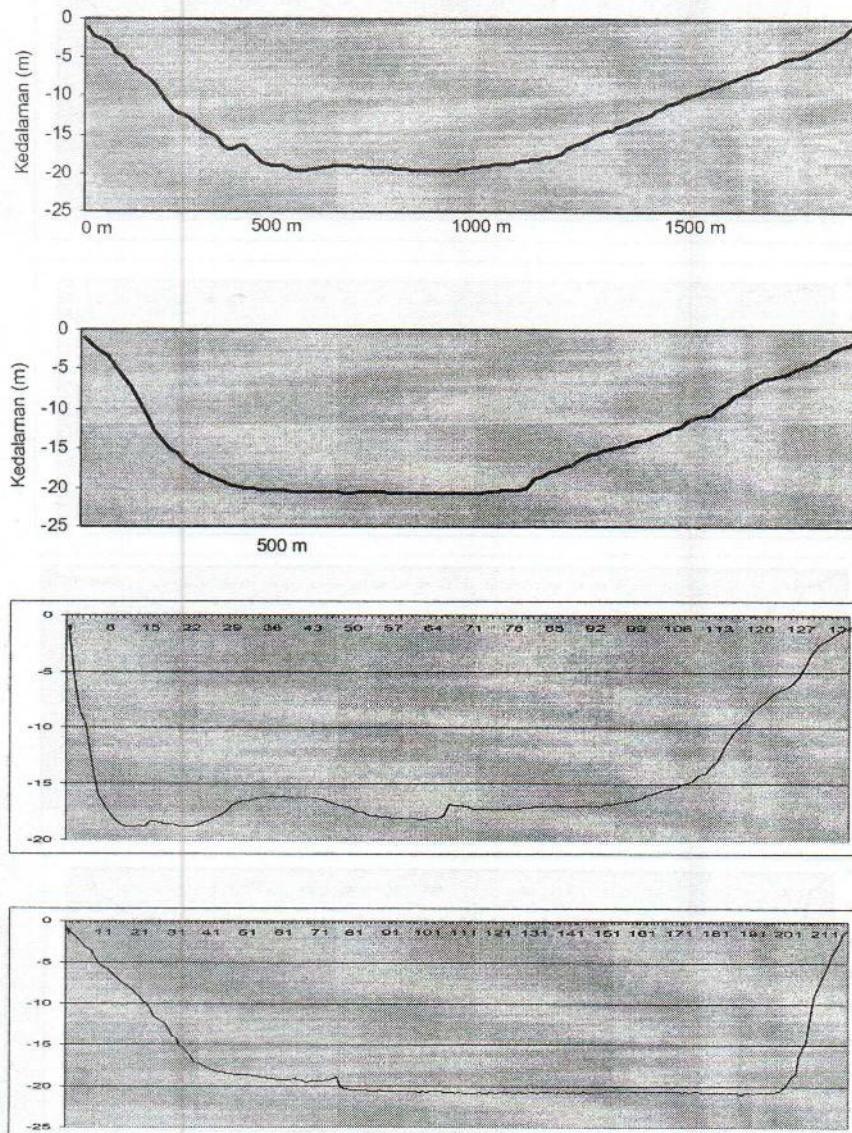
Geologi CT Beratan-Buyan-Tamblingan disusun oleh batuan alas berupa Satuan Batuan Gunung api Kelompok Buyan-Beratan Purba berupa *breksi* gunung api dan lava dan setempat *tufa*. Di atasnya diendapkan Kelompok Batuan Buyan-Beratan dan Tamblingan terdiri dari *tufa* dan lahar yang tersebar luas menutupi hampir seluruh Bali bagian tengah. Selanjutnya diendapkan Batuan Gunung api Kelompok Lesong-Pohen-Sengayang berupa lahar, *breksi*, lava dan *tufa*. Gunung Pohen terutama menghasilkan *breksi* gunung api dan kegiatan Gunung Sengayang terutama menghasilkan *tufa*.

V. DANAU BERATAN-BUYAN-TAMBLINGAN

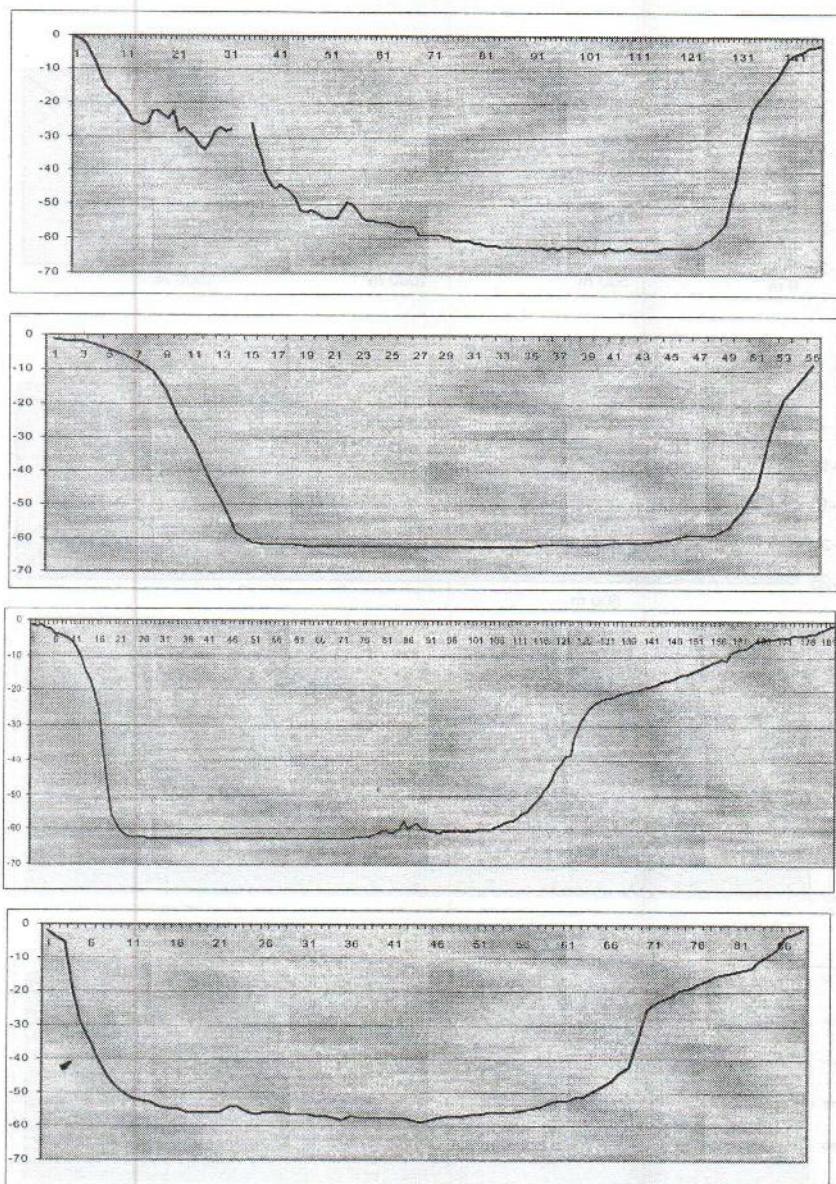
Danau Beratan yang bentuknya membulat terletak di tepi timur dari kaldera purba pada elevasi muka air danau di 1.231 meter di atas permukaan laut (dpl). Bentuknya membulat, tepi utara danau dibentuk oleh dataran aluvium pada posisi 4 - 8 meter di atas permukaan air danau. Dataran aluvium ini membentuk pemukiman desa-desa yang luas. Tepi timur dibentuk oleh tebing terjal yang adalah batas kaldera purba, dengan deretan bukit pada elevasi 1.400 – 1.550 m dpl. Batas selatan dibentuk oleh peralihan tepi kaldera menjadi dasar kaldera, merupakan daerah wisata. Sebuah galian (baru) berbentuk saluran air di tepi selatan CT ini terlihat, diduga untuk pengaliran dan pengendalian tinggi muka air danau. Alasan pembuatan galian ini kiranya perlu didalami kembali, untuk menjawab pertanyaan apakah alam (yaitu tinggi air di danau) yang harus menyesuaikan diri dengan prasarana dan sarana yang dibuat manusia, ataukah manusia yang patut juga menyesuaikan diri dengan dinamika yang berlangsung di alam. Tepi barat Danau Beratan adalah dataran aluvium yang juga padat hunian dan jalan raya utama yang menghubungkan Tabanan dan Singaraja.

Morfologi atau bentuk dasar danau diperlihatkan di Gambar 6. Penampang paling atas adalah jalur pengukuran dari barat ke timur, dimulai dari Pura Ulundanu di sebelah kiri gambar. Suhu air adalah 21,4°C. Penampang keempat, bagian bawah Gambar 6, adalah dari utara ke selatan ke arah kawasan wisata air. Menarik dicatat dari penampang ini ialah bentuk dasar danau yang rata pada kedalaman 20 – 21 meter lalu tiba-tiba pada ujung selatan di Bukit Mungsuindah menjadi sangat curam. Pada batas yang curam inilah ada galian yang hendak mengalirkan air keluar dari Danau Beratan.

Danau Buyan terletak di tepi utara kaldera purba dan CT Beratan-Buyan-Tamblingan. Danau ini berbentuk lonjong pada arah timur-barat pada batas utara CT. Suhu air di danau adalah 21,2°C. Batas utara danau dibentuk oleh tebing terjal yang ditumbuhi pepohonan lebat, konsep dasar *water front city* diterapkan secara tepat, tidak ada bangunan antara jalan dan badan air. Batas timur berbentuk dataran landai, demikian pula batas selatan, kedua daerah ini semakin banyak berubah menjadi kawasan pertanian dan hunian. Batas barat berbentuk dataran tinggi yang membatasi dengan Danau Tamblingan.



Gambar 6. Penampang dasar Danau Beratan. Dua penampang di atas adalah pada arah timur-barat dan penampang paling bawah adalah utara ke selatan.



Gambar 7. Penampang dasar atau batimetri Danau Buyan hasil pengukuran Juli 2005.

Tiga kontras terlihat, antara dasar danau yang landai oleh sedimentasi, dasar danau yang rata, dan tebing dasar danau yang curam tanpa sedimentasi.

Gambar 7 di atas memperlihatkan bentuk profil dasar danau atau batimetri Danau Buyan hasil pengukuran bulan Juli 2005. Penampang paling atas adalah transek yang mulai diukur dari kawasan perkemahan Dusun Dasong di tepi kiri penampang, ke arah barat laut di perbatasan dengan Danau Tamblingan di kanan penampang. Bentuk yang bergelombang di bagian sebelah kiri penampang adalah indikasi sedimentasi yang intensif ke dalam danau. Penampang ke dua adalah hasil pengukuran dari tepi utara yang curam ke arah selatan yang memperlihatkan bentuk dasar danau yang rata pada kedalaman 62 – 63 meter. Penampang ke tiga dan ke empat, masing-masing pada sisi kanan penampang, kembali memperlihatkan dampak proses sedimentasi yang cukup besar ke dasar danau. Suhu air di permukaan danau adalah 21,2°C.

Badan air di Danau Buyan tidak digunakan untuk aktivitas wisata. Aktivitas perikanan di danau ini ditandai oleh pemasukan atau introduksi spesies ikan komersial oleh penduduk setempat. Sejumlah karamba terlihat di tepi selatan danau ini. Pertanian dengan tanaman semusim di kawasan sebelah selatan danau ini menggunakan teknologi yang memungkinkan terjadinya sedimentasi ke badan air danau. Penurunan muka air danau pada saat kunjungan lapangan mencapai dua meter dan dataran yang terbentuk oleh surut air dimanfaatkan oleh penduduk setempat untuk pertanian tanaman semusim.

Tabel 1. Data Lapangan dari Danau Beratan-Buyan-Tamblingan, Juli 2005

Danau	Elevasi (m dpl)	DT Air (km ²)	Luas Danau (km ²)	Volume Air (Juta m ³)	Maximum Dalam (m)	Panjang (km)	Lebar (km)
Beratan	1.231	13,4	4,21	48.45	20,8	2,0	2,0
Buyan	1.214	24,1	5,16	135,52	62,8	4,1	1,5
Tamblingan	1.214	9,2	1,42	24,82	35,5	1,7	0,9

Gambar 8 memperlihatkan hasil pengukuran di Danau Tamblingan yang merupakan danau terkecil diantara ketiga danau yang diteliti. Terletak di sisi timur CT, sama dengan bentuk umum Danau Buyan, tepi barat Danau Tamblingan juga membentuk tebing yang curam. Tepi utara letaknya dekat dengan batas Danau Buyan pada jarak kurang dari 400 meter, elevasi air di kedua danau ini berada pada ketinggian yang sama yaitu 1.214 m dpl. Tepi utara ini membentuk hutan yang tidak terlalu lebat namun asri sehingga sedang berkembang menjadi trek lantas alam yang menarik. Batas timur danau adalah tinggian bergelombang yang dibentuk oleh kaki Gunung Pancarsari dan Lesung yang merupakan wilayah hutan cagar alam. Batas selatan dan tenggara danau adalah pemukiman penduduk dan juga telah berkembang menjadi kawasan wisata. Indikasi sedimentasi ke dalam danau dari ujung sel-

tan danau Tamblingan terlihat jelas dari bentuk dasar danau yang landai maupun warna air yang keruh. Suhu air danau adalah 21,2°C.

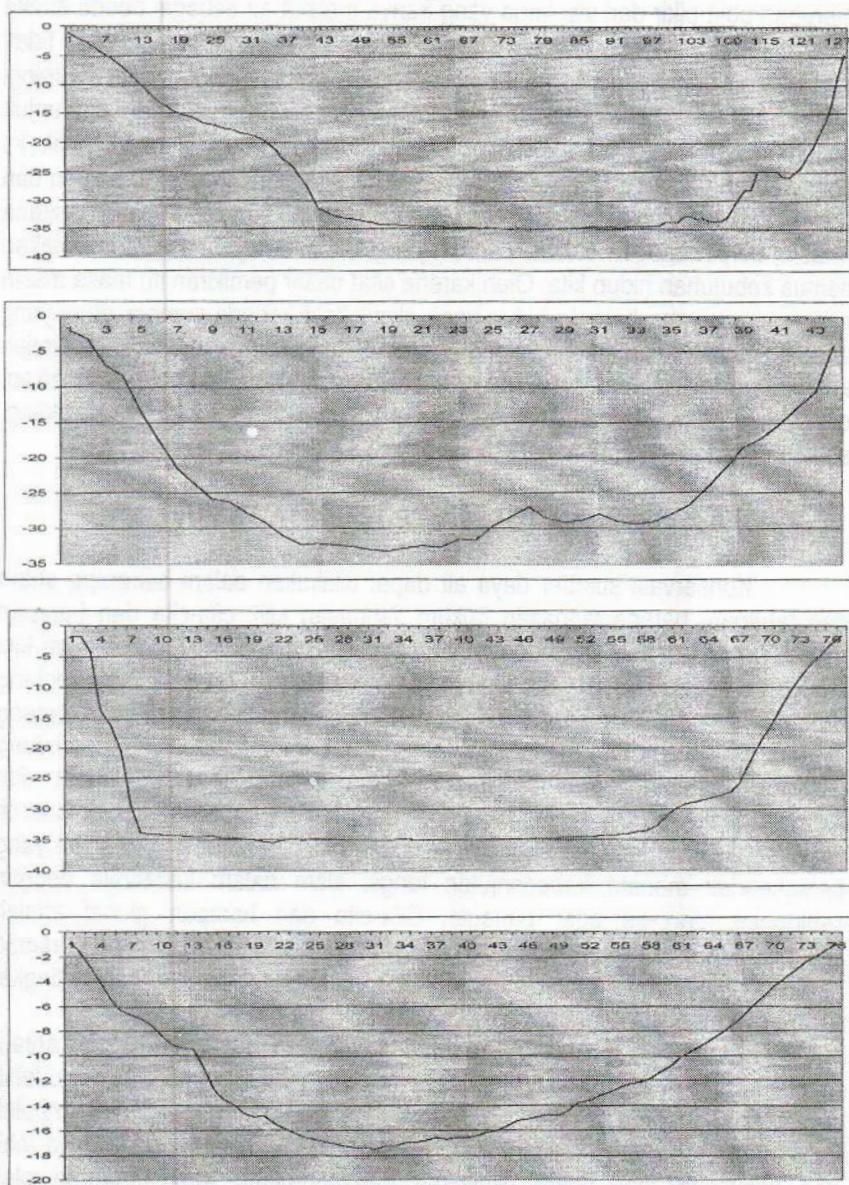
Tepi barat Danau Tamblingan dan tepi utara Danau Buyan berbentuk tebing yang terjal, bukan hanya yang tampak di permukaan tetapi juga menerus ke dalam dasar danau sebagaimana diperlihatkan Gambar 7 dan Gambar 8. Batuan pembentuk tebing ini adalah andesit yang memperlihatkan gejala *sheeting* atau terbelah pipih yang secara geologi adalah batuan dasar untuk kawasan CT ini. Secara fisik batuan andesit merupakan batuan yang kedap air namun sifat membelah pipih ini dan adanya lapisan tipis batuan piroklastik satuan lain di antaranya mungkin adalah jalur aliran air tanah ke wilayah sekelilingnya pada elevasi yang lebih rendah. Satuan batuan *tufa* berbutir menengah hingga halus membentuk bagian tengah CT, yaitu di selatan Danau Buyan dan di timur Danau Tamblingan, sehingga mempunyai konduktivitas hidrolik diperkirakan berkisar antara 10^{-3} dan 10^{-1} cm/detik.

VI. PERAN EKOSISTEM

Sebagaimana telah diuraikan di atas, visi lama mengelola air diartikan hanya mengelola benda air saja. Padahal visi itu telah berubah sebagaimana diamanatkan oleh UU No.7/2004 tentang sumber daya air. Dalam visi baru itu dinyatakan secara jelas bahwa air akan dikelola dengan cara baru, yaitu menata air beserta seluruh ekosistemnya dalam satu kesatuan pengelolaan yang utuh. Visi baru yang diusung undang-undang tentang sumber daya air ini juga mengamanatkan perlunya air dilihat sebagai benda sosial, lingkungan hidup, dan ekonomi yang berarti dalam mengelola air perlu keseimbangan diantara ketiganya, bukan mendahulukan atau mengutamakan satu di atas lainnya.

Pengertian air sebagai benda ekonomi bukan berarti benda air yang dihargai secara ekonomi (sebagaimana sering tertulis di sejumlah tulisan di media massa). Pengelolaan lingkungan memiliki arti ekonomi karena di satu pihak memang perlu dana untuk pengelolaan ekosistem tetapi di pihak lain ia juga adalah sumber dana segar karena ia menyediakan air untuk kehidupan, ia memelihara alam yang menjadi sumber kekuatan ekonomi dalam pembangunan pertanian dan untuk industri pariwisata, ia dapat menghindarkan bencana alam karena kerusakan tata air, ia memelihara kesehatan karena kualitas dan kuantitasnya yang memadai, dan ia membentuk iklim mikro yang nyaman untuk kehidupan. Inilah sebagian dari arti ekonomi sumber daya air, yang merupakan nilai jasa lingkungan yang bermanfaat untuk kehidupan, pengertian yang oleh sejumlah pihak masih sering disalahpahami karena dinyatakan seakan-akan negara akan menjual air (pengusahaan air).

Penampang dasar atau batimetri danau



Gambar 8. Penampang dasar danau atau batimetri Danau Tamblingan, Bali. Profil atas sepanjang sumbu danau dari selatan ke utara. Profil ke tiga pada lebar danau dari tepi barat ke batas timur danau.

Peran ekosistem ini hanya dapat dipahami apabila kita telah dapat merubah pola pikir dari visi lama yang hanya melihat air sebagai benda airnya saja, menjadi pola atau visi baru yang melihat air sebagai bagian yang tidak terpisahkan dengan dinamika ekosistem yang terkait dengan daur hidrologi penyediaan air. Air disediakan oleh alam dan air menyediakan diri untuk keberlangsungan fungsi ekosistem alam. Keterkaitan yang timbal balik ini sering kurang disadari. Bahkan keterkaitan air dan alam itu adalah bagian dari denyut nadi kehidupan, denyut nadi alam yang sudah lama kita abaikan karena (masih) berpandangan bahwa alamlah yang harus melayani dan menyediakan semua kebutuhan hidup kita. Oleh karena sifat dasar pemikiran itu maka masih ada manusia yang berpola hidup yang eksploratif kepada sumber daya yang ada di alam. Kearifan tradisional yang sesungguhnya memiliki sejumlah kebenaran dalam memahami fungsi ekosistem, di masa lalu telah terbaik, dilecehkan, dan direndahkan sebagai pemikiran orang yang terbelakang, stigma yang diberi kepada mereka yang hanya patut hidup di desa.

VII. KEBIASAAN, TRADISI, DAN BUDAYA TERKAIT AIR

Konservasi sumber daya air dapat dilakukan dalam beberapa strata dan tahapan, berupa landasan hukum, landasan idil, cita-cita dan harapan global, peran agama, dan budaya serta tradisi. Sebagai landasan hukum kini telah ada acuan utama yaitu Undang-Undang Nomor 7 tahun 2004 tentang Sumber Daya Air disamping sejumlah undang-undang lain terkait yaitu tentang sumber daya alam, tata ruang, kehutanan, dan pemerintahan. Undang-undang dilengkapi dengan peraturan daerah yang secara spesifik menata dan mengatur sumber daya alam, instansi pemakai dan masyarakat di daerah tersebut. Dengan landasan idil dimaksudkan cita-cita luhur dan kearifan yang berkehendak menata keberlanjutan fungsi alam dalam kaitannya dengan kehidupan manusia agar bahagia. Cita-cita dan harapan global adalah kesepakatan regional dan internasional yang merupakan konsensus bersama para pemimpin dunia untuk mengatur dan mengendalikan arah serta tingkat eksplorasi manusia kepada alam ekosistem tempat hidupnya.

Peran agama untuk menata kehidupan yang harmonis antara manusia dengan alam tempat hidupnya adalah nyata dan untuk itu perlu lebih digali dan dijabarkan kedalam pengertian yang jelas agar dapat dimengerti oleh kehidupan orang yang menamakan dirinya modern. Tradisi dan budaya lahir dari kebiasaan baik yang dilakukan berulang-ulang turun temurun oleh masyarakat sehingga menjadi bagian dari pola kehidupannya. Kearifan tradisional di berbagai daerah terutama di daerah urban dan perkotaan telah tersisihkan oleh apa yang oleh sebagian orang dianggap sebagai modernisasi dan oleh karena itu secara mudah mereka bertransformasi dalam perilaku hidup sambil beralih memakai simbol-simbol dunia glamor dan meninggalkan

tradisi dan budaya dari orang tua. Konservasi dan kearifan tradisional sesungguhnya berangkat dari akar dan alam pikiran yang mirip bahkan sama, yang oleh para filosof dinyatakan sebagai humanisme-antroposentisme.

VIII. PENATAAN RUANG

Pertanyaan pertama yang perlu diajukan sejak awal adalah apakah penataan ruang perlu dibahas dalam menyusun sebuah pola pengelolaan serta rencana kegiatan yang terkait air? Jawabannya secara gamblang adalah ya! Penataan ruang serta tata lahan sangat berpengaruh kepada keberlanjutan ketersediaan air dalam jangka panjang. Sebagaimana dikemukakan di bagian awal, ketersediaan air yang lestari tergantung kepada kesehatan dan daya dukung ekosistem yang terkait dengan air, sebuah dinamika penyediaan air yang dijelaskan sebagai daur hidrologi.

Penyusunan rencana tata ruang adalah proses berjenjang yang sangat penting untuk dilakukan secara terencana dengan baik. Tata ruang bukanlah dokumen peruntukan ruang saja, tetapi ia adalah dokumen yang menata agar dalam jangka panjang tercipta keseimbangan yang harmonis antara manusia dalam melakukan kegiatannya dengan alam yang menopang (dan dieksplorasi oleh) berbagai kegiatan itu sehingga keseimbangan itu dapat terus menopang kehidupan yang berkelanjutan. Dengan kata lain, sebuah rencana tata ruang bukan berupa kapling-kapling peruntukan tanah dan lahan tempat manusia melakukan kegiatannya tetapi ia memuat hasil analisis yang mendalam antara daya dukung alam dan jenis serta tingkat eksplorasi yang diperkenankan.

Rencana tata ruang adalah hasil kajian dari berbagai disiplin ilmu, oleh berbagai departemen dan sektor, universitas serta lembaga penelitian, kajian dari masyarakat dan pengusaha, yang semuanya disusun menjadi peta *overlay* atau peta tumpang tindih yang daripadanya dapat disarikan peruntukan ruang yang dikehendaki. Ketersediaan air adalah salah satu unsur penting dalam tata ruang. Peran ruang (atau ekosistem) untuk dapat terus menyediakan air dan mengendalikan daya rusak air yang terkait dengan perubahan sifat bentang alam dan sifat fisik tanah akibat pemanfaatan ruang, adalah masukan untuk penetapan pemanfaatan ruang atau lahan. Dalam penyusunan tata ruang di masa lalu telah terjadi kerancuan yang kini telah diperbaiki dengan undang-undang baru, di masa lalu sebuah rencana tata ruang pertama-tama disusun dan selanjutnya adalah tugas departemen tertentu untuk menyediakan air. Kini dengan arahan undang-undang, ketersediaan air dan daya dukung lingkunganlah yang menjadi parameter untuk dipakai sebagai dasar dalam menentukan peruntukan tata ruang.

Terkait dengan sifat air yang dinamis, sebuah rencana tata ruang mesti melihat kaitan antara daerah hulu dan hilir. Kaitan itu bersifat hak,

kewajiban, dan tanggung jawab (terutama untuk sungai dan air tanah yang mengalir melalui dua atau tiga Kabupaten yang berbeda). Sebagai contoh, pencemaran air di daerah hulu umpama dari pestisida atau pemupukan yang berlebihan akan menyebabkan pencemaran air sehingga Kabupaten di sebelah hilir akan menerima dampak ekonomisnya karena biaya pengolahan air yang tinggi. Atau sebaliknya, Kabupaten di sebelah hulu harus mempertahankan fungsi hidro-oroalogis hutan agar air terus tersedia sepanjang tahun, padahal Kabupaten di sebelah hilir yang menerima pajak air dari sungai yang jernih dan air tanah yang berlimpah.

Penataan ruang yang terkait tata air diawali dari kebijakan Pemerintah Pusat berupa 'arahan pola pengelolaan air' yang dilakukan antar menteri/departemen atau sektor dalam sebuah institusi badan yang dinamai Dewan Air Nasional. Pola kebijakan ini tidak bersifat implementatif tetapi hanya bersifat arahan garis besar. Kemudian di provinsi ada Dewan Air Provinsi yang berdasar arahan pola pengelolaan air nasional, kemudian menyusun 'pola pengelolaan air' tingkat provinsi. Pola ini dapat diterjemahkan ke dalam *master-plan* atau rencana induk pengelolaan air provinsi. Pola pengelolaan dan rencana induk ini tentu mesti mengakomodasi kepentingan berbagai Kabupaten dan hal-hal yang terkait hak, kewajiban dan tanggung jawab masing-masing Kabupaten tentu telah terakomodasi. Berdasar pola pengelolaan air dan rencana induk provinsi inilah kemudian akan dijabarkan oleh Kabupaten menjadi 'rencana pengelolaan sumber daya air' yang sudah tentu akan lebih bersifat implementatif di masing-masing daerah. Oleh masing-masing kantor dinas di Kabupaten kemudian rencana ini dijabarkan ke dalam program kerja lima tahunan dan rencana kerja tahunannya.

Sebagai satuan pengelolaan sumber daya air telah ditetapkan adalah wilayah sungai (WS). Sebuah WS terdiri dari satu atau beberapa DAS yang oleh sebab-sebab tertentu terkait satu dengan lainnya, umpama karena kondisi sosial atau karena ada pengaliran air dari satu DAS ke DAS lainnya. Yang patut dicatat pula ialah penetapan undang-undang bahwa sebuah pulau kecil atau kelompok pulau kecil mesti dikelola sebagai satu WS. Meski luasan yang ditetapkan terkait definisi pulau kecil adalah pulau dengan luas kurang dari 2.000 km², namun tidak tertutup kemungkinan bahwa seluruh Pulau Bali ditetapkan ke dalam satu WS. Ini disebabkan karena keterkaitan ekonomi dan sosial yang sangat erat antara satu wilayah dengan wilayah lainnya di Bali dalam kedudukannya sebagai kawasan wisata. Oleh karena itu patut ditetapkan Pulau Bali sebagai satu kesatuan WS yang dengan demikian akan mempunyai satu 'pola pengelolaan air' yang diikuti dan dipatuhi oleh semua Kabupaten.

IX. MANAJEMEN SUMBER DAYA AIR

Ada kesalahan pengelolaan air di masa lalu yang telah berulang kali dikemukakan dalam tulisan ini namun akan terus dinyatakan kembali. Dalam upaya menyediakan air bagi masyarakat, bukan hanya perlu mengelola airnya saja tetapi ada dua komponen penting lainnya yaitu mengelola ekosistem yang ikut menyediakan air dan mengendalikan pencemaran air. Sifat yang secara konvensional melekat dalam proses pengadaan air, hampir selalu dinyatakan hanya dalam dua parameter saja yaitu kualitas dan kuantitas. Namun ada parameter tiga lain yang tidak kalah penting yaitu ketersediaan dalam ruang (atau wilayah atau daerah tertentu), dalam waktu (di bulan atau minggu atau hari tertentu sepanjang tahun), dan parameter budaya, tradisi, bahkan agama. Secara populer air dinyatakan perlu memenuhi syarat parameter "warung bu lita" yaitu singkatan dari waktu; *ruang; budaya; kualitas; dan kuantitas*.

Disamping mengelola parameter air yang diuraikan di atas, ada pula sifat air yang mesti dikelola yaitu daya rusak air. Daya rusak air bukan hanya akibat banjir saja, tetapi juga akibat kekeringan, longsor, kesehatan atau penyebaran macam-macam penyakit terkait air, mahalnya harga air yang berdampak kepada ekonomi, kebakaran hutan, amblesan tanah, intrusi air asin, gagal panen, dan punahnya hewan dan tanaman tertentu.

Mengelola air tidak dapat dilakukan oleh masing-masing sektor saja tetapi mesti terkoordinasi. Upaya koordinasi dilakukan dengan membangun sebuah arahan pola pengelolaan air, rencana induk, program lima tahunan dan program tahunan, lalu rencana kegiatan. Butir pertama dilakukan di pemerintahan pusat, ke-dua dan ke-tiga di provinsi, rencana selanjutnya di tingkat Kabupaten, dan terakhir di tingkat dinas. Dengan demikian mengelola air bukanlah hanya menggunakan pendekatan sektor atau departemen atau keilmuan saja, tetapi berlangsung dalam simfoni koordinasi yang indah.

Beberapa teknologi yang dapat melibatkan masyarakat luas dalam penerapannya adalah *reduce, re-use, and re-cycle* dari air. Teknologi dan cara-cara serta petunjuk dapat diberikan oleh pemerintah, universitas, dan lembaga penelitian tetapi keterlibatan masyarakat adalah mutlak. Sejumlah hotel di Nusa Dua telah memanfaatkan teknologi ini, contoh-contoh yang lain patut dibantu identifikasi dan diangkat untuk ditularkan kepada masyarakat luas lainnya. Teknologi pertanian yang juga dinamai *green technology*, seleksi jenis tanaman yang hemat air namun bernilai ekonomi tinggi, identifikasi tanaman dengan kebutuhan kualitas air yang tidak terlalu baik, patut menjadi perhatian para pengelola air.

X. PENUTUP

Air merupakan sumber daya yang berbeda dengan sumber daya alam lainnya oleh karena air selalu bebas bergerak melintasi batas-batas benua dan samudera, batas negara, wilayah pemerintahan, dan batas geografi lainnya. Jumlah air hujan yang turun di daratan lebih banyak daripada air yang menguap daripadanya. Perbedaan inilah yang mesti dikelola dengan arif, yaitu dalam satu kesatuan dengan ekosistem alam yang menjadi bagian dari daur hidrologi.

Cekungan tertutup (*endorheic basin*) Beratan-Buyan-Tamblingan yang merupakan bekas kaldera gunung api purba di Bali bagian tengah adalah fenomena yang unik, sebuah gejala alam yang tidak banyak terdapat di daerah lain. Permukaan air Danau Beratan berada pada ketinggian 1.231 m dpl, air Danau Buyan dan Tamblingan keduanya sama tinggi berada pada elevasi 1.214 m dpl. Sisi utara cekungan tertutup ini dibentuk oleh satuan lava andesit dengan sistem perkekaran, sedangkan bagian tengah dan selatan dibentuk oleh *tufa* dan proklastik kasar lainnya. Pembuatan saluran atau galian di tepi selatan Danau Beratan patut dikendalikan dengan arif dan bijaksana agar tidak menghilangkan sifat khas dan fungsi ekosistem cekungan ini.

Pengelolaan sumber daya alam umumnya dan air khususnya mesti dibangun berdasar data hasil pengukuran lapangan agar dapat disusun rencana pembangunan yang berkelanjutan. Pengelolaan sumber daya air dan penetapan daya dukung di kawasan ini untuk penyusunan rencana tata ruang merupakan pekerjaan yang memerlukan data terukur secara rinci. Oleh karena itu makalah ini membatasi diri dengan hanya memberikan sejumlah pilihan awal untuk kelak dikembangkan dalam penyusunan rencana tata ruang.

Interaksi hulu hilir, antar Kabupaten, adalah masalah penting dalam pengelolaan air. Tugas, kewajiban, tanggung jawab, hak dan wewenang pengelolaan air masing-masing Kabupaten dapat disusun berdasar sebuah pola pengelolaan sumber daya air yang ditetapkan bersama-sama pada tingkat Provinsi. Dari pola pengelolaan ini kemudian dapat disusun rencana induk (*master plan*), program kerja, dan rencana kegiatan oleh Dinas di Kabupaten.

Daya dukung air di sebuah cekungan tidak dapat memakai matematik sederhana berupa jumlah air dibagi dengan jumlah orang tambah kebutuhan pertanian tambah keperluan biodiversitas di wilayah itu. Pengadaan air sama pentingnya dengan pengendalian pencemaran air. Teknik dan pilihan teknologi untuk menghindari pencemaran air harus menjadi bagian yang menyatu dengan pola pikir birokrat dan masyarakat setempat. Undang-undang, peraturan pemerintah, peraturan daerah, adalah perangkat hukum yang menjadi landasan acuan dalam mengelola air. Kearifan tradisional, budaya, dan latar belakang agama merupakan landasan pikir yang kuat dalam membangun peran serta masyarakat dalam pengelolaan air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Makalah ini dapat disusun atas bantuan dari berbagai fihak. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Pusat Penelitian Limnologi dan Pusat Penelitian Geoteknologi - LIPI yang memberikan kesempatan untuk melakukan pekerjaan ini. Diskusi yang hangat menggali kembali hasil kerja lapangan di kawasan ini pada tahun 1993 lalu dilakukan dengan Saudara Robert Delinom. Dorongan dan optimisme diberikan oleh Saudara Mustaid Siregar yang telah mengambil inisiatif untuk menyelenggarakan pertemuan ini. Bersama Saudara I Gede Wawan Setiadi dari Kebun Raya "Eka Karya" Bali telah dilakukan pengukuran batimetri di ketiga danau dalam suasana yang gembira. Banyak staf kantor Kebun Raya "Eka Karya" Bali yang tidak dapat disebut namanya satu demi satu telah memberikan bantuan yang tulus.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 1992. Studi Daya Dukung Habitat Fauna dan Flora Endemik serta Hidrologi di Kawasan Cagar Alam Batukahu, Bali, untuk Perencanaan Pengusahaan Panas Bumi, LIPI – PERTAMINA. *Unpublished Report*. Jakarta.
- Anonim. 2000. Peta Rupabumi Digital Indonesia, skala 1 : 25.000, lembar Gitgit 1707-632, Baturiti 1707-614, Sukasada 1707-631, dan Pupuan 1707-613. Bakosurtanal, Cibinong.
- Delinom, R. M., M. Djuwansah dan M. F. Siregar. 1997. Hydrological Behaviour of Lake Beratan, Buyan, and Tamblingan : a Water Balance Approach. Proceeding of Workshop on Ecosystem Approach to Lake and Reservoir Management. Puslit Air – LIPI – UNESCO. Denpasar, Bali. P: 27 – 50.
- Delinom, R. M. dan E. P. Utomo. 2001. Watershed Management Plan for Lake Beratan, Buyan, and Tamblingan Basins, Bali. Proceeding Asia-Pacific Workshop on Ecohydrology. Limnology - LIPI, Cibinong.
- Hadiwidjojo, M. M. P., H. Samodra dan T.C. Amin. 1998. Peta Geologi Lembar Bali, Nusa Tenggara skala 1 : 250.000. Edisi ke dua. PPPG, Bandung.
- Hehanussa, P.E. 2001. Transformation from Traditional Water Use to Conjunctive Management, a Need for Sustainable Decentralization Practice. Proceedings of Asia-Pacific Workshop on Ecohydrology, IHP-V Technical Document in Hydrology, UNESCO. Jakarta. P:1 – 14.
- Hehanussa, P.E., G. S. Haryani, and H. Pawitan. 2003. Proceedings of the 2nd Asia Pacific Training Workshop on Ecohydrology, IHP-UNESCO and Limnology-LIPI. Jakarta. Pp: 245.

- Kayane, I. 1992. Water Cycle and Water Use in Bali Island. Research Related to UNESCO's International Hydrological Programme in Japan, 1988-1990. Tsukuba, Japan.
- Mulyadi, Achmad, E. J. Joenoes, and N. M. Widiasari. 2005. Bedugul Geothermal Project and Developments. Proceedings World Geothermal Congress, 24 – 29 April 2005. Antalya, Turkey.
- Shiklomanow, I. A. 1998. World Water Resources, A New Appraisal and Assessment for the 21st Century, UNESCO-Paris. RPL Design Milton Keynes, UK. Pp: 37.