

PENGEMBANGAN AIR TANAH BERKELANJUTAN UNTUK IRIGASI DI CEKUNGAN TUKAD DAYA BARAT, JEMBRANA, BALI ^{*)}

Oleh:

S. Soetrisno ^{)}**

Air tanah telah memberikan kontribusi yang besar bagi peningkatan produksi pertanian terutama pada musim kemarau di cekungan Tukad Daya Barat lewat sistem irigasi sumur pompa sejak dasa warsa 80an. Mengingat sistem irigasi air permukaan di cekungan tersebut dari Waduk Palasari dan Bendung Benel sering mengalami kekurangan air pada musim kemarau, maka pengembangan air tanah tetap menjadi satu solusi untuk membantu para petani lokal mewujudkan pertanian sepanjang tahun dengan memanfaatkan sumber daya air tanah melalui *Decentralized Irrigation System Improvement Project in Eastern Region of Indonesia* (DISIMP).

Dengan melibatkan 22 kelompok petani pemakai sumur pompa dari 5 organisasi *subak* penggunaan air saling menunjang (*conjunctive use*) telah dan akan dipraktekkan dalam usaha mencapai keuntungan yang optimal dalam pemanfaatan sumber daya air.

Akuifer paling utama di cekungan Tukad Daya terdiri dari pasir kasar hingga kerikil dari formasi Palasari yang didominasi oleh batuan setengan padu dari conglomerate dan batupasir. Akuifer ini merupakan akuifer berlapis jamak (*multi layers*) dijumpai pada kedalaman beragam mulai 40m hingga 100m dari muka tanah setempat. Keterusan akuifer ini tinggi antara 1.300 hingga 6.000 m²/hari dan debit rata-rata per sumur mencapai 20 l/dtk. Meskipun demikian, mengingat sistem akuifer dalam dan dangkal serta sistem sungai secara hidrologi saling berhubungan, bocoran ke bawah mungkin terjadi dari sungai dan akuifer dangkal ke akuifer dalam. Oleh sebab itu pengembangan air tanah berkelanjutan untuk irigasi dari akuifer Palasari perlu dilakukan secara hati-hati.

Imbuan terendah ditetapkan sebesar 396 mm/tahun atau sekitar 6 juta m³ dan dipakai sebagai luah berkelanjutan (*sustainable yield*). Pemompaan per sumur dibatasi antara 15-20 l/dtk dan dengan jumlah sumur yang nantinya berjumlah 22 buah dan jam operasi pompa 2.000 jam/tahun, pengambilan air tanah tahunan dihitung sebesar 3,2 juta m³. Angka ini masih di bawah luah berkelanjutan, sehingga sumber daya air di cekungan Tukad Daya Barat dapat dipertahankan tetap *ajeg*.

^{*)} Makalah untuk Seminar Nasional Hari Air Dunia 2006, 25 April 2006 di Jakarta

^{**)} Groundwater Irrigation Engineer, pada Nippon Koei Co. Ltd. & Associates, DISIMP Office,
Denpasar, Bali dan PT. GeoACE, Bandung
Address: Jln. Badak I/10, Renon, Denpasar, Bali
E-mail : tris@bdg.centrin.net.id

1. Latar Belakang

Di Kabupaten Jembrana air tanah telah digunakan untuk irigasi sejak bertahun-tahun lalu, karena sistem irigasi air permukaan airnya tidak mencukupi selama musim kemarau. Hal ini dilaksanakan menyusul beberapa studi dan proyek air tanah yang sebelumnya dilakukan di Bali. Beberapa di antaranya yang mencakup pengeboran sumur adalah proyek-proyek berikut ini: i) Air Tanah Bali (1977) dan ii) Penyelidikan Air Tanah Bali Selatan (1985). Dalam beberapa dekade terakhir pengembangan air tanah (termasuk pengeboran sumur-sumur produksi) dilaksanakan oleh Bagian Proyek Pengembangan Air Tanah Bali (pendahulu Bagian Pelaksana Kegiatan Pengembangan Air Tanah Bali) dengan biaya dari APBN.

Pengembangan air tanah untuk irigasi di Bali yang saat ini sedang berjalan adalah bagian dari kegiatan *Decentralized Irrigation System Improvement Project in Eastern Region of Indonesia* (DISIMP) atau Proyek Perbaikan Sistem Irigasi Terdesentralisasi di Kawasan Indonesia Timur untuk membantu para petani lokal yang tinggal di daerah yang tidak tercakup dalam sistem irigasi atau tidak dapat bercocok tanam sepanjang tahun. DISIMP adalah kelanjutan dari *Small Scale Irrigation Management Project* (SSIMP) III yang didanai dari pinjaman luar negeri Pemerintah Jepang melalui *Japan Bank for International Cooperation* (JBIC) Loan IP-509.

Melalui pendekatan perencanaan yang partisipatif, pengembangan air tanah ini melibatkan para petani penerima manfaat dalam perencanaan dan pelaksanaan sejalan dengan kebijaksanaan daerah, dengan tujuan :

- meningkatkan ketahanan pangan,
- mewujudkan pemanfaatan sumber daya alam secara efektif,
- meningkatkan pendapatan dan taraf hidup petani dan penduduk di sekitar lokasi proyek
- mempromosikan keikutsertaan petani dalam pembangunan pertanian berkelanjutan, dan

- mempromosikan pengelolaan sistem irigasi terdesentralisasi, yang menyerahkan pengelolaan sistem irigasi, termasuk biaya operasi dan pemeliharaan pada petani sendiri, sementara pemerintah sebatas memberikan bimbingan dan pembinaan.

Dengan tujuan tersebut, pengembangan air tanah di Bali, khususnya di cekungan Tukad Daya Barat, Kabupaten Jembrana jelas harus dapat menjamin keberlanjutan sumber daya air dan pembangunan pertanian di daerah Jembrana, terutama mengingat daerah tersebut sering mengalami kekurangan air saat musim kemarau.

Keberadaan irigasi air permukaan di cekungan Tukad Daya Barat yang bersumber dari Bendung Benel (saat ini sedang dalam taraf pembangunan Waduk Benel yang berlokasi di hulu bendung) serta Waduk Palasari, belum mampu mengairi seluruh daerah layanannya sepanjang tahun. Oleh sebab itu pengembangan air tanah di cekungan ini merupakan suatu keniscayaan untuk mewujudkan pertanian sepanjang tahun.

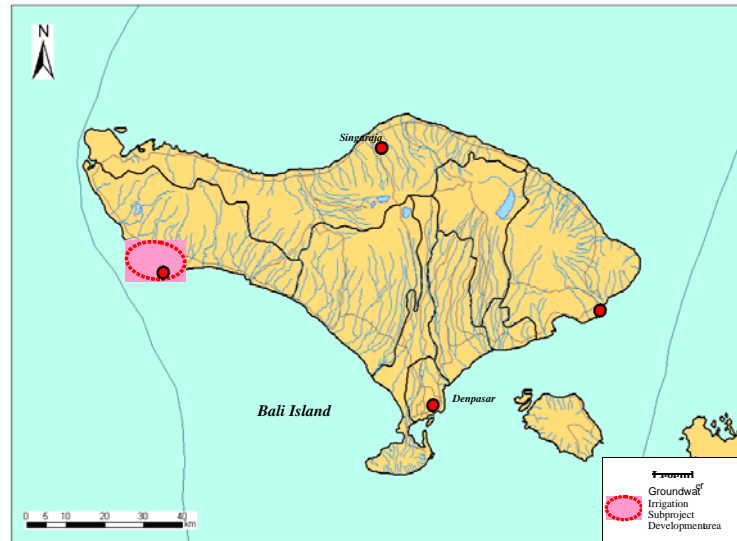
Tulisan ini bermaksud menguraikan secara singkat pengembangan air tanah berkelanjutan untuk irigasi didasarkan potensi air tanah dengan melibatkan petani penerima manfaat melalui pendekatan pemanfaatan air saling menunjang serta batasan luah berkelanjutan.

2. Cekungan Tukad Daya Barat

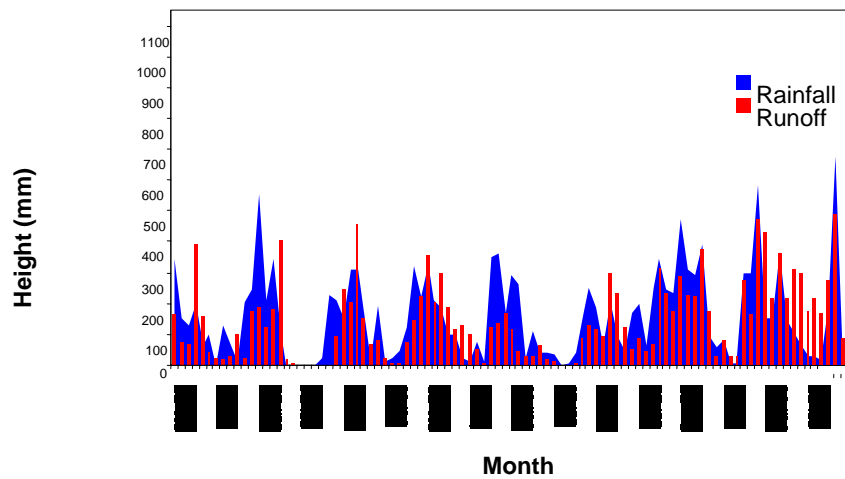
Cekungan Tukad Daya Barat terletak di Kabupaten Jembrana, Bali Barat, sekitar 120km barat laut Kota Denpasar ibukota Provinsi Bali (Gb.1). Sungai (S.) Tukad Daya Barat sendiri mempunyai panjang sekitar 30 km dan bermuara di Selat Bali. Daerah tangkap S. Tukad Daya Barat adalah sekitar 88 km². Namun demikian seluruh cekungan, di mana S. Tukad Daya dan S. Sangyang Gede sendiri berada mempunyai area seluas 244 km².

Cekungan ini menerima curahan hujan sebesar 1.679 ~ 1.879 mm per tahun. Musim penghujan umumnya berlangsung antara November dan Februari, sementara musim kemarau secara nyata beralansung dari April hingga Oktober. Limpasan permukaan rata-rata didasarkan pada observasi di Bendung Benel pada S. Tukad Daya Barat

adalah sebesar 1.100 mm tahun⁻¹. Gb.2 memperlihatkan hubungan antara curah hujan dan limpasan permukaan di S. Tukad Daya Barat.



Gb. 1. Lokasi Cekungan Tukad Daya Barat, Jembrana



Gb. 2 Hubungan antara curah hujan dan limpasan permukaan di Cekungan Tukad Daya Barat (1993-2000)

Jelas terlihat korelasi antara curah hujan dan limpasan permukaan pada cekungan. Selama pemantauan untuk proyek ini, jumlah curah hujan tercatat 1.879mm/year sementara limpasan permukaan sebesar 1.100m/year.

3. Keterlibatan Penerima Manfaat

Keterlibatan para petani penerima manfaat selama perencanaan, desain, dan pada tahapan konstruksi dalam sistem irigasi sumur pompa adalah suatu keniscayaan seperti direkomendasikan dalam *Policy Alternatives for Pump Irrigation in Indonesia*, 1992.

Dalam upaya melibatkan para petani penerima manfaat itulah, sosialisasi DISIMP dilaksanakan sejak Juni 2003 saat dimulainya tahapan pra-konstruksi, survei, desain, dan investigasi (SID) hingga tahapan konstruksi saat ini, serta nantinya hingga tahapan pasca konstruksi. Petani dilibatkan untuk mengetahui hak dan kewajibannya. JBIC mewajibkan paling tidak, lebih dari 50% petani penerima manfaat setuju adanya proyek ini dan yang paling penting mereka bersedia mengoperasikan dan memelihara sistem irigasi air tanah dengan kemampuan sendiri termasuk biaya operasi dan pemeliharannya.

Keterlibatan petani secara formal telah diwujudkan dalam bentuk persetujuan petani (*farmers agreement*) di mana 528 petani sebagai pemilik lahan seluas 417 ha, membubuhkan tanda tangannya sebagai persetujuan yang disyaratkan proyek, kewajiban mengoperasikan dan memelihara sistem irigasi, serta kerelaan menyediakan lahan untuk rumah pompa/gen-set tanpa ganti rugi. Pihak petani dalam hal ini diwakili oleh masing-masing *subaknya* memberikan persetujuan pada gambar desain sistem irigasi berikut kelengkapannya yang dipakai sebagai gambar pelelangan.

Dalam hal pengelolaan sistem irigasi pada pasca konstruksi, yang merupakan tahapan krusial dalam mewujudkan pengembangan air tanah dan pertanian berkelanjutan, maka pembinaan terhadap kelompok petani pemakai air (KP2SP) di

masing-masing *subak* dilakukan secara menerus oleh proyek. Pembinaan tersebut menyangkut pembentukan 22 KP2SP dan penguatan kelembagaan 5 *subak* yang terdiri dari 1 *subak abian* (lahan kering) yakni *Subak Abian Sila Krama* dan 4 *subak* lahan basah, masing-masing *Subak Berawantangi*, *Tegal Jati*, *Tegal Berkis*, dan *Pangkung Liplip*.

Karena anggota KP2SP saat ini juga sebagai anggota *subak* yang mengelola sistem irigasi air permukaan, maka secara otomatis pada dasarnya praktek *conjunctive use* dijalankan. *Subak Tegal Jati* misalnya telah mempraktekkan pemanfaatan ini dengan sistem jaringan irigasi air tanah (JIAT) yang telah ada dan akan dipraktekkan oleh satu KP2SP yang baru bila JIAT di *subak* tersebut dalam kerangka DISIMP telah selesai dibangun.

Keterlibatan *subak* akan menjamin keberlanjutan sistem irigasi air tanah, karena aktivitas *subak* didasarkan pada tiga aspek yang menjiwai perilaku anggotanya, yakni aspek sosial, teknis, dan karakter budaya yang melekat pada kepercayaan Hindu yakni *Tri Hita Karana*. *Tri Hita Karana* terdiri dari *parhyangan* yang berhubungan dengan sub-kultur kepercayaan, *pawongan* berkaitan dengan kultur sosial masyarakat lokal dan karakter lokal yang spesifik, dan *palemahan* berhubungan dengan hal-hal teknis. Konsep inilah yang mendasari operasi dan pemeliharaan dari lembaga *subak* air tanah yang saat ini sudah/sedang dalam pembentukan (Tabel 1.)

Tabel 1. Konsep operasi *subak* air tanah berbasis *Tri Hita Karana*

Komponen <i>Tri Hita Karana</i>	Aktivitas
Sub-sistem ritual <i>parhyangan</i>	Melaksanakan berbagai upacara ritual di <i>parhyangan</i> yang berkaitan dengan sumber air dan pertanian, semisal di Pura Ulun Subak, Pura Ulun Danu
Sub-sistem organisasi sosial <i>pawongan</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pertemuan anggota dan kegiatan resmi dari subak air tanah ; ▪ Administrasi subak, laporan pembukuan dan keuangan ; ▪ Transportasi untuk kebutuhan subak.
Sub-sistem fisik <i>palemahan</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Pemeliharaan <i>parhyangan</i> ; ▪ Operasi dan pemeliharaan genset dan pompa, mesin pertanian dan peralatan milik subak ; ▪ Operasi dan pemeliharaan sistem jaringan irigasi air tanah.

Sumber : Project Justification Study, 2004

Satu kendala utama dalam keterlibatan ini adalah tidak tersedianya dana subsidi untuk Operasi dan Pemeliharaan (O & P) di tahun-tahun awal pengoperasian sistem JIAT, suatu hal yang sering diungkapkan pada setiap kesempatan pertemuan dan pendampingan KP2SP. Ungkapan tersebut wajar karena sistem ini merupakan hal baru bagi KP2SP yang perlu dana awal serta pelatihan. Memang dalam kerangka DISIMP pemerintah tidak menyediakan dana tersebut. Untuk menanggulangnya, KP2SP dalam masa pra dan selama konstruksi didampingi proyek berupaya menggalang dana awal dari sumber-sumber setempat yang memungkinkan, seperti menyisihkan sebagian hasil panen, untuk mengisi kas KP2SP. Dengan demikian, pada saat sistem irigasi tersebut diserahkan ke KP2SP, langsung dapat dioperasikan.

Sebagai gambaran per jam operasi untuk pompa dengan kapasitas 15 l/detik \approx 54 m³/jam, dibutuhkan biaya Rp. 28.460,00 di mana 90% nya berupa biaya bahan bakar solar, jauh lebih tinggi dari biaya operasi sistem irigasi air permukaan.

Oleh sebab itu, patut kiranya di tahun-tahun awal operasi, keterlibatan subak air tanah perlu disubsidi dengan dana operasi dari pemerintah untuk lebih menjamin keberlanjutan sistem irigasi air tanah.

4. Pemanfaatan Air Saling Menunjang

Pemanfaatan air saling menunjang pada dasarnya adalah memanfaatkan air dalam pengembangan sumber daya air di suatu cekungan untuk mencapai keuntungan yang optimal dengan melibatkan operasi yang terencana dan terkoordinasi dari air permukaan dan air tanah untuk memenuhi kebutuhan akan air dalam kerangka konservasi sumber daya air.

Mengingat di cekungan Tukad Daya Barat sistem irigasi air permukaan sering mengalami kekurangan air selama musim kemarau, maka pemanfaatan air tanah akan dilakukan dalam rangka mencapai keuntungan yang optimal penggunaan sumber daya air.

Selama musim hujan, air permukaan dimanfaatkan semaksimal mungkin sementara

imbuhan (*recharge*) berlangsung untuk menambah cadangan (*storage*) air tanah dan menaikkan muka air tanah. Sebaliknya, pada saat musim kemarau sumber daya air permukaan yang terbatas ditambah pasokannya dengan pemompaan air tanah.

Dalam hal pemanfaatan air saling menunjang ini, terutama dalam pengembangan air tanahnya, pemompaan harus dibatasi luahnya (*discharge*) dengan kemampuan imbuhan ke dalam akuifer. Karena imbuhan ini juga dipakai untuk menjaga keseimbangan cadangan air tanah dalam akuifer, *base flow* ke sistem sungai/air permukaan, serta sistem vegetasi, maka tidak seluruh jumlah imbuhan tersebut dapat dipompa keluar untuk keperluan irigasi. Jumlah imbuhan yang dapat dimanfaatkan untuk tetap menjaga keberlanjutan sistem akuifer dan lingkungannya disebut sebagai luah berkelanjutan (*sustainable yield*).

Untuk menetapkan besaran *sustainable yield* di cekungan Tukad Daya Barat perlu mengetahui tataan dan potensi air tanahnya.

5. Tataan Air Tanah

5.1. Sistem Akuifer

Ada dua formasi batuan pembawa air di cekungan Tukad Daya Barat. Akuifer pada Formasi Palasari merupakan akuifer utama, yang terdiri dari pasir kasar hingga kerikil. Formasi Palasari sendiri tersusun terutama oleh endapan setengah padu dari konglomerat dan batu pasir. Material penyusun akuifer pada formasi ini berasal dari zona pelapukan dan bagian endapan kurang padu. Material penyusun akuifer yang demikian mempunyai kelulusan yang tinggi sehingga mampu menyimpan dan meneruskan air dalam jumlah yang sangat berarti. Sementara endapan alluvial kemampuan untuk menyimpan air terbatas karena ketebalannya yang tidak terlalu besar.

Mengacu pada penampangan bor dari sumur-sumur yang ada yang menembus kedua akuifer, sistem akuifer di cekungan ini dapat dibedakan menjadi dua, masing-masing adalah:

(i) sistem akuifer dangkal,

(ii) sistem akuifer dalam

Sistem akuifer dangkal menempati kedalaman 40m pertama, terdiri dari bagian atas Formasi Palasari yang tersusun oleh lapukan konglomerat, runtuhan, dan material setengah padu dari batu pasir serta material lepas berupa pasir dari endapan alluvial. Sistem ini menempati zona jenuh pada kedalaman lebih dari 20m di daerah berbukit dan mendangkal hingga kurang dari 10m di daerah yang lebih rendah.

Akuifer dangkal digolongkan sebagai akuifer tak-tertekan mengingat tidak adanya lapisan penutup akuifer di bagian atasnya. Karenanya keterdapatan air tanah di dalam sistem ini dibawah kondisi bebas dan muka air tanah dikontrol oleh topografi.

Di daerah berbukit, muka air umumnya lebih dalam dari 10m di bawah muka tanah setempat, bahkan mencapai hingga 30m di daerah dengan elevasi yang lebih tinggi. Meskipun demikian, muka air tanah masih jauh di atas dasar sungai, sehingga sungai mendapatkan pasokan air tanah (*gaining river*). Sebaliknya di daerah rendah, muka air tanah biasanya dekat muka tanah, kurang dari 10m di bawah muka tanah. Kedudukan muka air ini berada di bawah dasar sungai terdekat, sehingga sungai berubah memasok (*losing river*) sistem air tanah. Mengingat curah hujan memberikan dampak langsung kepada sistem akuifer dangkal, maka selama musim hujan, muka air tanah umumnya menaik mendekati muka tanah.

Sistem akuifer dalam menduduki kedalaman lebih dari 40m. Tidak ada unit hidrogeologi yang secara nyata memisahkan dengan sistem di atasnya. Oleh sebab itu kedua sistem akuifer ini secara hidrologi saling berhubungan.

Sistem akuifer ini disusun oleh endapan material lepas seperti pasir dan kerikil dan lapukan konglomerat hingga material setengah padu dari batu pasir. Akuifer ini digolongkan akuifer tak-tertekan atau semi tertekan. Hal ini dibuktikan oleh fakta tiadanya satu lapisan yang betul-betul kedap. Lapisan-lapisan batuan tak menerus dengan keterusan (*transmissivity - T*) rendah ditemui di antara lapisan pembawa air, yang menjadikan sistem akuifer dalam ini sebagai akuifer berlapis jamak.

Sumur bor yang menembus sistem ini menemui akuifer pertama pada kedalaman antara 40 hingga 50m dan kemudian sekitar 70 hingga 100m. Ketebalan setiap lapisan akuifer beragam dari 6m hingga lebih dari 30m.

Hasil analisis uji pemompaan pada akuifer ini menunjukkan T berkisar dari 1.300 hingga 6.000 m²/hari, yang mengindikasikan bahwa potensi akuifer Palasari dalam menyimpan dan mengalirkan air ke dalam sumur-sumur yang menembus akuifer ini tinggi hingga sangat tinggi.

Tinggi pisometrik berada pada 6m hingga lebih dari 30m di bawah muka tanah, namun umumnya berada di bawah tinggi preatik di hampir seluruh cekungan. Tidak ada buaian pisometrik yang berarti antara musim hujan dan musim kemarau.

Mengingat sistem akuifer dalam dan dangkal serta sistem sungai secara hidrologi saling berhubungan, ini berarti bocoran ke bawah (*downward leakage*) terjadi dari sistem dangkal atau sistem sungai ke sistem dalam. Pola aliran yang demikian menjadi pertimbangan dalam pengambilan air tanah dari sistem akuifer dalam pada pengembangan air tanah berkelanjutan untuk irigasi di cekungan ini. Pengambilan air yang berlebihan dari sistem akuifer dalam boleh jadi memberikan dampak negatif ke sumur-sumur gali sekitar yang umumnya dipakai untuk pasokan air minum.

Di samping itu pola aliran air tanah harus dipahami sebelumnya. Hal ini bermanfaat untuk menentukan lokasi lapangan sumur yang paling cocok untuk mendapatkan luah sumur yang optimal. Dengan demikian dampak terhadap air tanah dangkal, sistem air permukaan, dan lingkungan menjadi minimum.

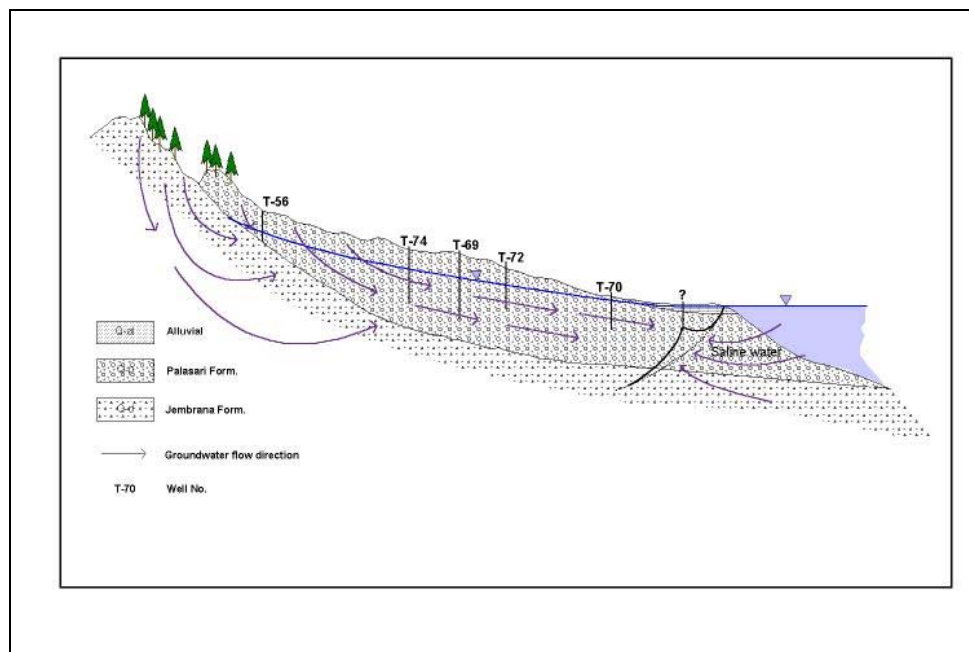
Sebuah konsep aliran air tanah dibuat untuk memberikan kesan pertama tentang pola umum aliran air di cekungan. Konsep ini dibuat dengan didasarkan atas morfologi, geologi, hidrologi, dan sistem akuifer dari cekungan.

Pertama-tama perlu dicatat bahwa Formasi Vulkanik Jembrana adalah batuan dasar dari cekungan, oleh sebab itu bertindak sebagai pembatas aliran di seluruh cekungan. Meskipun jika seandainya ada aliran dari formasi ini kedalam sistem akuifer, hal tersebut dapat diabaikan. Secara jelas, kelulusan (k) dari formasi ini

sangat kecil dibandingkan k dari sistem akuifer Palasari. Aliran dalam Formasi Palasari umumnya melalui antar butir di mana aliran horisontal lebih dominan. Hal ini mengacu pada penampangan batuan dari sumur-sumur yang ada, di mana material lepas berbutir menengah hingga kasar hanya menempati sepertiga bagian dibanding seluruh ketebalan. Hampir seluruh ketebalan didominasi oleh material padu dengan kelulusan yang rendah. Ini artinya kelulusan vertikal (k_v) jauh lebih kecil dibandingkan kelulusan horisontal (k_h).

Pola aliran yang demikian mengakibatkan, bocoran ke bawah dari sistem sungai dan sistem akuifer dangkal ke akuifer dalam tidaklah berarti.

Gb. 3 di bawah ini memperlihatkan konsep model aliran air tanah di cekungan Tukad Daya Barat.



Gb. 3 Konsep aliran air tanah di Cekungan Tukad Daya Barat

Di daerah berbukit atau dengan elevasi yang lebih tinggi di mana Formasi Palasari mempunyai kelulusan yang rendah, aliran air tanah muncul ke permukaan sebagai mata air dengan luah yang rendah. Hal ini disebabkan karena perubahan kelulusan batuan dari bahan runtunan dengan kelulusan yang lebih tinggi menjadi material padu dengan kelulusan yang lebih rendah atau muka air terpotong oleh morfologi setempat. Dalam kaitan inter-koneksi sistem keairan, kondisi ini menjadikan sistem air tanah memasok sistem sungai.

5. 2. **Besaran Imbuan**

Adalah suatu keniscayaan untuk mengetahui besaran imbuan air tanah di cekungan sebelum menetapkan luah berkelanjutan. Beberapa metode tersedia untuk menghitung jumlah imbuan air tanah. Dalam kasus cekungan Tukad Daya Barat ini, berdasarkan ketersediaan data, dipakai dua metode yakni: (i) buaian muka air tanah (ii) neraca massa khlorida.

(i) **Metode Buaian Muka Air Tanah**

Metode ini didasarkan atas asumsi bahwa kenaikan muka air pada akuifer tak-tertekan disebabkan oleh tibanya air imbuan. Imbuan dihitung dengan formula berikut:

$$R = S_y \times dh/dt = S_y \times \Delta h/\Delta t$$

Di mana S_y adalah luah jenis (*specific yield*), h adalah tinggi muka air, dan t adalah waktu.

Dengan memasukkan buaian muka air 1,72 m/tahun dan luah jenis material penyusun akuifer (pasir halus sampai kasar) sebesar 0,23 – 0,27 , imbuan dihitung sebesar 396 ~ 482 mm/tahun.

(ii) **Metode Neraca Massa Khlorida**

Metode Neraca Massa Khlorida (*chloride mass balance* - CMB) didasarkan pada asumsi bahwa aliran khlorida (Cl) yang diendapkan di permukaan sama dengan aliran khlorida yang dibawa di bawah lajur perakaran tanaman oleh air yang meresap ke

dalam tanah. Jumlah imbuhan oleh sebab itu dapat diperkirakan dengan mengukur konsentrasi Cl dengan menggunakan persamaan berikut;

$$I = (P \times C_0) / (C_s)$$

Di mana;

I : rata-rata infiltrasi/imbuan (mm/tahun);

P : rata-rata curah hujan tahunan (mm/tahun);

C_0 : efektif rata-rata konsentrasi Cl dalam curah hujan (mg/L), termasuk kontribusi dari *dry fallout*;

C_s : Konsentrasi Cl terukur di air bawah tanah (mg/L), yang dapat berupa air pori, air terangkat (*perched water*), atau air tanah.

Untuk memakai metode ini diambil 6 contoh air hujan dari lokasi yang tersebar di seluruh cekungan dan 6 contoh air dari sumur-sumur dalam untuk dianalisa konsentrasi Cl di laboratorium. Dengan menggunakan metode CMB ini, infiltrasi bersih (*net infiltration*) atau imbuhan diitung sebesar 840 ~ 900 mm/tahun.

Dengan menggunakan angka-angka tersebut, maka imbuhan air tanah di cekungan Tukad Daya Barat diperhitungkan terendah 396 mm/tahun dan tertinggi 900 mm/tahun.

6. Luah Berkelanjutan

Luah berkelanjutan dari satu cekungan air tanah dapat didefinisikan sebagai jumlah air yang dapat diambil secara berkelanjutan di bawah persyaratan operasi yang spesifik tanpa menghasilkan akibat yang tidak diinginkan. Secara umum kriteria-kriteria imbuhan dari cekungan akan menentukan jumlah luah berkelanjutan, sebab satu atau banyak hasil yang tidak diinginkan sering diakibatkan oleh pemompaan yang berlebihan.

Pada dasarnya memang sulit menentukan " *diambil secara berkelanjutan* " dan " *akibat yang tidak diinginkan* " telah terjadi. Secara umum berkelanjutan adalah

jumlah air yang diambil, sesuai batasan-batasan hidrogeologi, masih tetap tersedia dalam jangka waktu yang lama (beberapa ahli menyebut 50 hingga 100 tahun); sementara akibat yang tidak diinginkan telah terjadi apabila sumber daya air itu sendiri dan lingkungan telah mengalami degradasi, seperti misalnya muka air secara menerus mengalami penurunan serta kematian spesies flora yang mengandalkan air tanah dangkal (*phyto-phreatic*). Namun satu hal yang perlu digarisbawahi seperti telah disinggung sebelumnya, imbuh air tanah tidak saja dipakai untuk menjaga keseimbangan cadangan air tanah dalam akuifer itu sendiri, tetapi juga untuk memasok aliran dasar ke sistem air permukaan, serta untuk keperluan sistem tanaman untuk dapat tetap hidup. Dalam pengertian yang lebih sederhana, oleh sebab itu, jumlah air tanah yang boleh dipompa harus lebih kecil dari jumlah imbuhan.

Secara tentatif jumlah imbuhan terendah yang dihitung dengan dua metode di atas, yakni 396mm/tahun (atau $6,732,000\text{m}^3/\text{tahun}$ dengan daerah imbuh ditetapkan 17km^2), ditentukan sebagai luah berkelanjutan. Meskipun demikian, penyelidikan lanjut masih diperlukan untuk menentukan luah berkelanjutan yang paling layak.

Berpegang pada angka tersebut, maka pengembangan air tanah dengan melakukan pemompaan air tanah keluar dari sistem akuifer dalam, jumlah total air yang dipompa harus lebih kecil dari $6.732.000\text{m}^3/\text{tahun}$.

7. Jumlah Pemompaan Air Tanah yang Diperbolehkan

7.1. Pengambilan Air Tanah

Jumlah pengambilan air tanah dari sumur-sumur yang telah ada, baik dari sistem akuifer dangkal maupun dalam harus diketahui terlebih dahulu, sehingga dapat diketahui air yang masih tersedia dari luah berkelanjutan.

Pada dasarnya sangat sulit mengetahui secara pasti besaran pengambilan tersebut karena tiadanya catatan jumlah pengambilan. Oleh sebab itu perhitungan besaran tersebut hanya atas dasar perkiraan.

Pengambilan air tanah dari sistem dangkal melalui sumur-sumur gali dihitung dengan

asumsi-asumsi :

- Kebutuhan air = 90 l per capita per hari
- Total populasi = 20.000 (Badan Pusat Statistik Kab. Jembrana, 2001)
- Total populasi pengguna air tanah = 70%

Maka besarnya pengambilan air tanah dangkal = $90 \times 20.000 \times 0,7$ l/hari
= 459.900 m³/tahun

Pengambilan air tanah dari sistem dalam melalui sumur-sumur irigasi yang telah ada dengan asumsi-asumsi :

- Rata-rata debit pemompaan = 15 l/detik
- Rata-rata jam pemompaan = 8 jam/hari
- Total sumur produksi yang berfungsi = 19

Maka besarnya pengambilan air tanah dalam = $19 \times 15 \times 3.600 \times 8$ l/hari
= 2.995.920 m³/tahun

Total air tanah yang keluar dari cekungan akibat pemompaan adalah sebesar $\approx 3,5$ juta m³/tahun.

7.2. Pengambilan yang Masih Diperbolehkan

Jumlah pemompaan dibatasi dengan luah berkelanjutan seperti diuraikan sebelumnya dikurangi jumlah pengambilan dari sumur yang sudah ada, atau masih tersedia sekitar 3,232 juta m³/tahun. Dengan jumlah total sumur yang akan dibuat dan sebanyak 22 buah, serta debit dibatasi pada kisaran 15 – 20 liter/detik dan jam operasi per sumur dirancang 2.000 jam/tahun, maka total jumlah pemompaan keluar (Q) dari sistem air tanah dalam adalah sebesar;

$Q = 22 \times 0,020 \times 60 \times 60 \times 2000$ m³/tahun $\approx 3,2$ juta m³/tahun.

Angka ini masih di bawah luah berkelanjutan yang tersisa, sehingga masih dianggap aman.

Di samping batasan tersebut, dalam kerangka pengembangan air tanah berkelanjutan, jumlah pemompaan juga dibatasi oleh kemungkinan terjadinya intrusi air laut. Jarak antara dasar sumur dengan bidang antar-muka air tanah asin (*saline*

water interface) di cekungan ini adalah 225~342m. Dengan debit per sumur dibatasi hingga 20 l/detik, penurunan muka air akibat pemompaan masih jauh di atas bidang tersebut, karena surutan (*drawdown*) rata-rata berkisar hanya 1,69 – 2,28m dari muka air tanah awal, sehingga masih aman dari kemungkinan intrusi air laut.

Dalam kerangka pengembangan air tanah berkelanjutan, jarak antar sumur juga menjadi pembatas dari jumlah pemompaan air tanah yang diperbolehkan dari masing-masing sumur yang berdekatan. Jarak antar sumur, lazim disebut jejari pengaruh (*radius of influence* - R) tergantung pada karakteristik akuifer dan luah sumur produksi.

Dengan memakai persamaan Theis serta parameter jumlah pemompaan, keterusan, dan kelulusan seperti tersebut di muka, dan koefisien cadangan (*storage coefficient*) =0,000133, surutan (s) pada jarak 100m dari sumur produksi dihitung kurang dari 0,30 m setelah 12 jam pemompaan. Setelah pemompaan menerus selama 10 hari, bagaimana pun, kerucut penurunan (didasarkan pada $s < 0,30m$) hanya meluas sejauh 200m. Oleh sebab itu sumur-sumur irigasi harus diletakkan tidak kurang dari jarak tersebut.

8. Kesimpulan

Secara hidrologi, sistem akuifer air tanah dalam, sistem akuifer air tanah dangkal, dan sistem air permukaan saling berhubungan. Bocoran ke bawah dari sistem sungai dan sistem akuifer dangkal ke akuifer dalam mungkin terjadi namun tidaklah signifikan.

Potensi air tanah di Cekungan Tukad Daya Barat cukup untuk menjamin pengembangannya secara berkelanjutan. Luah berkelanjutan ditetapkan sebesar 396 mm/tahun atau sebesar 6,7 juta m³/tahun.

Pengambilan air tanah untuk setiap sumur dibatasi hingga 15-20 l/detik, dengan jam operasi 2.000 jam/tahun, tidak akan melampaui batasan luah berkelanjutan, serta tidak akan menimbulkan intrusi air laut. Dengan batasan pengambilan tersebut, penempatan sumur pada jarak tidak kurang dari 200m dari sumur terdekat, akan

memperkecil saling pengaruh dan tidak akan memperbesar surutan pada masing-masing sumur secara signifikan.

Pengembangan air tanah berkelanjutan untuk irigasi dirancang dengan batasan-batasan di atas dan dengan mempraktekkan penggunaan air saling menunjang dengan melibatkan organisasi *subak* air tanah. Konsep operasi *subak* air tanah yang berbasis Tri Hita Karana memperkuat upaya untuk mewujudkan sumber daya air di Cekungan Tukad Daya Barat tetap *ajeg*. Namun demikian masih diperlukan subsidi dana dari pemerintah untuk O & P sistem irigasi air tanah pada tahun-tahun awal pengoperasian.

9. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Panitia yang telah memberikan kesempatan untuk menyampaikan dan memaparkan makalah ini. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Kepala Satuan Kerja NVT Irigasi Bali, Pemimpin Bagian Pelaksana Kegiatan Pengembangan Air Tanah Bali, DISIMP-Nippon Koei Co., Ltd. and Associates, Bali Office, dan PT. GeoAce yang telah memberikan izin dan menyemangati untuk menyusun dan menyajikan tulisan ini.

Acuan

1. Anonymous, 2004, Project Justification Report – Bali Groundwater Irrigation Sub-project, DISIMP, Ministry of Settlement and Regional Infrastructures – Nippon Koei Co. Ltd and Associates, Jakarta, (Unpublished report).
2. Johnson S. et al, 1992, Policy Alternatives for Pump Irrigation in Indonesia, Discussion Draft, USAID Mission to Indonesia, Jakarta (Unpublished report)
3. Purbo-Hadiwidjojo, M.M., Samodra, H. and Amin T.C., 1998, Geological Map of Bali Sheet, Nusatenggara, Scale 1:250,000, 2nd Edition, Geological Research and Development Center, Bandung
4. Scanlon B.R., Healy R.W. and Cook P.G., 2002, Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge, Hydrology Journal Vol. 10, No.1, International Association of Hydrogeologists, Springer Verlag, Berlin, pp. 18-27

5. Sudadi P., Setiadi H., Denny B.R., Arief S., Ruchiyat S. and Hadi S., 1986, Hydrogeological Map of Indonesia , Scale 1:250,000, Sheet P.Bali, Directorate of Environmental Geology, Bandung.
6. Yoshizawa T., 2004 Report on Water Balance Study for Jembrana Scheme, DISIMP-Nippon Koei Co. Ltd. and Associates, Unpublished report.