

NERACA AIR UNTUK ORANG PULAU KECIL: SUATU KONSEP DAN INSTRUMEN UNTUK PENGELOLAAN AIR

A WATER BALANCE FOR ISLE PEOPLE: A CONCEPT AND AN INSTRUMENT FOR A WATER MANAGEMENT

Sensus Wijonarko

Instrumentasi Lingkungan, Pusat Penelitianlit KIM-LIPI
Kompleks Puspiptek, Tangerang 15314
Email: swijonarko@yahoo.com

Abstrak: Kelangkaan air bersih merupakan salah satu masalah besar untuk diatasi; oleh karena itu pengelolaan air dengan memakai alat- alat pemantau yang sesuai perlu mendapat perhatian yang setimpal. Studi ini ditujukan untuk memperoleh konsep yang digunakan penduduk pulau kecil dalam melakukan pengelolaan air dan alat pemantau yang perlu disediakan berdasarkan konsep tersebut. Suatu studi dengan menggunakan metode grounded theory di Pulau-pulau Panggang, Karya, Pramuka, Kelapa Dua, dan Harapan menunjukkan bahwa neraca air di tempat-tempat tersebut bukan merupakan parameter alami, sistem tertutup, dan siklus vertikal tetapi gabungan dari parameter alami dan rekayasa, sistem tertutup dan terbuka, serta siklus vertikal dan lateral. Oleh karena itu konsep mengenai neraca air global perlu dikoreksi lebih lanjut bila diterapkan di tingkatan lokal. Tulisan ini mengkaji semua itu beserta instrumen yang diperlukan untuk memudahkan menghitung neraca air dalam rangka untuk melakukan pengelolaan air yang tepat yang memperkecil kemungkinan terjadinya kelangkaan air.

Kata kunci: Instrumen, kelangkaan air, neraca air, dan pulau kecil.

Abstract: Water scarcity is one of big problems to solve; therefore an attention concerning the water management using suitable monitoring instruments should be proportionally paid. This study is intended to obtain the concept used by isle inhabitants in conducting their water management and a monitoring instrument that should be prepared by virtue of said concept. The study utilizing a grounded theory method in the islands of Panggang, Karya, Pramuka, Kelapa Dua and Harapan shows that the local water balance is not a natural parameter, a closed system, and a vertical cycle, but a combination of natural and engineering parameter, closed and open system, and vertical and lateral cycle. Hence, the concept of global water balance should be corrected if it is applied in a local level. This paper assesses all of the above mentioned description and an instrument needed to facilitate a water balance calculation in order to carry out a correct water management that reduce the water scarcity possibility.

Keywords: instrument, isle, water balance, and water scarcity.

PENDAHULUAN

Indonesia, menurut UNCLOS (*United Nations Convention on the Law of the Seas*) pada bulan April 1982 yang disahkan dalam Undang-undang Republik Indonesia tahun 1985, adalah negara kepulauan (*archipelagic state*) terbesar di dunia yaitu pada bulan April 2005 mencapai 17.504 di mana 7.870 pulau merupakan pulau bernama dan 9.634 pulau sisanya merupakan pulau yang belum punya nama (Ns 2005). Dengan jumlah sebanyak itu, mengelola pulau yang umumnya tergolong kecil tersebut dengan baik dan benar bukan merupakan persoalan sederhana.

Selain merupakan potensi, pulau kecil di sisi sebaliknya juga merupakan sumber masalah. Salah satu isu kunci (*key issue*) yang lazim terjadi di pulau kecil, menurut UNESCO (1988), adalah kekurangan air bersih. Mengingat air bersih merupakan kebutuhan harian dan bahkan kebutuhan setiap saat manusia, maka tidak aneh jika beribu-ribu pulau kecil di

Indonesia belum atau tidak berpenghuni. Jumlah pulau yang berpenghuni di Indonesia baru mencapai sekitar 5.000 pulau (Mawardi 2004) dan sebelumnya bahkan ada yang mengatakan baru 992 pulau (Yudhohusodo, 1998). Memang tidak semua pulau harus berpenghuni, namun untuk berbagai alasan seperti keamanan, pulau-pulau di daerah terluar atau pulau-pulau yang lautnya rawan pencurian ikan, perlu ditempati. Jika ditempati, pulau tersebut perlu mempunyai ketersediaan air yang memadai.

Tidak semua pulau kecil kekurangan penduduk. Pulau Panggang, misalnya, sebaliknya sangat padat sehingga kekurangan air bersih. Keadaan ini menimbulkan pertanyaan tentang bagaimana konsep neraca air yang digunakan penduduk pulau kecil sehingga dapat bertahan hidup dalam keadaan kekurangan air bersih? Selain itu juga ditanyakan alat ukur neraca air seperti apa yang seyogyanya digunakan untuk memantau neraca air berdasarkan konsep tersebut? Kedua masalah penelitian ini akan dikaji dan menjadi lingkup bahasan dalam tulisan ini. Dengan kata lain tujuan penelitian ini adalah untuk menggali konsep neraca air yang digunakan di daerah kajian sebagai *lessons learned* di pulau-pulau kecil lainnya yang kekurangan air bersih serta instrumen pemantau neraca air yang sesuai sehinggaantisipasi kekurangan air di tempat yang dipasang alat tersebut dapat dilakukan sebelum kekurangan air tersebut akan terjadi.

TEORI

Neraca air (*water balance*) adalah pembukuan (*book keeping*) dari air di daerah pengaliran sungai atau wilayah yang berhubungan dengan seluruh atau sebagian dari daur hidrologi yang diberlakukan dalam periode waktu tertentu (Amirwandi dan Hatmoko, 1992). Neraca air juga dapat didefinisikan sebagai upaya untuk mengetahui perbandingan atau imbang air antara ketersediaan dan penggunaannya pada periode waktu dan tempat tertentu (Direktorat Tata Kota dan Tata Daerah 1992).

Pengertian tersebut dijabarkan dalam berbagai rumus (Tabel 1). Dari Tabel 1 tersebut terlihat bahwa neraca air pada dasarnya dapat digambarkan seperti tangki air yang tersusun atas tiga hal yaitu air yang masuk, air yang keluar, dan air yang tertinggal di dalam daerah yang ingin dihitung atau diukur neraca airnya. Jika air yang masuk tersebut lebih besar dari air yang keluar maka akan terjadi surplus air. Sebaliknya bila air yang masuk tersebut lebih kecil dari air yang keluar maka akan terjadi defisit. Jika keduanya sama maka akan terjadi keseimbangan.

Komponen-komponen dari konsep neraca air bisa jadi mempunyai istilah yang berbeda meskipun isinya sama. Konsep yang dikemukakan oleh Tresnadi (1992) dan Hehanussa (1992) menunjukkan hal itu. Curah hujan diistilahkan dengan P oleh Tresnadi (1992) dan P_c oleh Hehanussa (1992).

Pada umumnya komponen-komponen (variabel-variabel) dari rumus-rumus neraca airnya berbeda, tetapi semua komponen tersebut tetap dapat dikelompokkan ke dalam salah satu dari air yang masuk, air yang keluar, dan air yang tertinggal di dalam daerah yang ingin dihitung atau diukur neraca airnya.

Kembali ke Tabel 1, air yang masuk terlihat umumnya diperoleh dari masukan alami yang langsung berupa hujan atau tidak langsung melalui aliran air di permukaan atau dalam tanah. Kalau ada imbuhan buatan, air imbuhan pada umumnya juga didapat dari ketersediaan air setempat seperti danau atau sejenisnya.

Konsep neraca air bukan hanya konsep untuk mengetahui neraca air global. Konsep ini juga digunakan untuk lingkup yang lebih kecil. Sebagai contoh, Olivera *et al* (1995), misalnya, telah menerapkan konsep ini untuk perhitungan debit sungai Nigeria di Afrika Barat.

Komponen-komponen yang ada dalam neraca air umumnya merupakan besaran terukur. Oleh karena itu, komponen-komponen tersebut mestinya dapat diukur dengan suatu sistem pengukur atau instrumen.

Tabel 1. Beberapa rumus tentang neraca air.

No	Menurut	Rumus
1	Tresnadi (1992)	$Q = P - I_t - E_t - R_o - B_o - E_x + I_b$ Q = perubahan cadangan air, P = curah hujan, I_t = intersepsi, E_t = evapotranspirasi, R_o = limpasan permukaan, B_o = bocoran air tanah ke laut, E_x = eksploitasi oleh penduduk, I_b = imbuhan buatan
2	Hehanussa (1992)	$Q = P_c - I_t - E_t - R_o - B_o - E_x + I_b$ Q = perubahan cadangan air, P_c = curah hujan, I_t = intersepsi, E_t = evapotranspirasi, R_o = limpasan permukaan, B_o = bocoran air tanah ke laut, E_x = eksploitasi oleh penduduk, I_b = imbuhan buatan
3	Soemarwoto (1992)	$\Delta_s = P - E_t - Q$ Δ_s = perubahan air simpanan tanah, P = curah hujan, E_t = evapotranspirasi, Q = aliran air
4	Djuwansah <i>et al</i> (1998)	$R = P - E_{ta} \pm dV$ R = air yang masuk sebagai air tanah, P = curah hujan E_{ta} = evapotranspirasi, dV = perubahan dalam simpanan digunakan untuk mengisi kelembapan tanah
5	Sudaryono dan Sampara (1992)	$AS = P - R - E_v$ AS = air yang tersimpan P = curah hujan R = air larian E_v = evapotranspirasi
6	Muller dan Thompson (1987)	$P = ET + S \quad \text{dan} \quad PE = ET + D$ P = presipitasi, ET = evapotranspirasi, S = penyimpanan kelembapan tanah, PE = evapotranspirasi potensial, D = kekurangan kelembapan
7	Weert dan Suyanto (1996)	$P = E + R + G + \Delta S$ P = presipitasi, E = evapotranspirasi, R = air larian, G = aliran keluar subpermukaan, ΔS = perubahan dalam penyimpanan

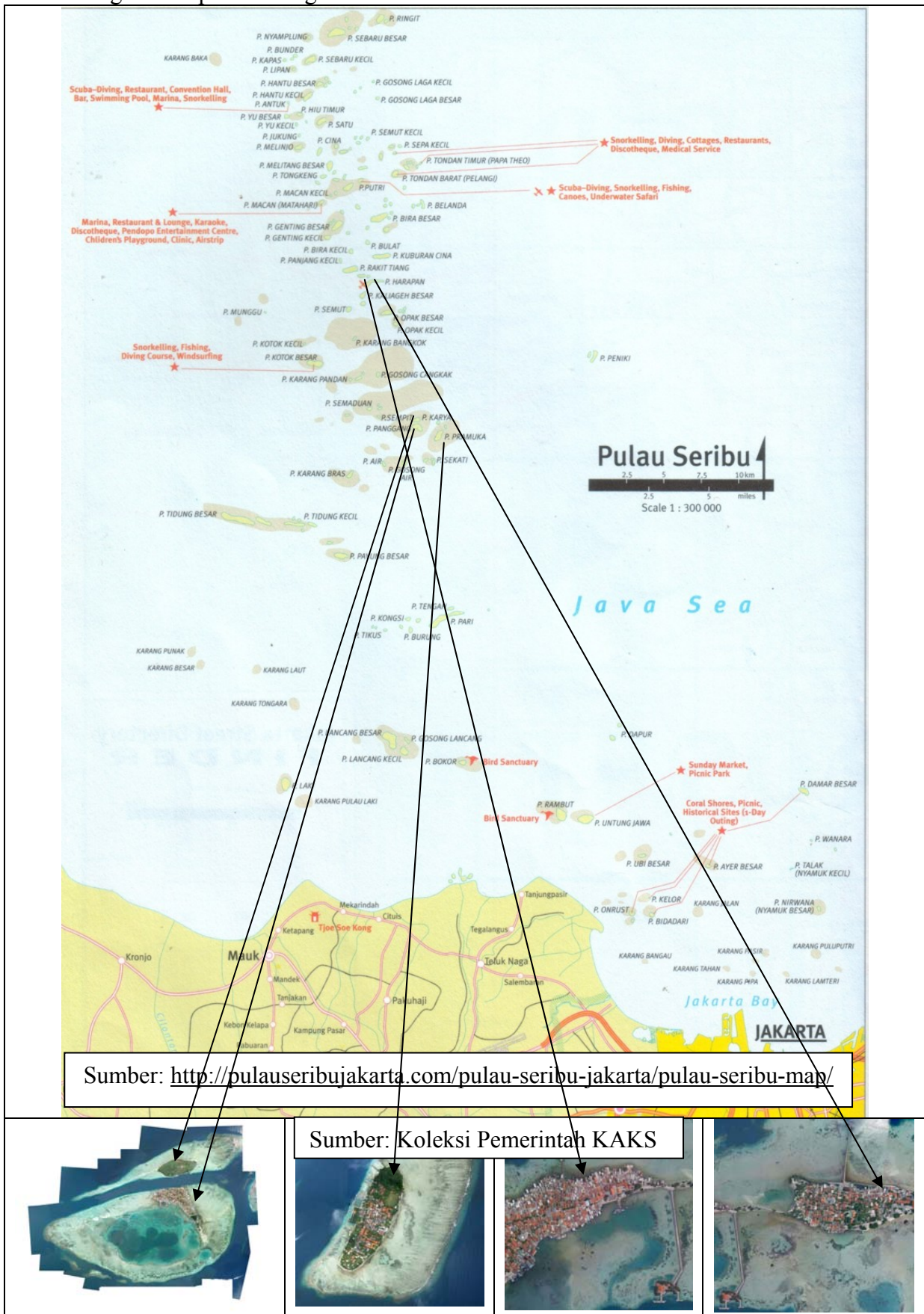
METODOLOGI

Lokasi penelitian terutama di Pulau Panggang, Kabupaten Administrasi Kepulauan Seribu (KAKS). Untuk pelengkap, Pulau-pulau Karya, Pramuka, Kelapa Dua dan Harapan juga dijajaki meski tidak seintensif di Pulau Panggang (gambar 1).

Penelitian ini menggunakan metode *grounded theory* atau pengambilan kesimpulan dari data empiris. Metode yang dipelopori oleh Glaeser dan Strauss ini bertujuan untuk memperoleh konsep-konsep baru berdasarkan data induksi, bukan deduksi. Konsep baru berarti konsep yang berbeda dengan yang dikemukakan dalam teori yang ada, baik dari komponen penyusun neraca air maupun karakteristik dari konsep itu sendiri. Deduksi merupakan pola pemikiran untuk mengambil pernyataan khusus (premis minor) dari pernyataan umum (premis mayor). Sebagai contoh, pernyataan umumnya adalah semua benda padat akan memuai kalau dipanaskan. Besi merupakan benda padat sehingga akan memuai kalau dipanaskan. Induksi merupakan kebalikan dari deduksi.

Metode ini memang lazimnya diperuntukkan bagi ilmu sosial, namun melalui tulisan ini penulis ingin mengembangkannya dalam ilmu non sosial seperti keteknikan dan ilmu pengetahuan alam seperti terlihat dalam tulisan ini, karena sifatnya yang praktis.

Pengembangan ini digunakan untuk memperkaya ragam metodologi sehingga lebih tepat dalam mengamati perkembangan keilmuan.



Gambar 1. Lokasi studi.

Data terutama diperoleh melalui pengamatan langsung di lapangan. Teknik ini merupakan observasi dengan menggunakan mata telanjang bukan menggunakan peralatan. Selain itu, data juga didapat melalui wawancara secara tidak terstruktur dan penelusuran dokumen. Dalam jenis wawancara seperti itu tidak dibatasi dengan pertanyaan-pertanyaan yang sudah disusun secara baku dari rumah. Cara ini digunakan mengingat yang ditanya umumnya berpendidikan menengah ke bawah dan masyarakat yang ditanyai kurang menyukai cara formal. Penelusuran dokumen pada dasarnya dilakukan dengan mencari informasi yang berkaitan dengan penelitian ini melalui media seperti buku, laporan, dan internet.

Pengolahan data dilakukan dengan teknik komparasi, yaitu antara konsep atau teori yang dikemukakan dalam bagian teori di depan dengan kenyataan yang ada di lapangan. Perbedaan keduanya digunakan untuk menyusun konsep neraca air yang baru dan lingkup di mana konsep tersebut digunakan.

HASIL DAN BAHASAN

Konsep-konsep neraca air yang dikemukakan dalam teori di depan dicoba untuk diaplikasikan di lapangan. Ternyata ada banyak faktor yang ada dalam kenyataan di lapangan tetapi tidak terakomodasi di dalam teori. Secara ringkas faktor-faktor tersebut dalam tulisan ini dikelompokkan ke dalam tiga yaitu neraca air alami, peranserta penduduk, dan sistem desalinasi.

Konsep-konsep yang dikemukakan dalam teori di Tabel 1 terfokus pada neraca air alami, di mana ketersediaan air berasal dari proses hujan di daerah kajian secara alami. Dalam kenyataan, ternyata ada penampung air hujan (PAH) di lapangan. PAH merupakan proses rekayasa dan air yang ditampung digunakan untuk memenuhi kebutuhan hidup khususnya manusia. Konsep PAH ini agak berbeda dengan intersepsi. Intersepsi merupakan proses alami dan air yang tertampung dapat dikatakan akan kembali melalui penguapan. Air PAH disimpan sementara untuk digunakan bilamana diperlukan.

Fakta di lapangan juga menunjukkan bahwa pemakaian air tidak hanya digunakan oleh penduduk setempat. Oleh karena itu konsep luaran dalam bentuk eksploitasi oleh penduduk atau pemakaian air oleh penduduk perlu dilengkapi juga dengan pemakaian oleh bukan (non) penduduk.

Peranserta penduduk juga berperan penting dalam mempengaruhi neraca air setempat. Penduduk melakukan pembelian air kemasan, pembelian air bersih, pemakaian air di pulau lain, dan pengambilan air dari pulau lain. Faktor-faktor seperti ini tidak ada dalam rumus-rumus neraca air di depan.

Kalau dalam segi kuantitas, air yang diperoleh melalui partisipasi penduduk di daerah kajian memang tidak terlalu besar, tetapi kualitasnya relatif lebih baik dari air alami yang ada dalam Pulau Panggang. Air alami di daerah kajian berupa air hujan yang mempunyai $\text{pH} \leq 6$ dan air sumur yang terintrusi. Apalagi penduduk di daerah kajian memprioritaskan pemakaian air bersih untuk minum dan masak, sehingga hasil partisipasi ini signifikan untuk mempengaruhi neraca air setempat.

Sistem desalinasi juga menambah persediaan air setempat. Karena sistem desalinasi yang dipasang di daerah kajian termasuk berteknologi canggih, kualitas airnya juga sangat bagus. Faktor air dari sistem desalinasi ini belum termuat dalam konsep neraca air yang dikemukakan dalam teori di depan.

Perbedaan antara konsep neraca air yang telah dikemukakan dengan teori di depan memberi beberapa konsekuensi. Pertama, parameter neraca air bukan hanya parameter alami tetapi alami dan rekayasa. Kedua, sistem neraca air bukan hanya sistem tertutup tetapi tertutup dan terbuka. Ketiga, siklus neraca air bukan hanya siklus vertikal tetapi vertikal dan lateral.

Manusia mempunyai kecenderungan untuk melakukan rekayasa (*engineering*) terhadap alam, termasuk di antaranya dalam hal ketersediaan air. Dengan rekayasa air tersebut, manusia menambah jumlah air di daerahnya sehingga ketersediaan air (*water availability*), yaitu penyediaan air secara alami atau jumlah air di suatu tempat, dapat berubah menjadi penyediaan air (*water supply*), yaitu penyediaan air secara alami yang telah dilengkapi dengan upaya manusia. Pada sisi sebaliknya, pemakaian air bukan hanya oleh penduduk setempat, tetapi juga oleh orang lain seperti tamu. Oleh karena itu faktor eksploitasi penduduk seyogyanya diperluas menjadi permintaan air. Dengan demikian terjadi perluasan konsep dari ketersediaan air menjadi penyediaan air dan eksploitasi penduduk menjadi permintaan air. Semua itu menunjukkan bahwa parameter neraca air bukan hanya parameter alami tetapi alami dan rekayasa.

Perubahan konsep dari sistem tertutup menjadi gabungan antara tertutup dan terbuka terlihat dari adanya air yang masuk dan atau keluar dari daerah yang dikaji neraca airnya. Pembelian air sebagai contoh menunjukkan tentang adanya sistem yang terbuka di daerah kajian. Memang kalau untuk ukuran dunia, sistem tersebut akan menjadi tertutup karena boleh dikatakan bahwa memang tidak ada air yang masuk ke atau keluar dari dunia.

Dalam neraca air alami, siklus hidrologinya merupakan siklus vertikal. Namun untuk neraca air terpadu (alami dan rekayasa) siklusnya menjadi gabungan antara vertikal dan lateral. Oleh karena itu untuk mengetahui status neraca air terpadu tersebut menjadi lebih rumit dibandingkan dengan neraca air alami saja. Untuk itu perlu dirancang suatu instrumen atau alat ukur neraca air di suatu tempat yang berbasis komputer. Alat ukur tersebut mempunyai manfaat baik untuk daerah yang terisolasi maupun berdampingan dengan daerah lain.

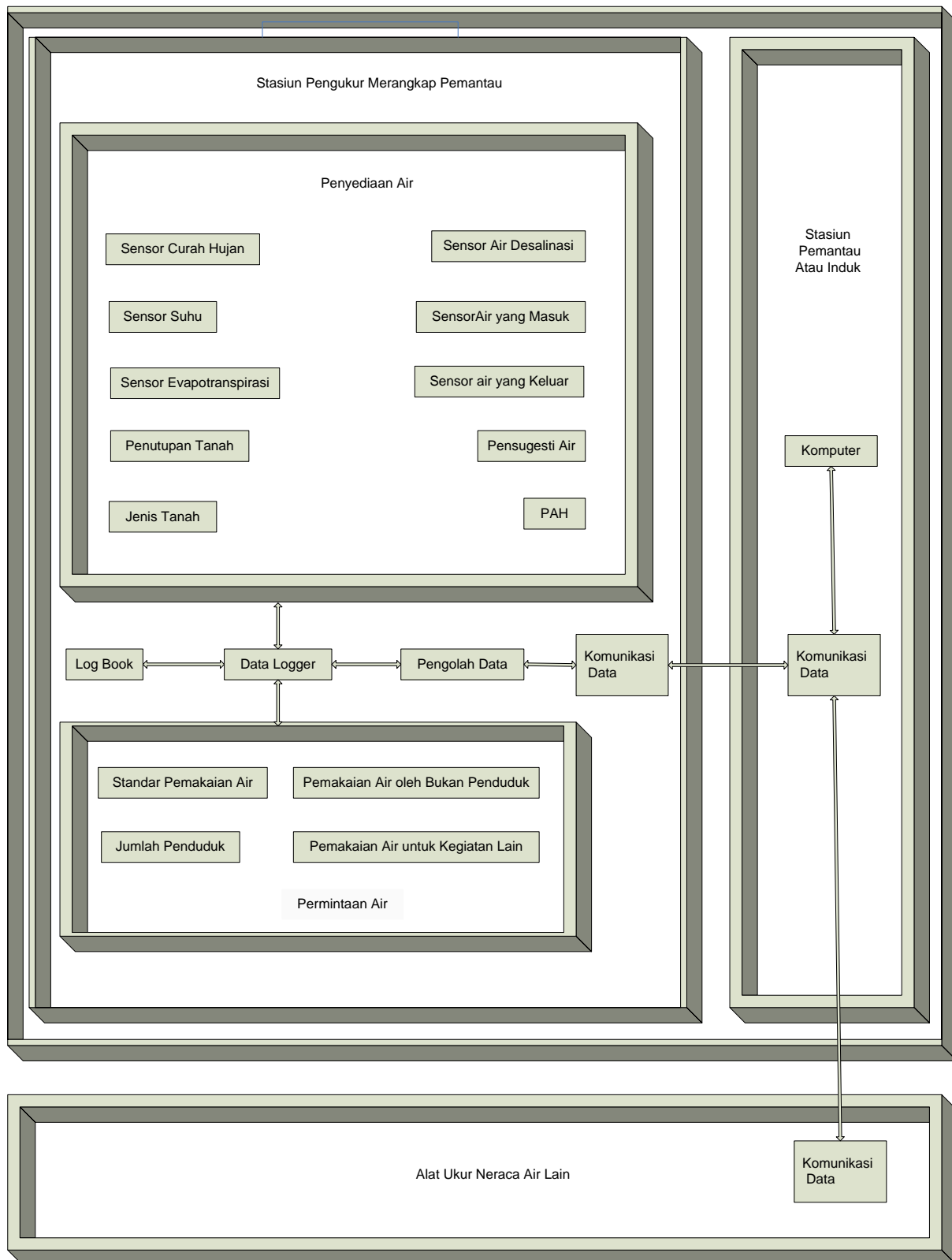
Untuk daerah yang terisolasi dengan daerah lain seperti pulau-pulau kecil, kekurangan air di tempat-tempat tersebut dapat diketahui tidak hanya secara kualitatif tetapi kuantitatif. Dengan instrumen neraca air, hujan yang datang, air yang didatangkan dari pulau lain, air yang dikirim ke pulau lain, dan sebagainya dapat diukur dan diolah secara terpadu.

Untuk daerah yang berdampingan dengan daerah lain, manfaat tersebut sangat jelas terlihat dalam kasus hulu-hilir. Kegagalan yang berulang bagi Jakarta dalam menangani banjir telah mengakibatkan kerugian bertriliun-triliun rupiah. Seandainya ada kerja sama yang baik antara hulu-hilir yang antara lain ditunjang dengan instrumen neraca air, maka sekurang-kurangnya dapat dilakukan berbagai upaya untuk mengurangi bencana tersebut, misalnya dengan melakukan pengolahan, pendistribusian, dan penyimpanan air dari PAM ke berbagai rumah di Jakarta sebelum terjadi banjir.

Pengelolaan pada dasarnya merupakan kegiatan untuk menjaga keseimbangan (Hornbogen & Schultz, 1998). Oleh karena itu pengelolaan air pada dasarnya menjaga keseimbangan antara permintaan air dengan penyediaan air. Untuk itu perlu suatu neraca air yang tepat di mana hal ini dimungkinkan bila menggunakan alat ukur neraca air.

Dari semua uraian di depan terlihat bahwa temuan mengenai perluasan konsep neraca air tersebut diharapkan untuk dilanjutkan dengan perealisasi pemasangan alat ukur neraca air (gambar 2). Alat ini seyogyanya akan menjadi suatu sistem instrumen baru sebagaimana halnya suatu sistem pengukur klimatologi atau dipasang bersama-sama dengan sistem pemantau klimatologi atau sistem pengukur curah hujan. Alat ukur neraca air tersebut pada dasarnya terdiri dari dua subsistem yang dalam hal ini diistilahkan dengan stasiun atau subsistem pengukur (*gauging station or subsystem*) dan stasiun atau subsistem pengolahan data (*data processing station or subsystem*).

Stasiun pengukur tersebut pada dasarnya terdiri dari bagian pemberi data dan *data logger*. Bagian pemberi data tersebut dikelompokkan menjadi pemberi data penyediaan air dan pemberi data permintaan air.



Gambar 2. Alat ukur neraca air.

Bagian pemberi data penyediaan air terdiri dari data yang sering berubah dan data yang lama berubah. Data yang sering berubah sekurang-kurangnya diperoleh dari sensor-sensor curah hujan, suhu, air yang masuk, air yang keluar, kondisi tanah, dan penutupan tanah. Data yang lama berubah, yang dalam hal jenis tanah dan penutupan tanah, cukup sekali diberikan atau diperbaharui bilamana dirasakan telah berubah.

Data logger akan berfungsi untuk menyimpan data yang diberikan oleh sensor. Ada kemungkinan fungsi *data logger* ini bisa diganti dengan bagian pengolah data tetapi cara ini belum tentu selalu lebih baik. Ada kalanya stasiun pengukur dan stasiun pengolah data terpisah terlalu jauh. Dalam keadaan seperti ini *data logger* sangat diperlukan.

Data pemakaian air sebenarnya sangat sulit untuk diketahui dengan tepat. Seandainya dapat diukur sekalipun, pengukuran tersebut akan membutuhkan energi, waktu, dan biaya yang besar. Untuk mengatasi kesulitan-kesulitan tersebut dilakukan suatu pendekatan dengan mengalikan jumlah orang dengan standar pemakaian air harian. Itu dilakukan baik untuk penduduk maupun bukan penduduk.

Seluruh data yang ada akan diolah oleh alat pengolah data. Alat pengolah data ini intinya berupa komputer yang terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perhitungan apa saja yang harus dimasukkan dalam perangkat lunak tersebut dan contoh bagaimana cara mengolahnya. Secara global telah dikemukakan oleh Wijonarko (2006a).

Data curah hujan yang diperoleh perlu dikonversikan menjadi volume air hujan yang masuk ke pulau yang dipasang alat ukur neraca air. Selain itu juga dapat dilakukan berbagai hal seperti membuat daftar peluang hujan setiap hari di daerah itu sebagaimana yang telah dilakukan Wijonarko (2006b). Di suatu pulau kecil, alat ukur neraca air ini kemungkinan besar hanya satu, walaupun bisa lebih bila karakteristik hujan di pulau tersebut berbeda-beda.

Data suhu digunakan bersama-sama dengan data curah hujan guna mencari data evapotranspirasi. Cara ini telah dilakukan oleh Wijonarko (2006c) dan memberikan hasil yang bagus. Hanya saja cara seperti ini membutuhkan perhitungan yang panjang sehingga lebih mudah bila sensor suhunya diganti dengan sensor penguapan.

Data mengenai tanah dan penutupan tanah digunakan untuk mencari air larian dari pulau tersebut. Contoh mengenai hal ini telah dilakukan oleh Wijonarko (2006d). Oleh karena itu di dalam alat pengolah data perlu dibuat program untuk menghitung air larian tersebut.

Selain hujan, air yang masuk ke pulau yang akan dipasang alat ukur neraca air juga dilengkapi dengan alat untuk mendeteksi air yang masuk ke tempat tersebut. Untuk mengetahui volume air yang masuk tersebut dengan cepat, seyogyanya ukuran tempat-tempat air tersebut distandarisasikan dalam ukuran-ukuran tertentu.

Air yang keluar dari pulau juga perlu diketahui. Cara untuk mengukurnya serupa dengan air yang masuk, hanya sifatnya berlawanan. Air yang masuk menambah penyediaan air sedangkan air yang keluar mengurangi jumlah penyediaan air.

Pemakaian air oleh bukan penduduk perlu juga dideteksi. Dalam hal ini petugas pengawas orang dan barang di dermaga perlu memantau orang yang masuk dan keluar. Data yang ada kemudian dimasukkan di dalam pengolah data secara manual. Oleh karena itu pengolah datanya perlu dipasang di dekat petugas tersebut.

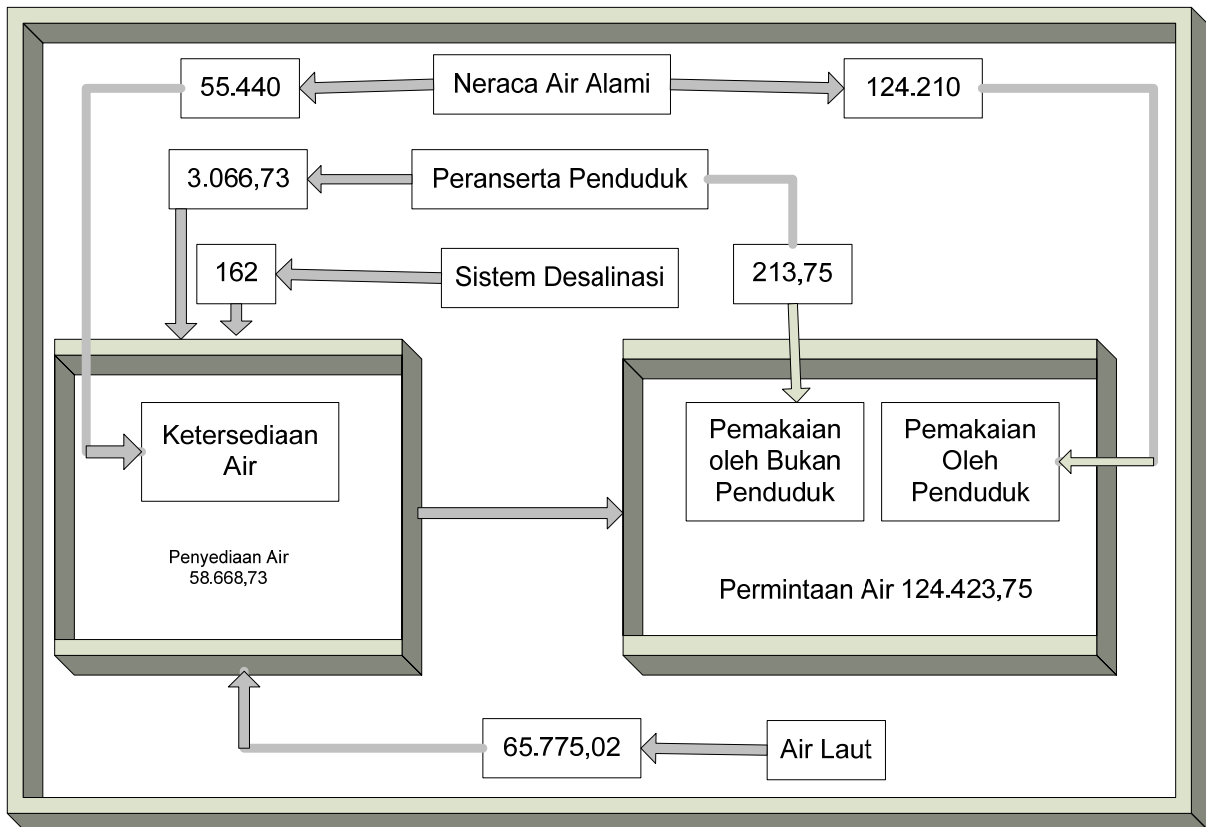
Perkembangan jumlah penduduk perlu dipantau. Setiap ada kelahiran, kematian, imigrasi dan emigrasi perlu dicatat. Dengan mengkaitkan data tersebut dengan standar konsumsi penduduk setempat maka jumlah air yang digunakan penduduk dapat diketahui.

Alat ukur neraca air dapat dibuat dalam bentuk sistem telemetri. Cara ini sangat bermanfaat bilamana informasi mengenai neraca air diperlukan di tempat lain yang disebut sebagai stasiun pemantau. Telemetri juga mungkin digunakan untuk mengetahui neraca air dari beberapa pulau yang mempunyai karakteristik curah hujan dan penguapan yang serupa. Jika demikian maka pengukuran curah hujan dan suhu atau curah hujan dan penguapan cukup dilakukan di satu pulau tetapi datanya digunakan untuk semua pulau tersebut.

Dari uraian di depan dapat secara ringkas dikemukakan kembali bahwa untuk mengatasi kekurangan air bersih penduduk-penduduk pulau kecil melakukan berbagai rekayasa baik yang bersifat ofensif maupun defensif. Oleh karena itu neraca air bukan merupakan parameter alami, sistem tertutup, dan siklus vertikal tetapi gabungan dari parameter alami dan rekayasa, sistem tertutup dan terbuka, serta siklus vertikal dan lateral.

Temuan ini memberi implikasi tentang perlunya ada suatu alat ukur khusus untuk neraca air di suatu tempat. Setahu penulis, alat ukur yang ada dalam praktek saat ini kurang fokus untuk mengukur neraca air dan tidak memasukkan unsur rekayasa manusia dalam neraca air sesuai dengan temuan ini.

Selain itu, peran instrumen neraca air sangat penting dalam melakukan pengelolaan air di suatu tempat. Jika alat tersebut dipasang di Pulau Panggang, berbagai perubahan neraca air dari neraca air rata-ratanya (gambar 3) dapat dilakukan dengan tepat. Sebagai contoh, berapa air bersih yang perlu disediakan pada bulan-bulan tertentu dapat diprediksi sebelum bulan tersebut berlangsung.



Gambar 3. Neraca air terpadu di Pulau Panggang per tahun dan instrumen yang diusulkan.

KESIMPULAN

Neraca air bukan merupakan parameter alami, sistem tertutup, dan siklus vertikal tetapi gabungan dari parameter alami dan rekayasa, sistem tertutup dan terbuka, serta siklus vertikal dan lateral. Konsep ini secara tidak langsung dipraktekkan oleh penduduk pulau kecil yang kekurangan air agar dapat terus bertahan hidup dengan cara melakukan berbagai usaha untuk menambah penyediaan air dan mengurangi permintaan air. Instrumen neraca air sangat diperlukan guna melakukan pengelolaan air dengan baik dan benar.

Saran

- 1) Pulau-pulau kecil dan tempat-tempat lainnya yang padat penduduk memiliki alat ukur neraca air;
- 2) Penelitian ini sudah nampak dapat memberikan transferabilitas yang cukup tinggi. Oleh karena itu, temuan penelitian ini seandainya tidak dilanjutkan dengan penelitian multi

tempat atau diganti dengan metode yang dapat memberikan generalisasi tinggi, sudah cukup meyakinkan untuk dijadikan dasar tentang adanya perluasan konsep tentang neraca air.

Daftar Pustaka

- Amirwandi, S. dan Waluyo Hatmoko. "Water District as a Basis for Regional Water Balance." 25 Tahun Perkembangan Hidrologi di Indonesia (Eds. P. E. Hehanussa, Joesron Loebis dan Tjiptasmara), LIPI, Jakarta, 1992.
- Direktorat Tata Kota dan Tata Daerah. "Aplikasi Analisa Neraca Air dalam Penyusunan Rencana Umum Tata Ruang Kabupaten." 25 Tahun Perkembangan Hidrologi di Indonesia (Eds. P. E. Hehanussa, Joesron Loebis dan Tjiptasmara), LIPI, Jakarta, 1992.
- Djuwansah, Ida N. *et al.*, "Karakteristik Air Tanah Pulau Kecil, Kasus di Pulau Pari", Pertemuan Ilmiah Tahunan XXVII Ikatan Ahli Geologi Indonesia, Yogyakarta, 1998.
- Hehanussa, P. E. "Konsep Dasar Pengelolaan Sumberdaya air di Pulau Berukuran Kecil" 25 Tahun Perkembangan Hidrologi di Indonesia (Eds. P. E. Hehanussa, Joesron Loebis dan Tjiptasmara), LIPI, Jakarta, 1992.
- Hornbogen, M. and G. A. Schultz. "A Quantitative Technique for Identification of a Potential Future Water Crisis in a Water Supply Area," Water: A Looming Crisis?, UNESCO, Paris (1998): pp. 359 – 361.
- Mawardi, I. Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Pulau-pulau Kecil, Bappenas, Jakarta, 2004.
- Muller, R. A. & Richard C. Thompson. "Water Budget Analysis" The Encyclopedia of Climatology (eds. John E. Oliver & Rhodes W. Fairbridge), Van Norstrand Reinhold, New York (1987): p. 917.
- Ns, "Memberi Nama Pulau nun Jauh di Sana," Demersal, Vol. I (2005): p. 40.
- Olivera, F. *et al.* "Mean-annual Water Balance of the Niger River, West Africa." Runoff Computations for Water Projects, IHP, Petersburg (1995): p. 109.
- Soemarwoto, O. Indonesia dalam Kancah Isu Lingkungan Global, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta (1992): p. 68.
- Sudaryono dan Jalin Tri Sampara. Pengelolaan Daerah Resapan Kawasan Lereng Gunung Merapi Bagian Selatan, 25 Tahun Perkembangan Hidrologi di Indonesia (Eds. P. E. Hehanussa, Joesron Loebis dan Tjiptasmara), LIPI, Jakarta, 1992.
- Tresnadi, H. "Pengelolaan Air Tanah Berwawasan Lingkungan Di Pulau-pulau Kecil," 25 Tahun Perkembangan Hidrologi di Indonesia (Eds. P. E. Hehanussa, Joesron Loebis dan Tjiptasmara), LIPI, Jakarta, 1992.
- UNESCO, Man Belongs to the Earth, UNESCO, Paris (1988): p 63.
- Weert, Rob van der and Adhi Suyanto. "Rainfall-Runoff Relationship for Tropical Regions." International Symposium on Comparative Research on Hydrology and Water resources in Southeast Asia and the Pacific, UNESCO-LIPI-Riward, Yogyakarta, (1996): p. 30.
- Wijonarko, S. a). "Neraca Air: Konsep yang Perlu Dimasukan dalam Alat Pemantau Kuantitas Air." Jurnal Teknik Lingkungan Buku 2 (Eds. Priana Sudjono, Fadjar Lucia Nugroho dan Wahyono Hadi), 2006: pp. 299– 306.
- b). "Penerapan Prinsip Simbiosis Mutualistik antara Alat Penakar Hujan dan Data Curah Hujan." Jurnal Teknik Lingkungan Buku 1 (Eds. Priana Sudjono, Fadjar Lucia Nugroho dan Wahyono Hadi), 2006: pp. 385– 390.
- c). "Pemanfaatan Termometer dan Alat Penakar Hujan dalam Perhitungan Evapotranspirasi: Studi Kasus di Pulau Panggang." Jurnal Teknik Lingkungan Buku 2 (Eds. Priana Sudjono, Fadjar Lucia Nugroho dan Wahyono Hadi), 2006: pp. 359 – 364.
- d). "Peranan Alat Penakar Hujan dalam Perhitungan Air Larian: Studi Kasus di Pulau Panggang." Jurnal Teknik Lingkungan Buku 1 (Eds. Priana Sudjono, Fadjar Lucia Nugroho dan Wahyono Hadi), 2006: pp. 233 – 240.
- Yudhohusodo, S. "Peran serta Pengusaha dalam Pengelolaan Pulau-pulau Kecil di Indonesia" Seminar dan Lokakarya Pengelolaan Pulau-pulau Kecil di Indonesia, BPPT, Jakarta 1998.