

MODEL KONSERVASI AIR TANAH DI DATARAN PANTAI KOTA SEMARANG

Groundwater Conservation Model in Coastal Plain of Semarang City

Oleh :

Setyawan Purnama, Andri Kurniawan, Sudaryatno

Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

Bulaksumur-Yogyakarta. Telp. 0272-902332/Fax. 0274-589595

ABSTRACT

There are three objectives of this research. First, to build the model of groundwater usage and conservation in the research area. Second, to identify the behaviour of model in various usages and conservations. Third, to formulate the policy of groundwater resources management that suitable with the region characteristic.

As a result, show that the programme Powersim 2.5c can be used and applied in hydrologis, especially in building groundwater conservation model. The conservation model that significantly suitable are to decrease the usage of water in domestic and industrial sector. Relationship by the third objectives, the some policies that can be carried out to conservations, namely decreasing water usage, restricting industrial growth, restricting settlement growth (especially in recharge area) and increasing the capacity of PDAM production.

Keywords : groundwater, conservation model

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Air merupakan sumberdaya penting dalam menunjang kehidupan manusia dan semua makhluk yang ada di bumi. Tanpa air, manusia tidak mungkin dapat bertahan hidup. Air juga merupakan sumberdaya vital dalam menunjang pembangunan ekonomi seperti sektor industri, perdagangan, pertanian, perikanan, transportasi, pembangkit tenaga listrik, pariwisata, rumah-tangga dan lain sebagainya. Disamping dimanfaatkan untuk hal-hal positif, perairan juga dimanfaatkan sebagai tempat mem-buang sampah dan limbah sebagai akibat proses produksi maupun konsumsi.

Sebagai salah satu sumberdaya alam, air di muka bumi tidak terdapat secara merata. Distribusi air dari satu tempat ke tempat lain di muka bumi berbeda-beda menurut ruang dan waktu. Banyak daerah yang mempunyai

potensi air yang cukup, tetapi tidak jarang dijumpai daerah-daerah yang mempunyai potensi air yang sangat kecil, bahkan pada waktu-waktu tertentu mengalami kekurangan air.

Dalam mempelajari serta mengevaluasi sumberdaya air di suatu daerah, segi kuantitas dan kualitas merupakan dua hal yang harus diketahui, karena kedua hal tersebut merupakan ukuran yang harus dipertimbangkan dalam pemanfaatan sumberdaya air. Pemanfaatan sumberdaya air tersebut harus mempertimbangkan segi kuantitas dan kualitas, sesuai dengan tujuan pemanfaatannya.

Model adalah penyederhanaan sistem di alam yang dapat digunakan untuk memudahkan pengambilan keputusan (Suratmo, 2002). Menurut Soedijono (1995), model merupakan gambaran suatu obyek yang disusun dengan tujuan mengenali perilaku obyek

dengan cara mencari keterkaitan antara unsur-unsurnya, mengadakan pendugaan untuk memperbaiki keadaan obyek serta untuk mengadakan optimisasi obyek. Fungsi suatu model adalah menggambarkan semirip mungkin keadaan obyek yang diamati sesuai dengan tujuan penyusunan model. Melalui model orang dapat mengadakan percobaan terhadap model tanpa mengganggu obyek dan dapat membuat gambaran masa depan.

Muhammadi dkk. (2001), mengelompokkan model menjadi model ikonik, model kuantitatif dan model kualitatif. Model ikonik adalah model yang mempunyai bentuk fisik sama dengan barang yang ditirukan, meskipun skalanya dapat diperbesar atau diperkecil, sehingga dapat diadakan percobaan untuk mengetahui gejala atau proses yang ditirukan (Eriyatno, 1998; Winardi, 1999; Muhammadi dkk., 2001). Model kuantitatif adalah model berbentuk rumus-rumus matematika dan statistik, sedangkan model kualitatif atau model analog adalah model berbentuk gambar atau diagram yang pada umumnya meminjam sistem lain yang mempunyai sifat sama dengan obyek. Model kualitatif atau analog dapat lebih menampilkan sifat dinamik obyeknya.

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Membuat model pemanfaatan dan konservasi airtanah di daerah penelitian
2. Mengetahui perilaku model pada beberapa upaya pemanfaatan dan konservasi airtanah.
3. Merumuskan kebijakan pengelolaan sumberdaya airtanah di daerah penelitian yang sesuai dengan karakteristik daerah.

Tinjauan Pustaka

Model dalam arti luas merupakan penggambaran sebagian dari kenyataan,

yaitu antara model dan kenyataan harus ada persamaan agar model yang bersangkutan dapat digunakan secara berarti (Winardi, 1999). Hal tersebut tidak berbeda dengan Ford (1999) yang mengartikan model sebagai pengganti sistem yang sebenarnya untuk memudahkan kerja. Dari terminologi penelitian operasional, model didefinisikan sebagai suatu perwakilan atau abstraksi dari sebuah obyek dalam situasi yang aktual. Model memperlihatkan hubungan-hubungan langsung maupun tidak langsung serta kaitan timbal balik dalam istilah sebab dan akibat. Karena model adalah suatu abstraksi dari realitas, maka pada wujudnya kurang kompleks daripada realitas itu sendiri. Model dapat dikatakan lengkap apabila dapat mewakili berbagai aspek dari realitas yang sedang dikaji. Salah satu dasar utama untuk mengembangkan model adalah menemukan peubah-peubah yang penting dan tepat. Penemuan peubah tersebut sangat erat kaitannya dengan pengkajian antar peubah.

Menurut Suratmo (2002), model adalah gambaran dari sistem interaksi antar komponen di alam dengan meniadakan komponen yang pengaruhnya kecil, sehingga hasil analisis model selalu memiliki kesalahan atau ketidaktepatan. Kesalahan dari model adalah kesalahan dalam memilih komponen yang dihilangkan. Beberapa penelitian menggunakan kriteria berikut: tingkat kebenaran di atas 95% disebut sangat baik, 85–94% baik, 75-84% cukup baik dan di bawah 75% disebut tidak baik.

Dalam prakteknya model dianalisis dalam dua kategori yaitu model analitik dan model simulasi. Model analitik adalah model yang rumus eksplisitnya diperoleh dari nilai penduga atau distribusi, termasuk dalam model ini adalah model regresi, eksperimen, baku mutu dan distribusi statistik. Model

simulasi adalah model yang dapat dijelaskan oleh operasi aritmatika secara rutin termasuk di dalamnya adalah penyelesaian persamaan diferensial, matrik atau penggunaan bilangan random (Jeffer, 1998).

Muhammadi, dkk. (2001) menjelaskan bahwa simulasi model bertujuan untuk memahami gejala atau proses yang terjadi, membuat peramalan gejala atau proses tersebut di masa depan. Simulasi model dilakukan melalui tahap: penyusunan konsep, pembuatan model, simulasi dan validasi hasil simulasi. Tahap-tahap simulasi model secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 1. Untuk melakukan simulasi model dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang dinamakan *Powersim*. Arne *et al.* (1996) menjelaskan bahwa *Powersim* adalah suatu perangkat lunak yang dibuat atas dasar model sistem dinamik dengan kemampuan yang tinggi dalam melakukan simulasi. *Powersim* digunakan sebagai laboratorium mini untuk melakukan percobaan beberapa kebijakan sebelum dicobakan ke dunia nyata.

Beberapa penelitian yang berkaitan dengan upaya konservasi airtanah telah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti. Salah satunya adalah Dasanto (1996) yang mengadakan penelitian yang berkaitan dengan konservasi airtanah di Kabupaten Bekasi, Jawa Barat. Hasil penelitian menunjukkan terdapatnya tujuh kecamatan yang mengalami defisit air. Defisit airtanah terbesar terjadi di Kecamatan Bekasi Barat sebesar 18.900 m^3 / hari. Akibat buruk yang terjadi adalah kekeringan di musim kemarau, intrusi air laut dan bahkan penurunan tanah. Dasanto menyarankan penerapan beberapa teknik konservasi seperti peraturan manajemen yang lebih ketat, mengurangi pengambilan airtanah dan pembuatan sumur resapan.

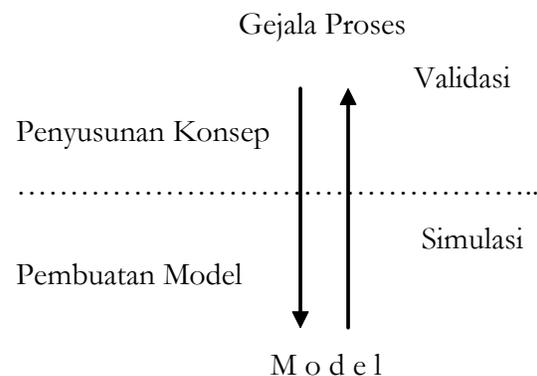
Berkaitan dengan bahaya intrusi air laut, Goldenberg *et al.* (1983) menyatakan adanya suatu zone air asin dan air tawar yang bersifat dinamis di dalam lapisan tanah. Disamping terjadi pergerakan antar zat cair, pada zone ini juga terjadi beberapa proses kimia seperti pertukaran ion Ca^{2+} dengan Mg^{2+} serta antara Ca^{2+} dan Na^+ . Menurut Polo dan Ramis (1983), pergerakan kedua jenis zat cair ini pada zone tersebut dapat diketahui dengan simulasi menggunakan model matematika.

METODE PENELITIAN

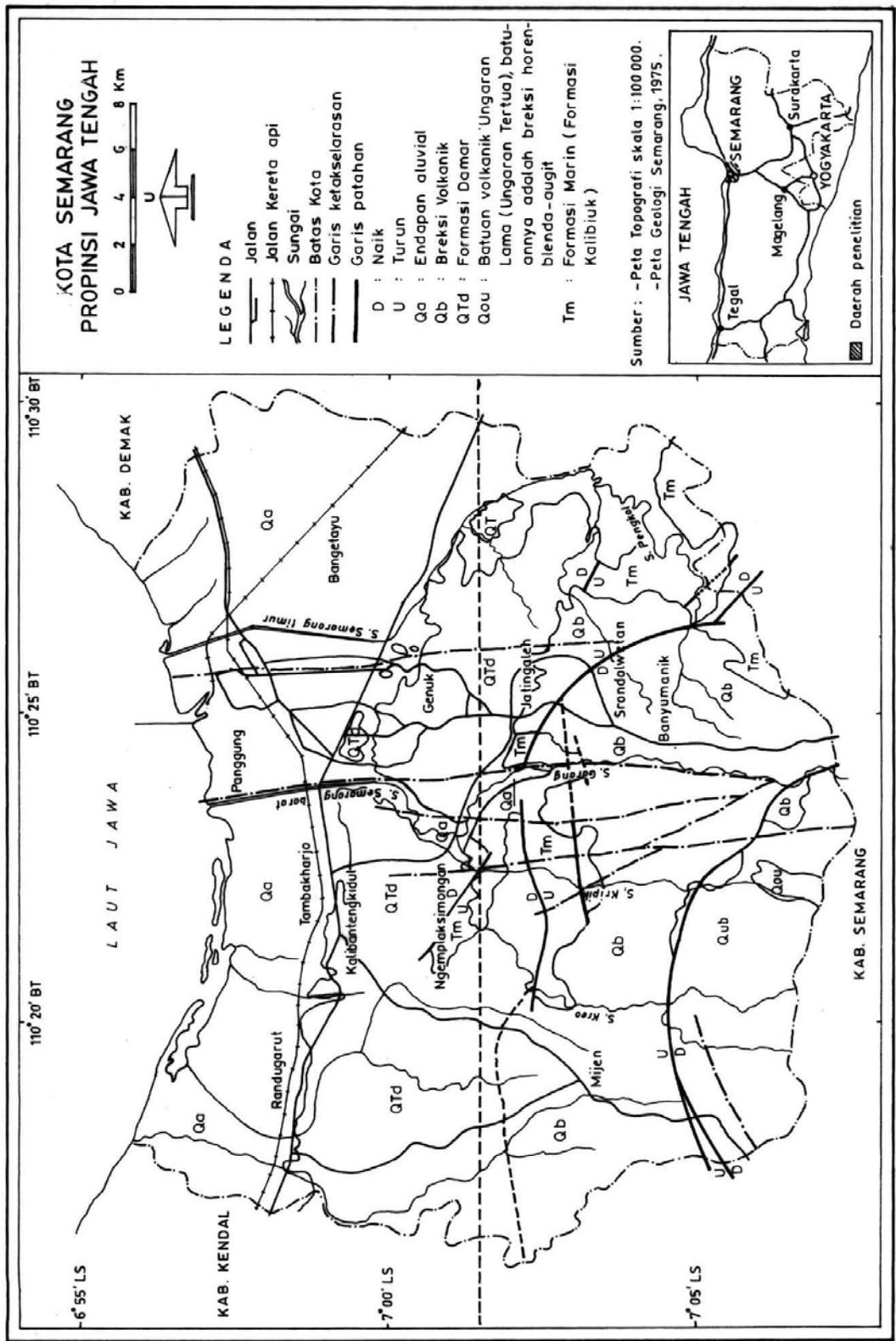
Lokasi

Lokasi penelitian di Kota Semarang, yang secara geografis terletak antara $6^{\circ}56' - 7^{\circ}07'$ LS serta antara $110^{\circ}16' - 110^{\circ}30'$ BT. Secara administratif di sebelah utara dibatasi oleh Laut Jawa, di sebelah selatan oleh Kabupaten Semarang, di sebelah barat oleh Kabupaten Kendal serta sebelah timur oleh Kabupaten Demak.

Ditinjau dari keadaan topografinya, pada bagian utara hingga pantai merupakan dataran rendah, sedangkan di bagian selatan merupakan perbukitan. Daerah penelitian meliputi seluruh dataran rendah tersebut dengan luas wilayah $117,1 \text{ km}^2$ (Gambar 2).



Gambar 1. Tahap-tahap simulasi model



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Pemodelan dinamik

Langkah pertama adalah dengan mengolah dan memilah data primer dan data sekunder yang berhubungan dan dianggap penting dalam mempengaruhi ketersediaan airtanah. (Casey *et al.*, 1983). Data sekunder yang amat penting adalah data jumlah penduduk, perubahan penggunaan lahan dari tahun ke tahun yang diperoleh dari foto udara dan citra dan data jumlah industri. Jumlah penduduk dan industri berpengaruh terhadap jumlah airtanah yang digunakan, sedangkan perubahan penggunaan lahan berperan dalam menentukan tingkat peresapan air atau suplai airtanah. Data sekunder tersebut digunakan untuk menentukan nilai laju perubahan kuantitas airtanah dari tahun ke tahun.

Model yang diperoleh selanjutnya disimulasi dengan menggunakan komputer program *Powersim 2.5c* (Arne *et al.*, 1996 ; Muhammadi dkk., 2001). Data pemodelan dan simulasi yang diperoleh merupakan data dasar dalam merumuskan kebijakan konservasi sumberdaya airtanah di daerah penelitian yang sesuai dengan karakteristik daerah ini. Model yang diperoleh, selanjutnya juga dapat digunakan untuk melakukan kegiatan pemodelan sumberdaya airtanah di daerah lain, setelah nilai masing-masing parameter model disesuaikan dengan karakteristik daerah tersebut.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Model Konservasi Airtanah

Secara konseptual, ketersediaan airtanah ditentukan oleh laju penggunaan dan laju imbuhan. Laju penggunaan meliputi penggunaan air untuk kebutuhan domestik, hotel dan industri, sedangkan laju

imbuhan meliputi imbuhan air dari hujan dan PDAM. Sebagai catatan, data yang akan digunakan dalam pemodelan ini adalah data pada Tahun 2000, sehingga hasil perhitungan untuk tahun berikutnya adalah merupakan hasil proyeksi. Maksud dari hal ini adalah untuk melakukan koreksi hasil berdasarkan data sebenarnya untuk periode 2001-2006.

Penggunaan air untuk kebutuhan domestik sangat dipengaruhi oleh jumlah penduduk. Dari 16 kecamatan di Kota Semarang, daerah penelitian hanya meliputi 11 kecamatan, sehingga dalam perhitungan jumlah penduduk juga hanya memperhatikan jumlah penduduk di 11 kecamatan tersebut. Berdasarkan proyeksi eksponensial, diketahui jumlah penduduk di daerah penelitian pada Tahun 2006 adalah sebesar 1.006.623 jiwa, dengan tingkat pertumbuhan penduduk 1,3%. Berdasarkan hasil wawancara, kebutuhan air per orang per hari adalah 150 l/orang/hari atau 54,75 m³/tahun.

Perhitungan kebutuhan air untuk hotel diperkirakan berdasarkan jumlah kamar yang tersedia. Asumsi yang digunakan adalah bahwa hotel terisi 50% dan tiap kamar memiliki 2 tempat tidur. Jumlah kebutuhan air untuk penghuni hotel dianggap sama dengan kebutuhan air penduduk. Berdasarkan data yang tersedia, jumlah hotel di daerah penelitian adalah 71 hotel dengan 3361 kamar atau 6722 tempat tidur.

Perhitungan jumlah air untuk industri diperkirakan dari jumlah industri yang berada di daerah penelitian. Berdasarkan proyeksi eksponensial, untuk Tahun 2006 jumlah industri di daerah penelitian adalah 16.528 unit dengan tingkat pertumbuhan 6%, sedangkan kebutuhan airnya sebesar 222,5 m³/unit/tahun untuk industri besar/

sedang dan $180 \text{ m}^3/\text{unit}/\text{tahun}$ untuk industri kecil. Dalam pemodelan, tidak dibedakan kebutuhan air antara industri besar/ sedang dan industri kecil. Kebutuhan air untuk industri ditentukan berdasarkan rata-rata timbang kebutuhan air antara antara kedua jenis industri tersebut yaitu sebesar $201,25 \text{ m}^3/\text{unit}/\text{tahun}$.

Sumber utama imbuhan airtanah adalah curah hujan. Daerah tangkapan hujan untuk daerah penelitian bukan hanya di dataran pantai saja, melainkan juga dari air hujan yang jatuh di Formasi Damar. Oleh karena itu dalam perhitungan volume hujan, diperhitungkan seluruh hujan yang jatuh di Kota Semarang. Besarnya curah hujan di Kota Semarang adalah $2584 \text{ mm}/\text{tahun}$, sedangkan luas wilayah Kota Semarang adalah $373,70 \text{ km}^2$. Sebagai catatan, dalam pemodelan ini imbuhan airtanah yang berasal dari satuan hidrologi lain tidak diperhitungkan.

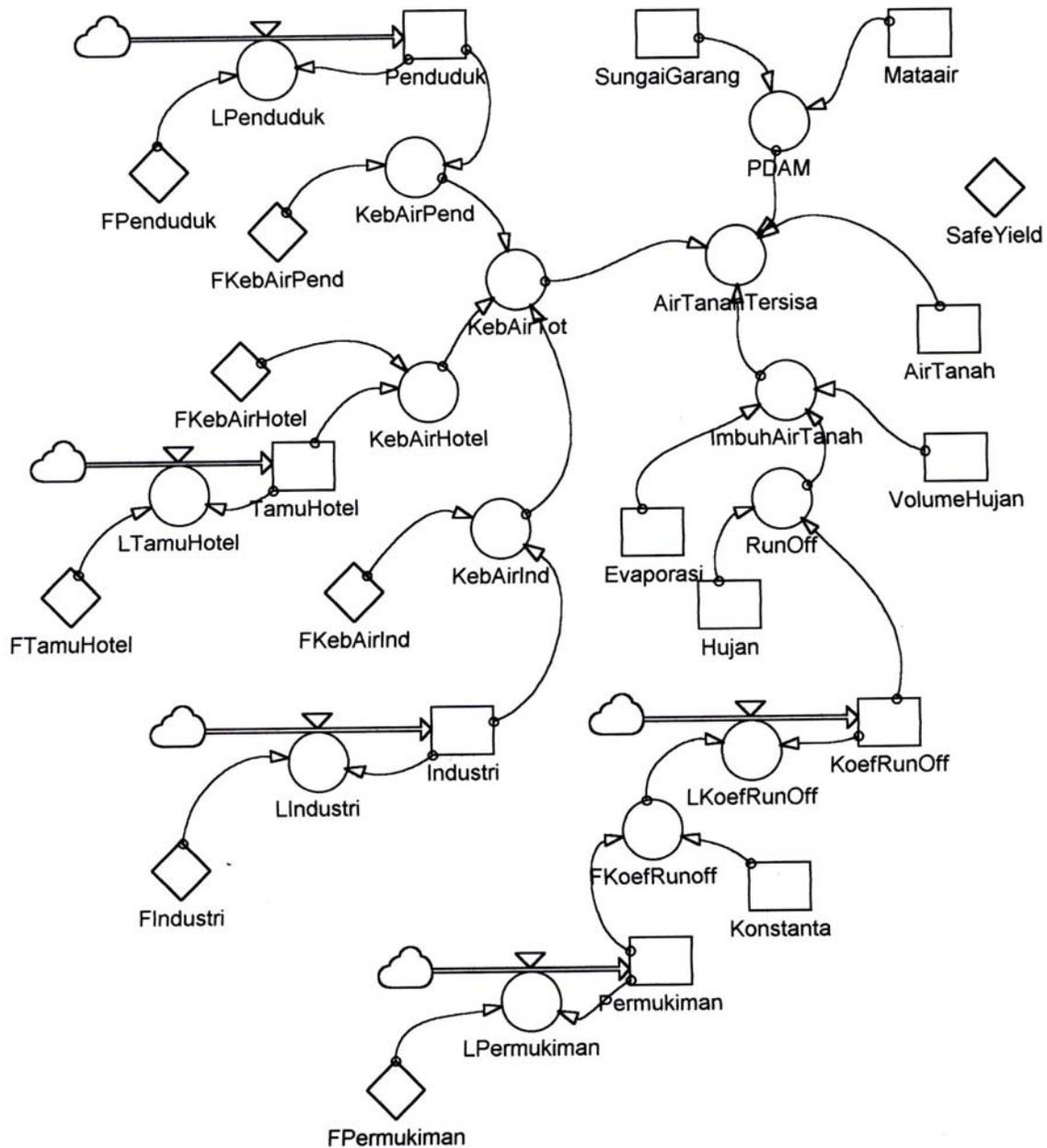
Air hujan yang jatuh di daerah penelitian, tidak seluruhnya meresap ke dalam tanah sebagai imbuhan airtanah. Sebagian curah hujan akan hilang ke atmosfer sebagai evaporasi, sebagian lagi menjadi runoff dan langsung mengalir ke laut. Dalam pemodelan ini, ditentukan besarnya evaporasi di Kota Semarang adalah $1000 \text{ mm}/\text{tahun}$, sedangkan nilai koefisien runoff mengacu dari hasil penelitian Sudaryatno (2000) yaitu sebesar $59,52\%$.

Menurut Cook (Meijerink, 1970), variabel yang sangat menentukan besarnya koefisien runoff adalah kemiringan lereng, infiltrasi tanah, vegetasi penutup dan timbunan air di permukaan, sehingga nilai koefisien runoff tidak bersifat tetap, tergantung dari perubahan variabel-variabel yang mempengaruhi tersebut. Salah satu

parameter yang mempengaruhi perubahan variabel-variabel koefisien runoff adalah bertambahnya wilayah permukiman, yang sangat berpengaruh terhadap infiltrasi tanah dan hilangnya vegetasi penutup. Dari proyeksi eksponensial, untuk Tahun 2006 luas permukiman di Kota Semarang adalah 16.570 ha dengan tingkat pertumbuhan $1,534\%$ per tahun.

PDAM secara tidak langsung juga berperan dalam konservasi airtanah di daerah penelitian. Dengan adanya suplai air dari PDAM, berarti eksploitasi airtanah oleh penduduk ataupun industri dan perhotelan akan berkurang. Selama ini sumber air utama PDAM adalah dari Sungai Garang dan sebagian kecil dari mataair. Berdasarkan data yang tersedia, jumlah air yang diambil dari Sungai Garang adalah $268.003 \text{ m}^3/\text{tahun}$ dan dari mataair sebesar $49.100 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Perkembangan pasok air dari PDAM boleh dikatakan relatif tetap, karena sangat sedikit terjadi penambahan jaringan baru.

Dalam pemodelan ini, satu aspek yang tidak boleh ditinggalkan *safe yield*. Nilai *safe yield* berfungsi sebagai kontrol apakah eksploitasi airtanah telah sesuai dengan batas amannya. Berdasarkan perhitungan dari Purnama (2002), hasil aman eksploitasi airtanah di Dataran Pantai Kota Semarang adalah sebesar $41.880.000 \text{ m}^3/\text{tahun}$. Berdasarkan parameter-parameter seperti yang telah ditentukan tersebut, dapat dibuat model konservasi air tanah di daerah penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, sedangkan hasil perhitungan dan grafiknya ditunjukkan pada Tabel 1, 2, 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Model Konservasi Airtanah Di Dataran Pantai Kota Semarang

Dari Tabel 1 terlihat bahwa hingga waktu ke 47 (dalam hal ini yang dimaksud adalah tahun 2047, yaitu 500 tahun berdirinya Kota Semarang), penduduk daerah penelitian telah mencapai 1.712.783 jiwa atau hampir dua kali lipat dari jumlah penduduk pada saat ini. Pertumbuhan hotel relatif tetap, namun jumlah industri mening-

kat tajam mencapai 177.776 unit atau lebih dari 10 kali lipat jumlah industri pada saat ini. Akibatnya jumlah kebutuhan air juga meningkat tajam (Tabel 2). Di Tahun 2006, kebutuhan air penduduk sekitar 55.112.642 m³/tahun, sedangkan pada Tahun 2047 telah mencapai 93.774.885 m³/tahun. Untuk kebutuhan air industri, terjadi pening-

Tabel 1. Perkembangan jumlah penduduk, tamu hotel dan jumlah industri di daerah penelitian

Time	Penduduk	TamuHotel	Industri
6	1,006,623.62	3,361.02	16,528.35
7	1,019,758.29	3,361.02	17,514.25
8	1,033,064.35	3,361.03	18,558.96
9	1,046,544.03	3,361.03	19,665.98
10	1,060,199.59	3,361.03	20,839.04
11	1,074,033.34	3,361.04	22,082.07
12	1,088,047.59	3,361.04	23,399.25
13	1,102,244.70	3,361.04	24,794.99
14	1,116,627.06	3,361.05	26,273.99
15	1,131,197.09	3,361.05	27,841.21
16	1,145,957.23	3,361.05	29,501.92
17	1,160,909.96	3,361.06	31,261.68
18	1,176,057.80	3,361.06	33,126.41
19	1,191,403.29	3,361.06	35,102.37
20	1,206,949.02	3,361.07	37,196.20
21	1,222,697.59	3,361.07	39,414.92
22	1,238,651.65	3,361.07	41,765.98
23	1,254,813.88	3,361.08	44,257.29
24	1,271,187.00	3,361.08	46,897.20
25	1,287,773.76	3,361.08	49,694.57
26	1,304,576.95	3,361.09	52,658.81
27	1,321,599.40	3,361.09	55,799.86
28	1,338,843.95	3,361.09	59,128.27
29	1,356,313.52	3,361.10	62,655.22
30	1,374,011.03	3,361.10	66,392.55
31	1,391,939.47	3,361.10	70,352.81
32	1,410,101.84	3,361.11	74,549.29
33	1,428,501.19	3,361.11	78,996.09
34	1,447,140.63	3,361.11	83,708.14
35	1,466,023.28	3,361.12	88,701.26
36	1,485,152.31	3,361.12	93,992.21
37	1,504,530.95	3,361.12	99,598.76
38	1,524,162.44	3,361.13	105,539.74
39	1,544,050.09	3,361.13	111,835.10
40	1,564,197.23	3,361.13	118,505.96
41	1,584,607.27	3,361.14	125,574.74
42	1,605,283.61	3,361.14	133,065.16
43	1,626,229.75	3,361.14	141,002.38
44	1,647,449.20	3,361.15	149,413.05
45	1,668,945.52	3,361.15	158,325.40
46	1,690,722.34	3,361.15	167,769.38
47	1,712,783.30	3,361.16	177,776.67

katan dari 3.326.329 m³/tahun menjadi 35.777.555 m³/tahun. Dengan peningkatan kebutuhan air dari kedua sektor ini, kebutuhan air total untuk seluruh daerah penelitian meningkat dari 58.622.988 m³/tahun di Tahun 2006 menjadi 129.736.464

m³/tahun di Tahun 2047. Ditinjau dari hasil amannya (*safe yield*), berdasarkan angka-angka ini eksploitasi airtanah total di daerah penelitian memang telah melampaui hasil amannya (lihat Gambar 3.b). Faktor penyebab utamanya adalah eksploitasi airtanah

untuk kebutuhan air penduduk atau kebutuhan domestik. Meskipun demikian, pada pertengahan abad ini sektor industri juga akan semakin berpengaruh terhadap peningkatan eksploitasi airtanah.

Di sisi lain, dengan peningkatan jumlah penduduk dan industri terjadi perluasan permukiman. Di Tahun 2006 luas lahan permukiman di dataran pantai Kota Semarang diproyeksikan sekitar 16.570 ha,

Tabel 2. Peningkatan kebutuhan air di daerah penelitian

Time	KebAirPend	KebAirHotel	KebAirInd	KebAirTot
6	55,112,642.96	184,015.85	3,326,329.55	58,622,988.37
7	55,831,766.34	184,016.04	3,524,742.19	59,540,524.56
8	56,560,273.02	184,016.22	3,734,989.96	60,479,279.20
9	57,298,285.43	184,016.41	3,957,778.84	61,440,080.67
10	58,045,927.61	184,016.59	4,193,856.87	62,423,801.07
11	58,803,325.21	184,016.77	4,444,016.75	63,431,358.73
12	59,570,605.52	184,016.96	4,709,098.45	64,463,720.93
13	60,347,897.50	184,017.14	4,989,992.03	65,521,906.67
14	61,135,331.77	184,017.33	5,287,640.68	66,606,989.77
15	61,933,040.68	184,017.51	5,603,043.80	67,720,101.99
16	62,741,158.29	184,017.69	5,937,260.44	68,862,436.43
17	63,559,820.42	184,017.88	6,291,412.82	70,035,251.12
18	64,389,164.66	184,018.06	6,666,690.07	71,239,872.79
19	65,229,330.38	184,018.25	7,064,352.28	72,477,700.91
20	66,080,458.80	184,018.43	7,485,734.69	73,750,211.92
21	66,942,692.95	184,018.61	7,932,252.19	75,058,963.75
22	67,816,177.74	184,018.80	8,405,404.07	76,405,600.60
23	68,701,059.98	184,018.98	8,906,779.04	77,791,858.00
24	69,597,488.38	184,019.17	9,438,060.59	79,219,568.13
25	70,505,613.59	184,019.35	10,001,032.62	80,690,665.56
26	71,425,588.26	184,019.53	10,597,585.43	82,207,193.22
27	72,357,566.97	184,019.72	11,229,722.10	83,771,308.79
28	73,301,706.38	184,019.90	11,899,565.16	85,385,291.44
29	74,258,165.15	184,020.09	12,609,363.78	87,051,549.01
30	75,227,104.03	184,020.27	13,361,501.26	88,772,625.56
31	76,208,685.86	184,020.45	14,158,503.07	90,551,209.39
32	77,203,075.62	184,020.64	15,003,045.35	92,390,141.61
33	78,210,440.42	184,020.82	15,897,963.83	94,292,425.08
34	79,230,949.57	184,021.01	16,846,263.42	96,261,233.99
35	80,264,774.57	184,021.19	17,851,128.24	98,299,924.00
36	81,312,089.17	184,021.37	18,915,932.37	100,412,042.9
37	82,373,069.39	184,021.56	20,044,251.12	102,601,342.1
38	83,447,893.55	184,021.74	21,239,873.10	104,871,788.4
39	84,536,742.28	184,021.93	22,506,812.89	107,227,577.1
40	85,639,798.57	184,022.11	23,849,324.51	109,673,145.2
41	86,757,247.81	184,022.29	25,271,915.78	112,213,185.9
42	87,889,277.81	184,022.48	26,779,363.37	114,852,663.7
43	89,036,078.82	184,022.66	28,376,728.88	117,596,830.4
44	90,197,843.57	184,022.85	30,069,375.84	120,451,242.3
45	91,374,767.31	184,023.03	31,862,987.71	123,421,778.1
46	92,567,047.84	184,023.21	33,763,586.95	126,514,658.0
47	93,774,885.55	184,023.40	35,777,555.27	129,736,464.2

sedangkan di Tahun 2047 diproyeksikan mencapai 30.931 ha atau meningkat hampir dua kali lipat. Akibat dari konversi lahan menjadi permukiman ini, akan terjadi perubahan koefisien runoff dan pada

akhirnya menyebabkan peningkatan runoff. Hujan yang meresap ke dalam tanah akan berkurang karena sebagian besar akan menjadi runoff. Akibatnya imbuh airtanah berkurang. Jika pada Tahun 2006 imbuh

Tabel 3. Penurunan imbuh airtanah di daerah penelitian

Time	Permukiman	RunOff	ImbuhAirTanah	PDAM	AirTanahTersisa
6	16,570.49	574,928,601	17,012,198.71	317,103.00	50,366,313.34
7	16,824.68	574,960,097	16,980,702.95	317,103.00	49,417,281.39
8	17,082.76	574,992,078	16,948,722.30	317,103.00	48,446,546.10
9	17,344.81	575,024,551	16,916,249.27	317,103.00	47,453,271.60
10	17,610.88	575,057,524	16,883,276.24	317,103.00	46,436,578.17
11	17,881.03	575,091,005	16,849,795.49	317,103.00	45,395,539.76
12	18,155.32	575,125,001	16,815,799.18	317,103.00	44,329,181.25
13	18,433.82	575,159,521	16,781,279.32	317,103.00	43,236,475.65
14	18,716.59	575,194,572	16,746,227.83	317,103.00	42,116,341.06
15	19,003.70	575,230,164	16,710,636.49	317,103.00	40,967,637.50
16	19,295.22	575,266,303	16,674,496.94	317,103.00	39,789,163.51
17	19,591.20	575,302,999	16,637,800.71	317,103.00	38,579,652.60
18	19,891.73	575,340,261	16,600,539.20	317,103.00	37,337,769.41
19	20,196.86	575,378,096	16,562,703.64	317,103.00	36,062,105.73
20	20,506.68	575,416,515	16,524,285.17	317,103.00	34,751,176.25
21	20,821.25	575,455,525	16,485,274.76	317,103.00	33,403,414.01
22	21,140.64	575,495,137	16,445,663.25	317,103.00	32,017,165.64
23	21,464.94	575,535,359	16,405,441.33	317,103.00	30,590,686.33
24	21,794.21	575,576,200	16,364,599.56	317,103.00	29,122,134.43
25	22,128.53	575,617,672	16,323,128.35	317,103.00	27,609,565.78
26	22,467.98	575,659,782	16,281,017.93	317,103.00	26,050,927.71
27	22,812.63	575,702,542	16,238,258.42	317,103.00	24,444,052.63
28	23,162.58	575,745,960	16,194,839.77	317,103.00	22,786,651.32
29	23,517.89	575,790,048	16,150,751.75	317,103.00	21,076,305.73
30	23,878.65	575,834,816	16,105,984.00	317,103.00	19,310,461.44
31	24,244.94	575,880,274	16,060,525.98	317,103.00	17,486,419.59
32	24,616.86	575,926,433	16,014,367.00	317,103.00	15,601,328.39
33	24,994.47	575,973,304	15,967,496.19	317,103.00	13,652,174.12
34	25,377.89	576,020,897	15,919,902.52	317,103.00	11,635,771.53
35	25,767.18	576,069,225	15,871,574.77	317,103.00	9,548,753.78
36	26,162.44	576,118,298	15,822,501.57	317,103.00	7,387,561.66
37	26,563.77	576,168,129	15,772,671.35	317,103.00	5,148,432.27
38	26,971.26	576,218,728	15,722,072.36	317,103.00	2,827,386.96
39	27,384.99	576,270,107	15,670,692.68	317,103.00	420,218.59
40	27,805.07	576,322,280	15,618,520.19	317,103.00	-2,077,522.01
41	28,231.60	576,375,257	15,565,542.58	317,103.00	-4,670,540.31
42	28,664.67	576,429,053	15,511,747.37	317,103.00	-7,363,813.29
43	29,104.38	576,483,678	15,457,121.84	317,103.00	-10,162,605.5
44	29,550.84	576,539,147	15,401,653.11	317,103.00	-13,072,486.1
45	30,004.14	576,595,472	15,345,328.08	317,103.00	-16,099,347.0
46	30,464.40	576,652,667	15,288,133.44	317,103.00	-19,249,421.6
47	30,931.72	576,710,744	15,230,055.69	317,103.00	-22,529,305.5

airtanah diperkirakan sebesar 17.012.198 m³/tahun, pada Tahun 2047 hanya akan mencapai 15.230.055 m³/tahun dan airtanah tersisa akan mencapai defisit mulai tahun 2040 (Tabel 3 dan Gambar 3.c).

Konservasi Airtanah dengan Cara Mengurangi Pemakaian Air

Pemakaian air oleh penduduk

Ada dua cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi jumlah pemakaian air untuk kebutuhan domestik. Cara pertama adalah dengan mengurangi tingkat pertumbuhan penduduk, dan cara kedua adalah dengan mengurangi pemakaian air atau hemat air. Kedua cara ini dilakukan dalam simulasi, yaitu dengan mengurangi tingkat pertumbuhan penduduk sebesar 50% dan mengurangi pemakaian air per orang per hari juga sebesar 50%. Artinya jika sebelumnya jumlah pemakaian air adalah 150 l/orang/hari, diubah menjadi 75 l/orang/hari.

Hasil simulasi menunjukkan terjadinya penurunan kebutuhan air yang sangat signifikan. Jika pada Tahun 2006 kebutuhan air penduduk sebesar 26.508.526 m³/tahun, di Tahun 2047 hanya mencapai 34.608.063 m³/tahun. Dampak terhadap kebutuhan air secara keseluruhan sangat besar. Kebutuhan air total pada Tahun 2047 hanya akan mencapai 70.569 m³/tahun, dan eksploitasi airtanah baru akan melampaui hasil amannya pada sekitar Tahun 2028. Demikian pula, meskipun kebutuhan air total masih selalu melebihi imbuh airtanahnya, namun hingga Tahun 2047 belum terjadi defisit air.

Pemakaian air oleh perhotelan

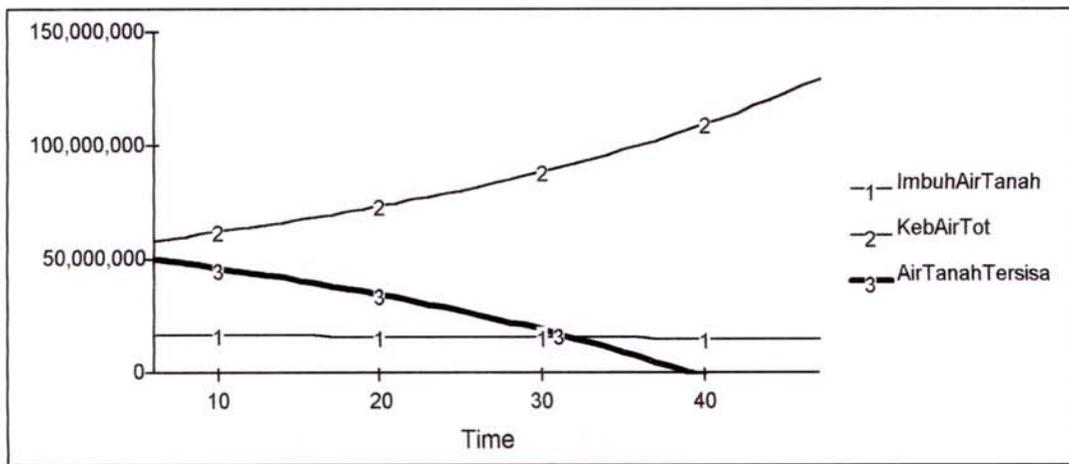
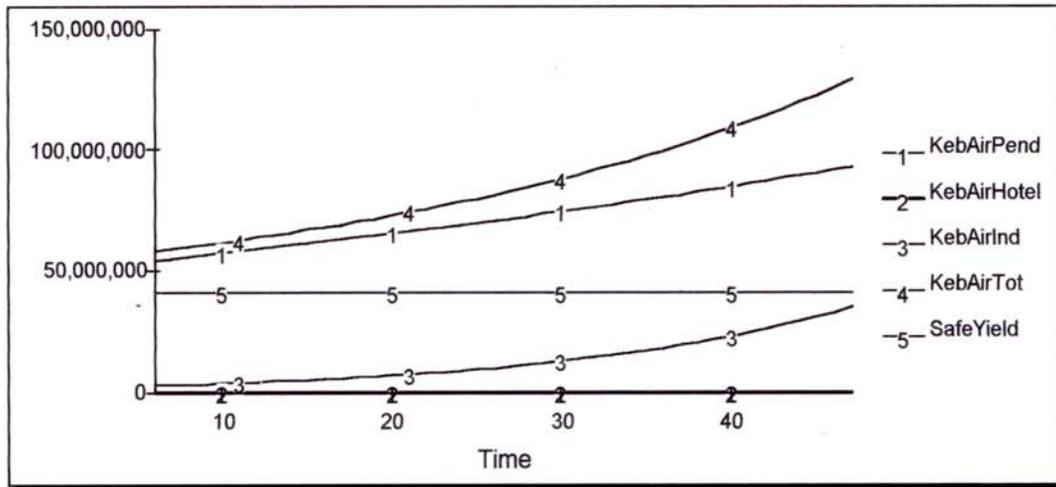
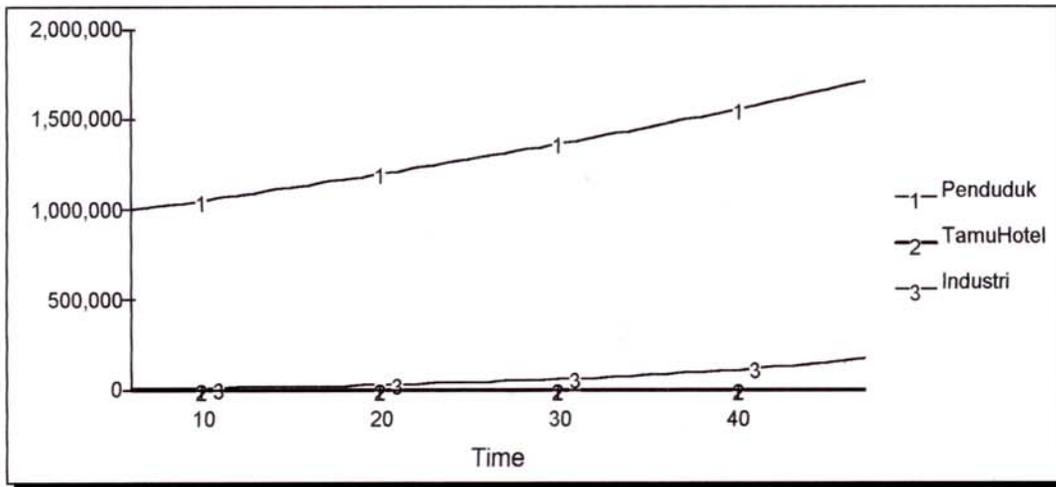
Konservasi airtanah dengan cara mengurangi pemakaian air oleh sektor perhotelan hampir tidak berarti sama sekali.

Dari hasil simulasi dengan menurunkan tingkat pertumbuhan hotel dan pemakaian air sebesar 50% tidak terlihat adanya perubahan pemakaian air total yang signifikan. Kebutuhan air total untuk Tahun 2006 sebesar 58.530.980 m³/tahun, sedangkan untuk Tahun 2047 sebesar 129.644.450 m³/tahun (tanpa penurunan 50%, kebutuhan totalnya 58.622.988 m³/tahun di Tahun 2006 dan 129.736.464 m³/tahun untuk Tahun 2047). Dengan hasil ini, defisit air juga akan mulai terjadi sejak Tahun 2040.

Pemakaian air oleh industri

Seperti halnya pemakaian air untuk kebutuhan domestik dan perhotelan, pengurangan air untuk industri juga dapat dilakukan dengan dua cara yaitu dengan mengurangi tingkat pertumbuhan industri dan mengurangi tingkat pemakaian air untuk industri. Dengan mengurangi tingkat pertumbuhan industri dan pemakaian airnya sebesar 50%, terjadi tingkat penurunan kebutuhan air yang cukup signifikan. Jika pada Tahun 2006 kebutuhan air untuk industri sebesar 1.401.335 m³/tahun, untuk Tahun 2047 hanya mencapai 4.675.578 m³/tahun (bandingkan bila tanpa pengurangan 50%, kebutuhan air untuk industri pada Tahun 2047 mencapai 35.777.555 m³/tahun). Akibatnya kebutuhan air total juga berkurang yaitu sebesar 56.697.944 m³/tahun untuk Tahun 2006 dan 98.634.487 m³/tahun. Meskipun nilai ini masih melampaui hasil amannya, tetapi hingga Tahun 2047 tidak terjadi defisit airtanah.

Untuk mengetahui pengaruh pengurangan ketiga sektor tersebut bersama-sama, dilakukan simulasi seperti sebelumnya, namun tingkat pertumbuhan dan pemakaiannya semuanya diturunkan hingga 50%. Hasil



Gambar 3. Grafik perkembangan jumlah penduduk, tamu hotel dan jumlah industri (a), kebutuhan air dan safe yield (b) serta imbuh airtanah, kebutuhan air dan airtanah tersisa (c)

simulasi menunjukkan bahwa kebutuhan air total untuk Tahun 2006 adalah sebesar 28.001.870 m³/tahun dan untuk Tahun 2047 adalah sebesar 39.375.651 m³/tahun. Nilai kebutuhan air ini masih di bawah hasil aman eksploitasi airtanahnya dan hingga Tahun 2047 juga tidak terjadi defisit air. Meskipun demikian imbuh airtanah yang berasal dari air hujan masih lebih rendah daripada eksploitasi airtanahnya.

Konservasi Airtanah Dengan Cara Meningkatkan Imbuh Airtanah

Seperti telah disebutkan sebelumnya, imbuh airtanah yang dimaksud dalam pemodelan ini adalah imbuh airtanah yang berasal dari curah hujan saja, dan belum memperhitungkan imbuh airtanah yang berasal dari aliran airtanah dari satuan hidrologi di dekatnya. Salah satu cara untuk meningkatkan imbuh airtanah adalah mengurangi bagian hujan yang menjadi runoff. Cara untuk mengurangi runoff adalah menurunkan kecepatan konversi lahan menjadi daerah permukiman, karena perluasan permukiman akan meningkatkan nilai koefisien runoff.

Untuk itu, dalam simulasi ini laju kecepatan konversi lahan menjadi permukiman diturunkan 50%. Hasilnya, terjadi pelambatan laju pengurangan imbuh airtanah yaitu dari 17.015.608 m³/tahun di Tahun 2006 menjadi 15.570.249 m³/tahun di Tahun 2047 (bandingkan dengan hasil tanpa penurunan laju permukiman yaitu sebesar 17.012.198 m³/tahun di Tahun 2006 dan 15.230.055 m³/tahun). Dari hasil tersebut terlihat bahwa meskipun terjadi pelambatan penurunan imbuh airtanah, ternyata tidak berpengaruh secara signifikan terhadap ketersediaan airtanah secara keseluruhan. Defisit air juga masih terjadi pada Tahun 2040.

Konservasi Airtanah Dengan Cara Meningkatkan Kapasitas Produksi PDAM

Asumsi dari cara konservasi ini adalah bahwa jika sebagian besar penduduk, sektor perhotelan ataupun industri menggunakan air dari PDAM, eksploitasi airtanah akan berkurang. Untuk itu dalam simulasi ini diasumsikan produksi air PDAM meningkat dua kali lipat yaitu dari 317.103 m³/tahun menjadi 634.206 m³/tahun. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan dua kali lipat produksi air PDAM tidak berpengaruh secara signifikan terhadap ketersediaan airtanah di daerah penelitian. Defisit air masih akan terjadi pada Tahun 2040.

Konservasi Airtanah Dengan Mengurangi Pemakaian Air dan Menambah Pasokan

Dalam konservasi ini, semua parameter yang mempengaruhi ketersediaan airtanah diubah nilainya. Semua jenis pemakaian air (domestik, perhotelan dan industri) dan laju perluasan permukiman diturunkan nilainya sebesar 50%, sedangkan produksi air dari PDAM ditingkatkan dua kali lipat.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa terjadi penurunan kebutuhan air yang sangat signifikan. Pada Tahun 2006 kebutuhan air total sebesar 28.001.870 m³/tahun, sedangkan pada Tahun 2047 hanya mencapai 39.375.651 m³/tahun. Di sisi lain penurunan laju imbuh airtanah juga semakin berkurang, yaitu dari 17.015.608 m³/tahun di Tahun 2006 menjadi 15.570.349 m³/tahun di Tahun 2047. Eksploitasi airtanah dimungkinkan juga akan selalu di bawah hasil amannya dan tidak akan pernah terjadi defisit air.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

- 1) Program *Powersim 2,5c* dapat digunakan untuk diterapkan dalam bidang kajian hidrologi, khususnya dalam membuat model konservasi airtanah.
- 2) Cara konservasi airtanah di daerah penelitian yang hasilnya paling signifikan adalah dengan cara mengurangi pemakaian air untuk sektor domestik dan industri.
- 3) Ada beberapa kebijakan yang dapat dilakukan berkaitan dengan konservasi airtanah, antara lain melalui gerakan hemat air, pembatasan laju industri, pembatasan laju perluasan permukiman (terutama pada daerah recharge) dan meningkatkan kapasitas produksi PDAM.

Saran

- 1) Dilakukan pembatasan pembangunan permukiman di perbukitan (di Kota Semarang bagian selatan), karena wilayah tersebut merupakan daerah resapan air hujan. Penghijauan dan pembuatan sumur resapan perlu juga segera dilakukan untuk lebih mengintensifkan persapan air hujan sebagai air tanah.

- 2) Penataan pembuatan sumur bor dalam, yaitu dengan lebih memperhatikan kedalaman dan produktivitas akuifernya. Selain upaya tersebut perlu juga diperhatikan masalah pelestarian air tanah di akuifer semi tertekan ini.
- 3) PDAM perlu segera memperluas jaringan pipa air minum. Selain dari Sungai Garang dan air tawar dari akuifer semi tertekan, alternatif sumber air tawar lain yang dapat digunakan adalah dari mata air - mata air yang muncul pada mintakat patahan di Formasi Kalibiuk. Debit mata air pada umumnya cukup tinggi, karena berasal dari aliran air tanah dari Formasi Vulkanik Ungaran yang tertahan lapisan batu liat dari Formasi Kalibiuk.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari Penelitian Hibah Bersaing XIII Perguruan Tinggi. Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional RI dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat UGM atas kesempatan dan biaya yang diberikan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arne, H., Byrkness and J. Cover. 1996. *Quick Tours in Powersim*. Powersim Press, Virginia.
- Casey, D., P. N. Nemetz and D. H. Uyeno. 1983. Sampling frequency for water monitoring : measures of effectiveness. *Water Resources Research* 19 (5) : 22-41.
- Dasanto, B.D. 1996. Groundwater conservation on Bekasi District, West Java. *The Indonesian Journal of Geography*, 28 (71) : 11-24.
- Eriyatno. 1998. *Ilmu Sistem, Meningkatkan Mutu dan Efektivitas Manajemen*. IPB Press, Bogor.

- Ford, A. 1999. *Modeling of Environment : An Introduction to System Dynamics Models of Environmental System*. Island Press, California.
- Goldenberg, L. C., M. Magaritz and S. Mandel. 1983. Experimental investigation on irreversible changes of hydraulic conductivity on the seawater-freshwater interface in coastal aquifers. *Water Resources Research* 19 (1) : 225-242.
- Jeffer, J. N. R. 1998. *An Introduction to System Analysis : with Ecological Application*. Edward Arnold, London.
- Muhammadi, E., Aminullah dan B. Soesilo. 2001. *Analisis Sistem Dinamis : Lingkungan Hidup, Sosial Ekonomi, Manajemen*. UMP Press, Jakarta
- Meijerink. 1970. *Photo Interpretation in Hydrology. A Geomorphological Approach*. ITC, Delf.
- Polo, J. F and J. R. Ramis. 1983. Simulation of salt water-fresh water interface motion. *Water Resources Research* 19 (1) : 911-931.
- Purnama, S. 2002. Hasil aman eksploitasi airtanah di Kota Semarang, Propinsi Jawa Tengah. *Majalah Geografi Indonesia* 16 (2) : 77-85.
- Soedijono, B. 1995. *Model Matematika*. Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.
- Sudaryatno. 2000. *Penerapan Teknik Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi untuk Estimasi Debit Puncak di Daerah Aliran Sungai (DAS) Garang, Semarang, Jawa Tengah*. Tesis. Program Pascasarjana, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Suratmo, F. G. 2002. *Panduan Penelitian Multidisiplin*. IPB Press, Bogor.
- Winardi. 1999. *Pengantar Tentang Teori Sistem dan Analisis Sistem*. Mandar Maju, Bandung.