

PENGGUNAAN MODEL DINAMIK DALAM PENENTUAN PRIORITAS KONSERVASI AIR TANAH DI KABUPATEN BANTUL

Dynamic Model Application to Determine Ground Water Conservation Priorities in Bantul District

Setyawan Purnama

Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
Bulak sumur-Yogyakarta. Telp. 08122964300/Fax. 0274-589595
E-mail: setyapurna@geo.ugm.ac.id

Diterima: 28 Maret 2013; Dikoreksi: 26 April 2013; Disetujui : 14 Mei 2013

Abstract

Recently, problem related to water resources, especially groundwater is more complex. Basically there are three problems related to groundwater resources i.e. quantity, quality and its distribution (spatially or temporary). Conservation is needed to be done to keep its sustainability. Base on this background, the objectives of the research is (1) to build groundwater conservation model, (2) to analyse the performance of model in various physical and social-economic condition and (3) to determine policy priority of groundwater resources conservation. Calculation of groundwater availability, safe yield, and its usage for domestic, industry, hotels and poultry are carried out to achieve these objectives. Powersim 2,5c. programme is used as model simulation. As a result, it is known that dynamic model with Powersim 2,5c. programme can be used to do hydrologic simulation models, especially in groundwater conservation models. Base on model behavior simulation, it is known that decreasing of land conversion to settlement can be preserved decreasing of groundwater recharge and decreasing of groundwater storage significantly. Moreover, because of its hydrologic system, the decreasing of land conservation do not just be done in Bantul District, but also in Sleman and Jogjakarta City. Besides decreasing of land conversion, the policy that can be done to conserve groundwater is by decreasing water consumption.

Keywords : dynamic models, groundwater conservation, Bantul District

Abstrak

Saat ini, permasalahan yang berkaitan dengan sumberdaya air, khususnya sumberdaya air tanah semakin kompleks. Pada dasarnya ada tiga masalah dalam kaitannya dengan sumberdaya ini, yaitu masalah kuantitas, kualitas dan masalah distribusi, baik secara keruangan maupun waktu. Upaya konservasi perlu sedini mungkin dilakukan terhadap keberadaan sumberdaya ini agar keberlanjutannya dapat terjaga. Tujuan dari penelitian ini adalah (1) membuat model konservasi air tanah di daerah penelitian. (2) mengetahui perilaku model pada berbagai kondisi fisik dan sosial ekonomi dan (3) merumuskan prioritas kebijakan konservasi sumberdaya air tanah di daerah penelitian yang sesuai dengan karakteristik daerah. Untuk mencapai tujuan ini dilakukan perhitungan ketersediaan air tanah dan hasil aman dengan metode statik dan perhitungan kebutuhan air untuk keperluan domestik, industri, perhotelan dan peternakan. Untuk melakukan simulasi pemodelan digunakan Program Powersim 2,5c. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model dinamik dengan menggunakan Program Powersim 2,5c dapat digunakan untuk melakukan simulasi model hidrologi, khususnya model konservasi air tanah. Berdasarkan hasil simulasi model, diketahui bahwa dengan mengurangi laju konversi lahan menjadi permukiman, dapat mempertahankan pengurangan imbuh air tanah dan mengurangi laju pengurangan jumlah air tanah tersimpan secara signifikan. Pengurangan laju konversi lahan bukan hanya dilakukan di wilayah Kabupaten Bantul, namun dilakukan secara terpadu untuk seluruh Sistem Akuifer Merapi yang juga meliputi Kabupaten Sleman dan Kota Yogyakarta. Selain dengan mengurangi konversi lahan, kebijakan yang dapat dilakukan dalam konservasi air tanah di Kabupaten Bantul, adalah dengan gerakan hemat air.

Kata kunci : model dinamik, konservasi air tanah, Kabupaten Bantul

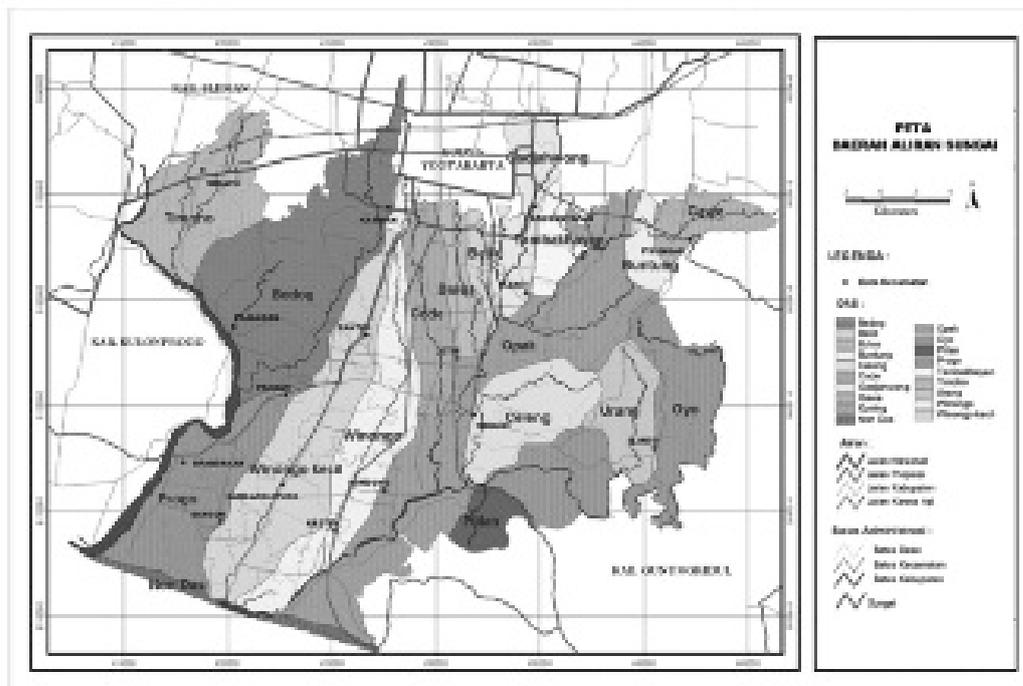
1. PENDAHULUAN

Hingga saat ini, air tanah masih merupakan sumber air utama penduduk untuk memenuhi kebutuhan air sehari-hari, seperti untuk minum, memasak, mencuci, mandi, ternak dan lain-lain. Bahkan tidak sedikit sebagai pemasok kebutuhan air untuk kegiatan industri dan perhotelan. Sebagai akibat kebutuhan air tanah yang terus mengalami peningkatan, sementara di sisi lain suplai air kedalam tanah tetap atau bahkan berkurang, maka akan menimbulkan banyak masalah yang terkait dengan sumber air tanah. Misalnya penurunan muka air tanah atau bahkan intrusi air laut [10, 14, 6, 3]. Untuk itu, pada saat ini beberapa pemerintah daerah telah menyusun beberapa alternatif sebagai upaya mengkonservasi air tanah tersebut. Walaupun dalam pemilihan alternatif konservasi air tanah, seringkali tidak dilakukan melalui kajian yang mendalam sehingga mengabaikan prioritas

konservasinya.

Salah satu hal yang dapat dilakukan dalam menentukan prioritas konservasi air tanah adalah dengan membuat model dan melakukan simulasi model. Salah satu model yang dapat digunakan adalah sistem model dinamis [4]. Untuk melakukan simulasi model dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak yang dinamakan *Powersim* [1]. *Powersim* digunakan sebagai laboratorium mini untuk melakukan percobaan beberapa kebijakan sebelum diaplikasikan.

Kabupaten Bantul, secara geomorfologis berada pada satuan lahan dataran aluvial Gunungapi Merapi. Material penyusun satuan lahan ini bertekstur pasir, sehingga mempunyai kandungan air tanah yang cukup tinggi. Disamping itu, karena termasuk Sistem Akuifer Merapi (SAM) yang memiliki beberapa lapisan akuifer, air tanah dapat dijumpai sebagai air tanah bebas ataupun air tanah tertekan [5].



Gambar 1. Peta Pembagian DAS di Kabupaten Bantul

Terdapat tiga DAS utama di Kabupaten Bantul yaitu DAS Progo, DAS Opak dan DAS Oyo. Sungai utama dalam DAS tersebut berair sepanjang tahun (sungai perenial), sedangkan untuk beberapa sungai kecil pada musim kemarau debit airnya relatif kecil. Sungai-sungai utama tersebut, sumber airnya berasal dari akuifer yang tebal, sehingga aliran dasarnya (*base flow*) relatif besar. Pembagian DAS selengkapnya di Kabupaten Bantul ditunjukkan pada Gambar 1.

Menurut PT. Triarsa (2011) [11], meskipun secara keseluruhan potensi air tanah di Kabupaten Bantul cukup tinggi, namun di beberapa wilayah mengalami kekritisian air atau hampir mengalami

kekritisian air, ditandai dengan jumlah kebutuhan yang melebihi atau hampir melebihi *safe yield*-nya, yaitu di DAS Urang, DAS Gawe dan DAS Bulus.

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas, maka tujuan dari penelitian ini adalah

- Membuat model konservasi air tanah di daerah penelitian
- Menganalisis perilaku model pada berbagai kondisi fisik dan sosial ekonomi
- Merumuskan prioritas kebijakan konservasi sumberdaya air tanah di daerah penelitian yang sesuai dengan karakteristik daerah

2. BAHAN DAN METODE

Ketersediaan air tanah dan kebutuhan air di daerah penelitian mengacu dari hasil penelitian Purnama (2012) [13] yang perhitungannya dilakukan dengan metode statis. Adapun rumus perhitungannya adalah sebagai berikut [15] :

$$\text{Vat} = \text{Sy} \times \text{Vak}$$

Kebutuhan air yang diperhitungkan adalah kebutuhan air untuk keperluan non pertanian yaitu domestik, industri, hotel dan peternakan, karena sektor-sektor tersebutlah yang memanfaatkan air tanah yang paling banyak sedangkan sektor pertanian memanfaatkan air permukaan atau air sungai. Mengacu dari hasil penelitian Purnama (2012) [13], kebutuhan air untuk domestik di Kabupaten Bantul ditentukan sebesar 100 liter/orang/hari. Kebutuhan air untuk industri dihitung berdasarkan jumlah karyawan industri dan konsumsi pemakaian air per karyawan per hari serta kebutuhan air untuk proses industri itu sendiri [9]. Standar kebutuhan air untuk industri sedang adalah 20.000 l/unit/hari. Kebutuhan air untuk hotel ditentukan oleh jumlah kamar dan tingkat hunian hotel. Standard kebutuhan air untuk hotel adalah 150 liter/hari/orang. Kebutuhan air untuk peternakan dihitung menurut jumlah ternak dan konsumsi air per ekor per hari. Jenis ternak yang diperhitungkan kebutuhan airnya adalah sapi-kerbau-kuda sebesar 40 liter/ekor/hari, kambing-domba, babi sebesar 5 liter/ekor/hari dan unggas sebesar 0.6 liter/ekor/hari [2].

Pemodelan dinamik, dimulai dengan mengolah dan memilah data primer dan data sekunder yang berhubungan dan dianggap penting dalam mempengaruhi ketersediaan air tanah [16]. Data sekunder yang dianggap penting adalah data jumlah penduduk, industri, ternak, data jumlah hotel dan data perubahan penggunaan lahan. Data sekunder tersebut digunakan untuk menentukan nilai laju perubahan kuantitas air tanah dari tahun ke tahun.

Model yang diperoleh selanjutnya disimulasikan dengan menggunakan komputer program *Powersim 2.5c* [1, 8]. Data pemodelan dan simulasi yang diperoleh merupakan data dasar dalam merumuskan kebijakan konservasi sumberdaya air tanah di daerah penelitian yang sesuai dengan karakteristik daerah tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Ketersediaan Air Tanah dan Kebutuhan Air

Berdasarkan hasil penelitian Purnama (2012) [13], diketahui bahwa ketersediaan air tanah di daerah penelitian sebesar 10.059.393.209,67 m³/tahun. Jumlah kebutuhan air untuk keperluan domestik sebesar 19.295.414 m³/tahun, total kebutuhan air untuk industri sebesar 1.051.200 m³/tahun dan kebutuhan air untuk sektor perhotelan sebesar 24.027 m³/tahun.

Kebutuhan air untuk ternak sapi sebesar 768.602 m³/tahun, kerbau 9.884 m³/tahun, kuda 11.826 m³/

tahun, kambing 74.832 m³/tahun, domba 42.079 m³/tahun dan babi 13.417 m³/tahun. Kebutuhan air untuk ayam ras petelur 97.448 m³/tahun, ayam ras pedaging 129.272 m³/tahun, ayam buras 116.518 m³/tahun dan itik 24.022 m³/tahun. Total kebutuhan air untuk keperluan domestik, rumah sakit, peribadatan, pendidikan, industri, hotel dan peternakan di Kabupaten Bantul adalah sebesar 23.440.199 m³/tahun (Purnama, 2012) [13].

3.2. Pemanfaatan Model Dinamik untuk Konservasi Air Tanah

Tahap pertama dalam pemanfaatan model dinamik untuk menentukan alternatif konservasi air tanah adalah menentukan parameter-parameter yang mempengaruhi ketersediaan tanahnya. Secara konseptual, ketersediaan air tanah ditentukan oleh laju penggunaan dan laju imbuhan. Laju penggunaan meliputi penggunaan air untuk kebutuhan domestik, hotel, industri, dan peternakan sedangkan laju imbuhan meliputi imbuhan air dari hujan dan mataair.

Sumber utama imbuhan air tanah adalah dari curah hujan. Besarnya curah hujan di Kabupaten Bantul adalah 2.222,8 mm/tahun, sedangkan luas wilayah Kabupaten Bantul adalah 50.685 ha, sehingga potensi air hujan di Kabupaten Bantul adalah sebesar 112.966.720.000 m³/th. Selain dari air hujan yang jatuh, imbuhan air tanah di Kabupaten Bantul juga berasal dari *inflow* akuifer di atasnya yaitu dari Sistem Akuifer Volkan Merapi Bagian Tengah. Berdasarkan perhitungan Purnama dkk (2007) [12], debit *inflow* yang masuk ke wilayah Kabupaten Bantul adalah 692,48 m³/hari atau 252.755,2 m³/th.

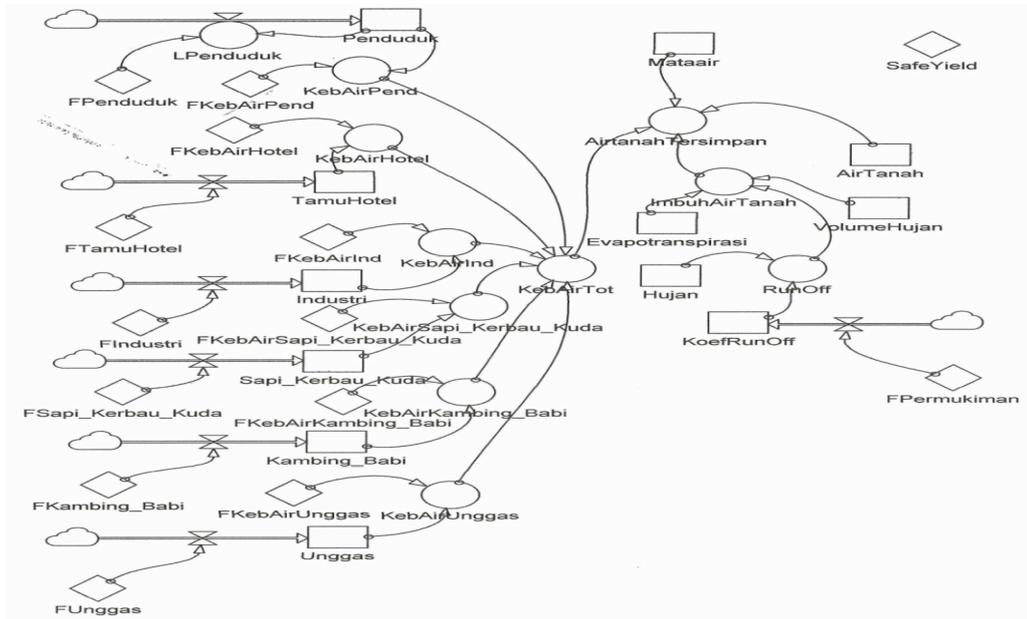
Mata air juga merupakan salah satu sumber air untuk air minum masyarakat Bantul, sehingga ketersediaan air dari sumber air ini juga ikut diperhitungkan dalam pemodelan ini. Berdasarkan data dari Dinas Sumberdaya Air, Kabupaten Bantul, diketahui bahwa potensi air dari mataair yang dimanfaatkan untuk air minum adalah sebesar 2.131.058 m³/tahun.

Air hujan yang jatuh di daerah penelitian tidak seluruhnya meresap ke dalam tanah sebagai imbuhan air tanah. Sebagian curah hujan akan hilang ke atmosfer sebagai evapotranspirasi, sebagian lagi menjadi *runoff* dan langsung mengalir ke laut. Berdasarkan dari beberapa hasil penelitian diketahui bahwa evapotranspirasi di daerah tropis sekitar 4-5 mm/hari, sedangkan nilai koefisien *runoff* di Kabupaten Bantul mengacu dari hasil penelitian Purnama, dkk (2007) [12] yaitu sebesar 60%.

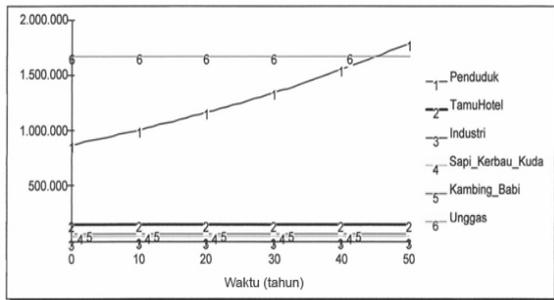
Menurut Cook (dalam Meijerink, 1970) [7], nilai koefisien *runoff* sangat tergantung oleh variabel-variabel yang mempengaruhinya, yaitu kemiringan lereng, infiltrasi tanah, vegetasi penutup dan timbunan air di permukaan. Salah satu parameter yang sangat dinamis dalam mempengaruhi nilai koefisien *runoff* adalah berkurangnya lahan pertanian menjadi peruntukan lain (non pertanian), karena akan sangat berpengaruh terhadap

infiltrasi air ke dalam tanah dan hilangnya vegetasi penutup. Berdasarkan data dari Sleman dalam Angka Tahun 2010, Jogjakarta dalam Angka Tahun 2010 dan Bantul dalam Angka Tahun 2010, tingkat pertumbuhan permukiman di seluruh Sistem Akuifer Merapi adalah 1,534% per tahun. Dalam pemodelan ini, satu aspek yang tidak boleh

ditinggalkan adalah *safe yield*. Nilai *safe yield* berfungsi sebagai kontrol apakah eksploitasi air tanah telah sesuai dengan batas amannya. Berdasarkan hasil perhitungan, hasil aman eksploitasi air tanah di Kabupaten Bantul adalah 260.364.861,83 m³/tahun.



Gambar 2. Model perhitungan ketersediaan dan kebutuhan air tanah sebagai dasar untuk simulasi konservasi air tanah Di Kabupaten Bantul.

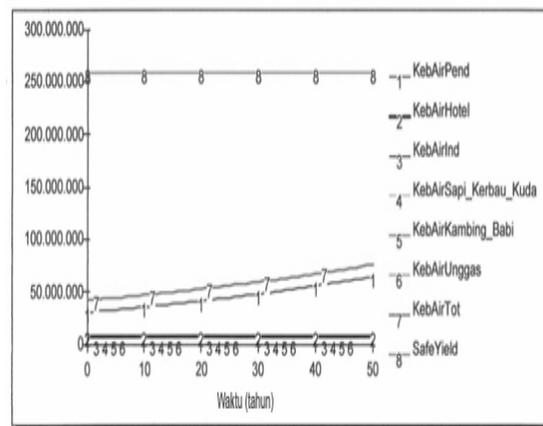


Gambar 3. Grafik perkembangan jumlah penduduk, tamu hotel, jumlah industri dan ternak di Kabupaten Bantul

Selanjutnya berdasarkan parameter-parameter tersebut, dibuat model perhitungan ketersediaan dan kebutuhan air tanah, sebagai dasar untuk simulasi konservasi air tanah di daerah penelitian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, sedangkan hasil perhitungannya divisualisasikan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 3.

Memperhatikan Gambar 3, terlihat bahwa pada waktu ke 50 atau Tahun 2060, penduduk di Kabupaten Bantul mencapai 1.800.827 jiwa atau lebih dari dua kali lipat daripada penduduk pada

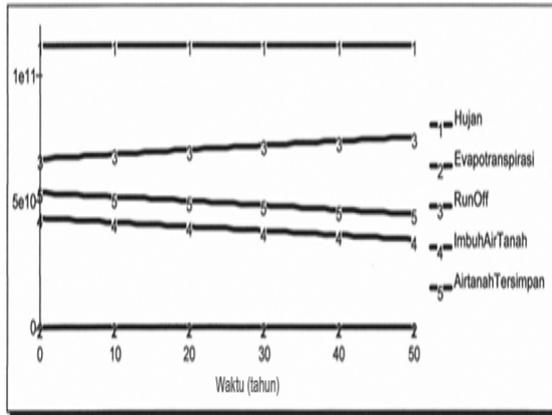
saat ini. Pertumbuhan hotel relatif tetap, demikian pula jumlah industri dan ternak. Memperhatikan fakta ini, peningkatan kebutuhan air hampir seluruhnya disebabkan oleh meningkatnya jumlah penduduk. Pada waktu ke 50 tersebut, akan terjadi kenaikan kebutuhan air dari 43.218.118,8 m³/tahun menjadi 76.800.166,2 m³/tahun.



Gambar 4 : Grafik perkembangan kebutuhan air dan *safe yield*

Ditinjau dari *safe yield*-nya, penurapan air

tanah total di Kabupaten Bantul masih jauh di bawah melampaui hasil amannya (Gambar 4). Meskipun demikian, telah terjadi penurunan imbuh air tanah dan jumlah air tanah yang tersimpan akibat semakin banyaknya air hujan yang menjadi *runoff* (Gambar 5), sehingga upaya konservasi air tanah harus sudah mulai dipikirkan.



Gambar 5 : Semakin besarnya volume *runoff* mengakibatkan semakin berkurangnya imbuh air tanah dan jumlah air tanah tersimpan

Di sisi lain, dengan peningkatan jumlah penduduk terjadi perluasan permukiman. Akibat dari konversi lahan menjadi permukiman, 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 air tanah berkurang. Jika pada Tahun 2010 imbuh air tanah diperkirakan sebesar 44.354.186.880 m³/tahun, pada Tahun 2060 hanya akan mencapai 35.655.749.440 m³/tahun, akibatnya air tanah tersimpan akan mengalami penurunan dari 54.372.745.784,12 m³ menjadi 45.640.726.296,67 m³

3.2 Konservasi Air Tanah

Memperhatikan hasil perhitungan pemanfaatan air tanah, diketahui bahwa sebagian besar pemanfaatan air di Kabupaten Bantul adalah untuk kebutuhan penduduk atau keperluan domestik. Demikian pula laju pertumbuhan pemanfaatan air juga selaras dengan laju pertumbuhan penduduk. Berdasarkan fenomena ini, maka simulasi pengurangan pemanfaatan air hanya akan ditekankan pada penggunaan air pada sektor domestik.

Ada dua cara untuk mengurangi jumlah pemanfaatan air untuk kebutuhan domestik, yaitu (1) mengurangi tingkat pertumbuhan penduduk (misalnya dengan program Keluarga Berencana atau migrasi penduduk), (2) mengurangi pemanfaatan air atau melakukan hemat air. Kedua cara ini dilakukan dalam simulasi, yaitu dengan mengurangi laju pertumbuhan penduduk

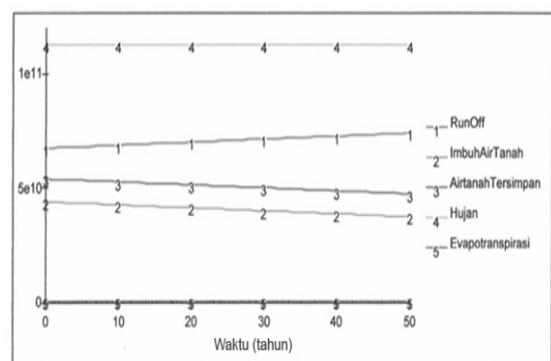
dan pemanfaatan air per orang per hari sebesar 25%, sehingga jika sebelumnya laju pertumbuhan penduduk sebesar 1,534% diubah menjadi 1,105% dan jumlah pemanfaatan air dari 100 l/orang/hari menjadi 75 l/orang/hari. Dasar perubahan nilai pertumbuhan penduduk dan kebutuhan air ini adalah kesesuaian simulasi dan kenyataan yang dapat diharapkan.

Dengan mengurangi tingkat pertumbuhan penduduk dan jumlah pemanfaatan air, terjadi fenomena penurunan kebutuhan air yang sangat signifikan. Apabila pada Tahun 2010 kebutuhan air penduduk sebesar 24.119.263,88 m³/tahun, di Tahun 2060 hanya akan mencapai 41.269.167,60 m³/tahun. Hal ini dapat dibandingkan dengan kejadian serupa dengan tanpa mengurangi pemanfaatan air yang kebutuhan air tanah mencapai 65.730.178,61 m³/tahun.

3.3 Konservasi Air Tanah dengan Cara Mempertahankan Imbuh Air tanah

Salah satu cara untuk mempertahankan imbuh air tanah 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 laju kecepatan konversi lahan menjadi permukiman diturunkan 25%. Nilai 25% yang digunakan sebagai dasar penurunan laju konversi lahan ini adalah kesesuaian simulasi dan kenyataan yang dapat diharapkan.

Hasilnya, terjadi pelambatan laju pengurangan imbuh air tanah yaitu dari 44.354.186.880 m³/tahun di Tahun 2010 menjadi 37.830.358.800 m³/tahun di Tahun 2060 (bandingkan dengan hasil tanpa penurunan laju permukiman yaitu sebesar 44.354.186.880 m³/tahun di Tahun 2010 menjadi 35.655.749.440 m³/tahun di Tahun 2060). Dari hasil tersebut terlihat bahwa pengurangan laju konversi lahan menjadi permukiman berpengaruh sangat signifikan terhadap imbuhan air tanah. Hasil simulasi selengkapnya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik penurunan jumlah imbuh air tanah berdasarkan hasil simulasi melalui pengurangan laju konversi lahan sebesar 25%

Dalam alternatif model konservasi ini, parameter laju pertumbuhan penduduk, jumlah pemakaian air untuk kebutuhan domestik dan laju konversi lahan menjadi permukiman diturunkan nilainya sebesar 25%. Hasil simulasi menunjukkan bahwa terjadi penurunan kebutuhan air yang sangat signifikan. Jumlah air tanah tersimpan yang pada Tahun 2010 sebesar 54.380.785.538,74 m³ hanya akan turun menjadi 47.839.796.667,49 m³. Hal ini dapat dibandingkan apabila tidak dilakukan perlakuan seperti ini. Air tanah tersimpan akan turun menjadi 45.640.726.296,67 m³ di Tahun 2060, atau selisih 2.199.070.360,82 m³. Hasil simulasi selengkapnya ditunjukkan pada

4. KESIMPULAN

Model dinamik dengan menggunakan Program Powersim 2,5c dapat digunakan untuk melakukan simulasi model hidrologi, khususnya model konservasi air tanah. Berdasarkan hasil simulasi perilaku model, diketahui bahwa dengan mengurangi laju konversi lahan menjadi permukiman, akan dapat mempertahankan pengurangan imbuhan air tanah dan mengurangi laju pengurangan jumlah air tanah tersimpan secara signifikan.

Prioritas konservasi air tanah di Kabupaten Bantul adalah dengan mengurangi laju konversi lahan dan gerakan hemat air. Pengurangan laju konversi lahan bukan hanya dilakukan di wilayah Kabupaten Bantul, namun dilakukan secara terpadu untuk seluruh Sistem Akuifer Merapi yang juga meliputi Kabupaten Sleman dan Kota Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arne, H., Byrkness and J. Cover. (1996). *Quick Tours in Powersim*. Powersim Press, Virginia.
2. Departemen Pekerjaan Umum, (1997). *Studi Keseimbangan Air di Pulau Jawa*. Proyek Pembinaan Pengelolaan Sumberdaya Air, Direktorat Pendayagunaan Sumberdaya Air, Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
3. Emmanuel B.E and L.O. Chukwu. (2010). Spatial Distribution on Saline Water and Possible Sources of Intrusion into Tropical Freshwater Lagoon and Transitional Effects on the Lacustrine Ichthyofaunal

- Diversity. *African Journal of Environmental Science and Technology* 4 (7) : 480-491.
4. Ford, A. (1999). *Modeling of Environment : An Introduction to System Dynamics Models of Environmental System*. Island Press, California.
5. MacDonald and Partners. 1984. *Greater Yogyakarta Groundwater Resources Study. Vol. 3 : Groundwater*. Directorate General of Water resources Development, Groundwater Development Project (P2AT), Yogyakarta.
6. Marandi A and L. Vallner. (2010). Upconing of Saline Water from The Crystalline Basement into The Cambrian-Vendian Aquifer System on The Kopli Peninsula, Northern Estonia. *Estonian Journal of Earth Sciences* 59 (4) : 277-287.
7. Meijerink, A.M.J. (1970). *Photo Interpretation in Hydrology : a Geomorphological Approach*. ITC, Delf.
8. Muhammadiyah, E., Aminullah dan B. Soesilo. 2001. *Analisis Sistem Dinamis : Lingkungan Hidup, Sosial Ekonomi, Manajemen*. UMP Press, Jakarta.
9. Nippon Koei, Co., Ltd. (1993). *The Study For Formulation Of Irrigation Development Programme Of Indonesia (FIDP)*. Departemen PU dan BAPPENAS, Jakarta.
10. Obikoya, I. B and J. D. Bennel. (2010). Geophysical Investigation of The Fresh-Saline Water Interface in The Coastal Area of Aberwyngregyn. *MSc Thesis*. School of Ocean Sciences, University of Wales, Bangor.
11. PT. Trikarsa Buwana Persada Gemilang, (2011). *Studi Neraca Air Kabupaten Bantul*. Dinas Sumber Daya Air, Kabupaten Bantul.
12. Purnama, S., Suyono, B.Sulaswono 2007. Sistem Akuifer dan Potensi Air tanah di DAS Opak. *Forum Geografi* 22 (2) : 111-122.
13. Purnama, S. (2012). Hasil Aman Penurapan Air tanah untuk Kebutuhan Non Pertanian di Kabupaten Bantul. *Forum Geografi* 26 (1) : 12-24.
14. Saha, D.K and K. Choudhury. 2005. Saline Water Contamination of The Aquifer Zones of Eastern Kolkata. *J. Ind. Geophys. Union* 9 (4) : 241-247.
15. Todd, D.K. and L.W. Mays. 2005. *Groundwater Hydrology*. John Wiley & Sons, New York.
16. Wagner, J. M., U. Shamir and H. R.Nemati. (1992). Groundwater Quality Management under Uncertainty: Stochastic Programming Approach and The Value of Information. *Water Resour. Res.* 2 (5): 1233.