

SIMULASI PENGIMBUHAN AIR TANAH DANGKAL DI DEPOK

✓
Sugeng Rahardjo dan Ratna Saraswati
Jurusan Geografi FMIPA
Universitas Indonesia

Diterima : 28 Mei 2002

; Disetujui : 21 Juni 2002

ABSTRAK

Penerapan analisis komponen utama, disertai dengan analisis kanonik menghasilkan gambaran perluasan wilayah tutupan (urbanisasi) terutama pada wilayah pelayanan di Kota Depok yang terus berlangsung. Jika wilayah tutupan dikendalikan menjadi 81,46 persen, atau 73,79 persen dari ketetapan Rencana Tata Ruang Wilayah tahun 2010, perlakuan model dinamis menunjukkan pengimbuhan air tanah dangkal dapat berkelanjutan lima tahun hingga 10 tahun kemudian.

RECHARGES SIMULATION ON GROUNDWATER IN DEPOK : Paved areas extension were analysed by principal component analysis and canonical correlation analysis. The result indicated that urbanization, especially in the commercial region, are increasing in Depok. According to the simulation on dynamic model, it is known that the carrying capacity of shallow groundwater will be sustain five up to 10 years latter, if urban land use could be controlled become 73,79 percent of the Depok's Spatial Planning 2010.

Keywords : urbanization, dynamic model, shallow groundwater

1. PENDAHULUAN

Pada awal hujan kemampuan tanah untuk menyerap air adalah besar, dapat mencapai 30 mm per jam atau 60 persen. Sebaliknya segera setelah jenuh, kemampuannya menurun dan menjadi tetap yakni hanya 10 persen, sehingga air hujan mengalir sebagai air permukaan (Sandy 1996 : 99). Pengimbuhan air tanah, atau proporsi aliran bawah permukaan yang dilakukan dalam studi di Kampus Universitas Indonesia (UI) Depok pada jenis kelembaban tanah, dan tutupan vegetasi yang berbeda, menghasilkan kisaran 0,4-9,9 persen (Kusratmoko dkk. 2001 : 8).

Studi tentang air tanah, lazim dikaitkan dengan curah hujan, luas wilayah resapan, laju air limpasan, dan tinggi muka air tanah. Studi yang dilakukan Geraedts (1994 : 210-213) bahkan dapat menunjukkan bahwa dengan membuat bendung penahan air pada wilayah resapan seluas 1.500 ha, dihasilkan kenaikan muka air tanah dangkal maksimum 50 cm. Prakiraan persebaran tinggi muka air tanah dangkal juga telah diperagakan oleh Yan *et al* (1999 : 102-103) dalam bentuk model keruangan, atau lazim juga disebut model analog.

Muka air tanah dangkal di Depok yang termasuk dalam cekungan air tanah (*groundwater basin*) Jakarta, antara tahun 1950-1995 mengalami penurunan, bahkan pada berbagai

tempat mencapai 20 m (periksa Hutasoit & Pindratno 1997 : 104). Gejala ini, di satu sisi menunjukkan bahwa terjadi penyusutan luas wilayah resapan, akibat perluasan wilayah terbangun (*paved area*) untuk keperluan permukiman, industri, pertokoan, dan lain-lain (periksa Pemerintah Kota Depok 2000; Rahardjo 2001: 3). Di sisi yang lain mencerminkan pula ada perubahan perilaku pengimbuhan pada air tanah dangkal.

Model dinamis seperti diutarakan Brady & Whyson (1999 : 306-311) dapat menggambarkan perilaku hubungan antarsubstansi, misal perubahan wilayah resapan dengan pengimbuhan air tanah dangkal. Oleh karena itu menjadi menarik diteliti untuk memprakirakan daya dukung kota. Informasi awal yang diperlukan dalam menyusun model dinamis adalah struktur ruang. Penyusunan struktur ruang dapat dilakukan atas dasar perhitungan statistik (periksa Nakagawa 1996 : 17-21; Satoh 1996 : 49-55; Langlois & Kitchen 2001 : 128-131). Pemikiran di muka membuahakan dua pertanyaan yang akan ditelaah di dalam makalah ini yaitu : (1) bagaimana urbanisasi (dengan penciri perluasan wilayah tutupan) di Kota Depok; dan (2) bagaimana kaitannya dengan perubahan perilaku pengimbuhan air tanah dangkal.

II. METODOLOGI

Bahan yang digunakan untuk menilai proses urbanisasi diperoleh dari kajian tentang struktur ruang Kota Depok (Rahardjo dkk.2002:1-4). Penelitian itu menjelaskan distribusi skor komponen ke-1 (AKU-1) yang kemudian diolah dengan sistem informasi geografis (SIG), sehingga menghasilkan peraga berupa peta. Kelompok wilayah yang berdimensi ruang itu, kemudian lebih lanjut ditelaah untuk mengetahui fungsi kota dengan analisis pembeda (*discriminant analysis*), dan diuji dengan analisis korelasi fungsi kanonik (*canonical discriminant function*).

Ketersediaan bahan yang memberi informasi awal simulasi, memungkinkan untuk menyusun model dinamis guna mengenali perilaku subsistem pengimbuhan air tanah dangkal. Pada awal simulasi diperlukan informasi : (1) jumlah penduduk (1.145.091 jiwa), dan pertumbuhannya (6,3 persen per tahun); (2) laju perluasan wilayah tutupan (11 persen per tahun); (3) luas tanah yang diperkirakan dapat berubah menjadi wilayah tutupan (17.729,69 ha); (4) laju pengimbuhan air tanah dangkal (yang di dalam simulasi dimulai dari 9,9 persen); (5) jumlah curah hujan di hulu Sungai Ciliwung dan Depok (3.000 mm per tahun); (6) konsumsi air tanah untuk kebutuhan air bersih (80 persen x jumlah penduduk tahun bersangkutan x 150 l x 365 hari).

Penyusunan model dilakukan atas dasar asumsi : (1) jumlah penduduk (jiwa) hanya dipengaruhi oleh laju pertumbuhan per tahun, dan pembatas pertambahan; (2) luas wilayah tutupan (ha) hanya dipengaruhi oleh laju wilayah tutupan, dan resapan (0,1 persen); dan (3) perilaku pengimbuhan air tanah dangkal dinyatakan dalam volume (m³).

Simulasi pengimbuhan air tanah dangkal dijalankan melalui tiga perlakuan. Pertama bertujuan untuk mencari kesesuaian dengan prakiraan yang tertuang pada Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Depok tahun 2010. Perlakuan yang lain dijalankan untuk mengetahui dua hal, yaitu perubahan pada hubungan antarsubsistem, serta memprakirakan keberlanjutan daya dukung kota.

III. HASIL

Penerapan AKU antara lain menghasilkan AKU-1 yang mampu menjelaskan 22,73 persen dari ragam total (*total variance*). Distribusi skor AKU-1 yang telah dikelompokkan dalam tiga wilayah dapat dilihat pada Gambar 1. Wilayah A yang berciri usahatani terbentang pada bagian barat Ci Liwung, yakni hanya meliputi sebagian dari Kecamatan Sawangan. Wilayah B, yang berciri pelayanan dan terletak tidak jauh dari toko, gedung bioskop, dan rumah sakit yang merupakan wilayah terluas, dan meliputi hampir seluruh Kecamatan. Wilayah C, yang berciri kegiatan industri dan perumahan yang dibangun

pengembang terbentang di bagian utara. Jika Gambar 1 diperhatikan, tampak bahwa wilayah yang berciri kegiatan industri memanjang sejalan alur jalan utama (Jalan Raya Bogor), sedangkan wilayah perumahan yang dibangun pengembang menyebar di Beji Timur, Depok Jaya, Cinere, Pangkalan Jatibaru, dan lain-lain (periksa juga Saraswati & Rahardjo 2000 : 5).

Struktur ruang Kota Depok yang ditunjukkan dalam peraga Gambar 1, kemudian diuji lagi lebih lanjut pengelompokkannya dengan cara menerapkan analisis pembeda. Hasil analisis menunjukkan bahwa skor AKU-1 paling berpengaruh nyata, yang ditandai oleh F hitung terbesar (19,39), dan nilai Lamda Wilks terkecil (0,76). Begitu pun dari hasil kaji fungsi kanonik (*canonical discriminant function*) diperoleh satu fungsi, dengan akar ciri (*eigenvalue*) cukup, dan korelasi 0,61. Fungsi kanonik itu menunjukkan bahwa usahatani adalah penciri wilayah A, dengan koefisien paling tinggi (0,88). Lihat Tabel 1.

Korelasi kelompok pada Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai korelasi fungsi kanonik dengan wilayah yang berciri usahatani adalah 0,73. Sedangkan korelasi dengan wilayah yang berciri pelayanan (toko) adalah 0,49. Angka korelasi (0,49) itu menerangkan bahwa pada wilayah B di Gambar 1 masih terdapat usaha tani, berupa kebun campuran. Akan tetapi terus mengalami penyusutan sebesar - 0,48 satuan, setiap terjadi suksesi penggunaan tanah kota (urbanisasi) pada wilayah B.

Gejala itu juga berarti bahwa peningkatan aksesibilitas pada wilayah B akan menyebabkan perluasan penggunaan tanah kota, atau perluasan wilayah tutupan untuk keperluan permukiman, industri, pertokoan, dan lain-lain.

Selanjutnya, perluasan wilayah tutupan, yang dapat berarti juga penyusutan wilayah resapan, dapat menimbulkan dampak pada perilaku pengimbuhan air tanah dangkal. Padahal kebun campuran yang lazim ditumbuhi tanaman keras pada wilayah B memungkinkan aliran bawah tanah dapat menjadi tinggi.

Luas penggunaan tanah untuk permukiman di Kota Depok pada tahun 1988 adalah 35,36 persen. Direncanakan di dalam RTRW pada tahun 2010 mencapai 39,40 persen, atau 7.891,09 ha untuk menampung penduduk yang 1.675.213 jiwa (Pemerintah Kota Depok 2000). Persentase wilayah tutupan itu telah mendekati persentase wilayah tutupan di Singapura (49,7 persen) untuk menampung penduduk tahun 1997 yang berjumlah hampir dua kali, 3.100.000 jiwa (Seik 2000 : 32).

Jika perlakuan ke-1 terhadap model dinamis dijalankan sesuai harapan RTRW, maka dihasilkan hubungan antarsubsistem penduduk dengan luas wilayah tutupan yang menunjukkan perilaku eksponensial (lihat Gambar 2). Pada awal simulasi, jumlah penduduk adalah 1.145.091 jiwa, sedangkan luas wilayah tutupan adalah 3.786,03

ha, dan *stock* dijalankan dengan angka 400 juta m³.

Perhatikan subsistem imbuhan air tanah dangkal, pada awal simulasi hingga tahun 2010 masih menunjukkan perilaku bertambah, sekalipun wilayah resapan mulai menyempit. Akan tetapi setelah periode itu, pengimbuhan air tanah dangkal menurun. Lihat Tabel 2.

Percobaan perubahan laju pengimbuhan terhadap perlakuan ke-1 juga telah dilakukan. Hasil percobaan dengan melakukan perubahan laju dari 9,9 persen menjadi 10 persen tidak menunjukkan perubahan pola perilaku model dan daya dukung kota. Jika pada tahun 2010 diperkirakan jumlah penduduk berjumlah 1.671.358 jiwa, maka diperkirakan kebutuhan air tanah dangkal sebagai sumber air bersih adalah 43 juta m³. Selanjutnya, ketika pada tahun 2025 jumlah penduduk meningkat menjadi 2.470.244 jiwa, maka kebutuhan air bersih mencapai 65 juta m³. Jika pengimbuhan air tanah dangkal yang diharapkan adalah berbanding terbalik dengan konsumsi air bersih yang berasal dari sumber air tanah dangkal, yakni 4 : 1, maka dapat dikatakan daya dukung kota terlampaui setelah tahun 2025.

Perlakuan pada model ke-1 juga dicoba dijalankan dengan cara meningkatkan laju pengimbuhan lebih dari 11 persen. Memang volume air imbuhan dapat meningkat, akan tetapi laju pengimbuhan lebih dari 10 persen hanya terjadi pada saat awal hujan, atau di wilayah bukan perkotaan (periksa Soemarwoto 1988 : 223). Oleh karena itu pada setiap perlakuan model yang berikut, laju pengimbuhan dianggap tetap, yaitu 9,9 persen.

Perlakuan ke-2 dijalankan dengan mencoba membatasi pertumbuhan luas wilayah tutupan, dari 11 persen menjadi hanya 10 persen. Hasil simulasi menunjukkan bahwa luas wilayah tutupan pada tahun 2010 dapat dikendalikan, menjadi hanya seluas 6.428,04 ha, atau kurang-lebih 81,46 persen dari luas yang dicadangkan dalam RTRW. Skenario pengendalian pemanfaatan tanah itu menghasilkan perilaku pengimbuhan air tanah dangkal yang hampir sama dengan simulasi ke-1. Akan tetapi dari segi daya dukung kota menjadi berkelanjutan, yakni sampai 2030. Pertumbuhan penduduk mulai tampak dapat dikendalikan, dan diperkirakan jumlah penduduk yang dapat ditampung di Kota Depok pada awal tahun 2030 adalah berjumlah 2.474.592 jiwa.

Perlakuan ke-3 tetap diawali dengan pengendalian pada laju pertumbuhan perubahan jenis penggunaan tanah kota, yakni hanya menjadi 10 persen, dan juga mengendalikan luas tanah yang diharap menjadi wilayah tutupan, yakni 80 persen dari perlakuan ke-1, atau 73,79 persen dari peruntukan yang ditetapkan RTRW tahun 2010. Pada Gambar 3 dapat juga dilihat pertumbuhan jumlah penduduk mulai menunjukkan tahap stabil, dan perluasan wilayah tutupan lebih dapat dikendalikan, dan memungkinkan untuk

menjadikan daya dukung kota berkelanjutan. Lihat Tabel 3. Jika skenario ke-3 yang disajikan dalam Gambar 3 dan Tabel 3 dibandingkan dengan skenario yang disajikan ke-1 yang diperagakan dalam Gambar 2 dan Tabel 2 dapat diketahui bahwa luas wilayah tutupan seperti yang ditentukan di dalam RTRW tahun 2010 dapat diperlambat 10 tahun kemudian (dari tahun 2010 menjadi tahun 2020). Perilaku laju penurunan pengimbuhan juga menunjukkan pola yang sama, dan daya dukung air tanah dangkal bagi penduduk yang menggunakannya sebagai sumber air bersih diperkirakan dapat terlampaui setelah tahun 2030.

IV. PEMBAHASAN

Kota Depok yang berbatasan dengan DKI (Daerah Khusus Ibukota) Jakarta di satu pihak diharapkan menjadi wilayah resapan, sebagaimana diharapkan dalam Keputusan Presiden No. 114 Tahun 1999 (Keppres 114/1999) tentang Penataan Ruang Kawasan Bogor-Puncak-Cianjur. Di dalam Keppres 114/1999 itu telah ditetapkan bahwa tiga di antara enam kecamatan di Kota Depok, yaitu Cimanggis, Limo, dan Sawangan diharapkan dapat menjadi daerah yang dapat berfungsi sebagai wilayah resapan. Akan tetapi di lain pihak Pemerintah Kota Depok sedang gencar untuk melakukan pembangunan dengan landasan Undang-undang No. 22 Tahun 1999 tentang Pemerintahan Daerah. Semula sektor pembangunan permukiman di daerah Jakarta-Bogor-Tangerang-Bekasi (Jabotabek) dikembangkan kearah timur dan barat dari DKI Jakarta. Namun sejak tahun 1987, seiring dengan penggunaan Kampus Universitas Indonesia di Depok, pemodal justru memilih membangun permukiman di wilayah selatan, termasuk di Kota Depok. Saat ini Kota Depok sebagai *primary growth center* memerankan fungsi yang sama dengan kota-kota yang terletak di Bekasi, Bogor, dan Tangerang (Goldblum & Wong, 2000 : 32). Akibatnya luas wilayah dengan fungsi resapan seperti yang diharapkan dalam Keppres 114/1999 menyusut, dan hanya dapat diperankan oleh wilayah A, dengan penciri usahatani yang tersebar pada berbagai desa di Kecamatan Sawangan.

Pembatasan jumlah penduduk yang masuk ke Kota Depok untuk dijadikan dasar pengendalian pemanfaatan sumber daya alam (SDA) bukanlah cara yang tepat. Begitu pula keputusan untuk memanfaatkan tanah (sebagai salah satu jenis SDA) terutama bagi keperluan permukiman, tanpa pembatasan akan menimbulkan dampak pada pengimbuhan air tanah dangkal. Oleh karena itu alternatif pemanfaatan SDA yang makin dihemat (eko-efisien) dan sesuai dengan tujuan (eko-efektif) masih diperlukan (periksa Soerjani 2000 : 20). Salah satu strategi yang dapat ditempuh adalah memperketat laju wilayah tutupan, seperti membangun permukiman

yang hemat tanah. Pengendalian wilayah tutupan dalam waktu dekat (sebelum tahun 2010), terutama perlu dilakukan pada wilayah B yang berciri wilayah pelayan, seperti Abdi Jaya, Beji, Mekar Jaya, Mekarsari, Pancoran Mas, Sukmajaya, Tugu dan lain-lain.

V. KESIMPULAN

Kota Depok dapat dikelompokkan dalam tiga wilayah, yaitu wilayah yang berciri usahatani, pelayanan (toko), serta perumahan dan industri. Fungsi resapan dalam struktur ruang kota hanya diperankan oleh wilayah usahatani di Kecamatan Sawangan. Sebaliknya wilayah tutupan tersebar hampir di seluruh kota.

Perlakuan pada model dinamis dengan menyusun skenario pembatasan laju wilayah tutupan menghasilkan perubahan perilaku pengimbuhan air tanah dangkal. Jika laju pertumbuhan wilayah tutupan mengikuti prakiraan RTRW, perilaku pengimbuhan akan menurun sejak tahun 2015. Sementara itu dari skenario lain diketahui bahwa pembatasan luas wilayah tutupan hingga menjadi 73,79 persen dari RTRW, menghasilkan perilaku pengimbuhan yang berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan banyak terima kasih kepada Prof. Muhammadiyah yang mengizinkan penggunaan *powersim* untuk melakukan simulasi bagi keperluan penyusunan makalah ini.

DAFTAR ACUAN

- Brady, W.W. & G.I.. Whysong 1999. Modeling. In Morain, S (ed). *GIS Solutions in Natural Resource Management*. Onword Press, USA : 293-324
- Geraedts, J. M. 1994. Water management in the rural-development project Roden-Norg. In *Sustainable Land Use Planning*. Elsevier Science Ltd, NI : 205-216
- Goldblum, C. & T.C. Wong 2000 : Growth crisis and spatial change, a study of haphazard urbanization in Jakarta, Indonesia. In *Land Use Policy* 17. Elsevier Sc. Ltd., NI : 29-37
- Hutasoit, L. M. & M.H. Pindratno 1997. Groundwater salinity and its Management in Jakarta. In *Coastal and Nearshore Geological/ Oceanographical assessment of Jakarta Bay : a Basis for Coastal Zone Management and Development*. CCOP & LIPI, Jkt : 103-114
- Kusratmoko, E., D.Sukanta, M.P.Tambunan & Sobirin 2001: *Studi Hidrologi Hutan Kota Kampus UI Depok*. Jurusan Geografi FMIPA UI & LP UI, Depok : 10 hal
- Langlois, A. & P. Kitchen 2001: Identifying and measuring dimensions of urban deprivation in Montreal. In *Urban Studies* 18 (1) : 119-139
- Nakagawa, S. 1996. Spatial structure of Bangkok Metropolis. In *Regional Views* 9. IAG, Komazawa University : 11-22
- Pemerintah Kota Depok 2000. *Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Depok Tahun 2000-2010*. Pemerintah Kota Depok, Depok
- Rahardjo, S. 2001. Pengembangan Kota Depok dan prakiraan perubahan kualitas lingkungan. *Konferensi ESDAL*. BPPT, Jakarta : 5 hal
- Rahardjo, S., R. Saraswati & L. Anita 2002. Struktur ruang Kota Depok. Dalam *Jurnal Geografi* 3 : 1-6
- Sandy, I. M. 1996. *Republik Indonesia : Geografi Regional*. Geografi FMIPA UI & PT. Indograph Bhakti, Jkt : 363 hal
- Saraswati, R. & S. Rahardjo, 2000. The development of economic service centre in the Depok area. In *Global Conference on Economics Geography*. NUS, Singapore : 9 pp
- Satoh, T. 1999. Secondary urban centers in Metropolitan Area of Bangkok. In *Regional Views* 12. IAG, Komazawa Univ. : 47-66
- Seik, F.T. 2000: Subjective assessment of urban quality of life in Singapore 1997-1998. In *Habitat International* 24, 31-49
- Soemarwoto, O. 1988. *Analisis Dampak Lingkungan*. Gajah Mada Univ. Press, Yogyakarta : 374 pp
- Soerjani, M. 2000. *Perkembangan Kependudukan dan Pengelolaan Sumber Daya Alam : Pembangunan Berkelanjutan dalam Otonomi Daerah*. Institut Pendidikan dan Pengembangan Lingkungan, Jakarta : 42 hal
- Yan, J, K.R. Smith, R.M. Greenwald, P. Srinivasan & D.S. Ward 1999. A modular groundwater modelling system. In Morain, S (ed). *GIS Solutions in Natural Resource Management*. Onword Press, USA : 95-104

Tabel 1. Koefisien Fungsi Kanonik, Korelasi, dan Klasifikasi Koefisien

Variabel	Koefisien Fungsi Kanonik	Korelasi Kelompok	Klasifikasi Koefisien Fungsi*
Regresi skor AKU-1	0,88	0,73	1,21
Regresi skor AKU-2	0,69	0,49	0,88
Regresi skor AKU-3	0,11	0,07	0,14
Regresi skor AKU-4	0,14	0,09	0,17
Konstanta	-	-	- 1,42

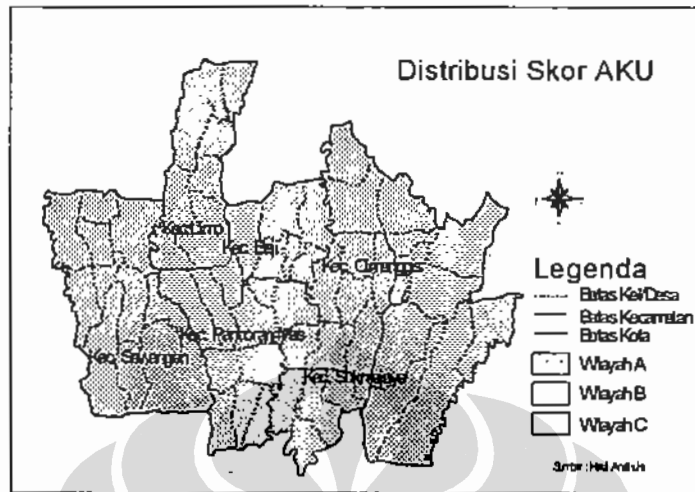
* $y = 1,21 \text{ saku-1} + 0,88 \text{ saku-2} + 0,14 \text{ saku-3} + 0,17 \text{ saku-4} - 1,42$
 saku-1 = skor AKU-1 $y =$ desa pencari usahatani, atau pencari wilayah resapan

Tabel 2. Perlakuan ke-1 Pengimbuhan Air Tanah Dangkal

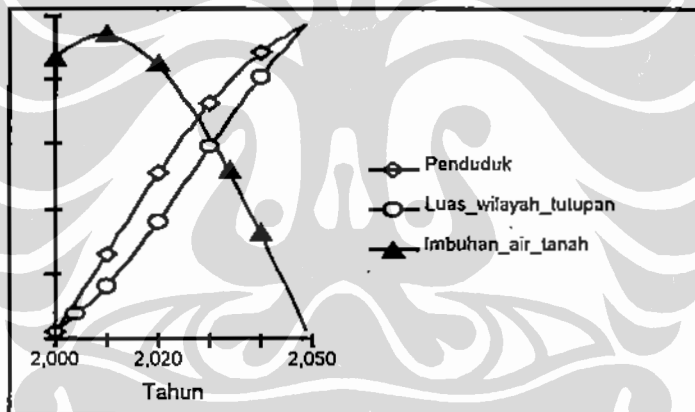
Tahun	Penduduk (jiwa)	Wilayah tutupan (ha)	Imbuhan air tanah (m ³)
2000	1.145.091	3.786,03	400.000.000
2005	1.399.582	5.582,38	484.070.098
2010	1.671.358	7.889,04	504.783.724
2015	1.948.618	10.673,91	464.879.573
2020	2.218.729	13.837,55	369.408.530
2025	2.470.244	17.234,04	225.525.708

Tabel 3. Perlakuan ke-3 Pengimbuhan Air Tanah Dangkal

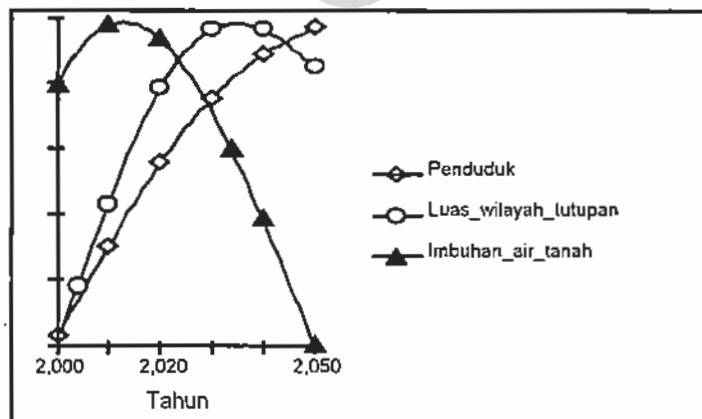
Tahun	Penduduk (jiwa)	Wilayah tutupan (ha)	Imbuhan air tanah (m ³)
2000	1.145.091	3.786,03	400.000.000
2005	1.362.378	4.797,57	507.815.411
2010	1.582.694	5.822,99	562.388.565
2015	1.795.386	6.768,71	566.356.904
2020	1.991.041	7.549,96	524.521.924
2025	2.163.093	8.110,81	443.317.872
2030	2.308.421	8.432,63	330.039.954



Gambar 1. Struktur Ruang Kola Depok (Rahardjo dkk, 2002 : 6)



Gambar 2. Hubungan Antarsubsystem pada Perlakuan ke-1



Gambar 3. Hubungan Antarsubsystem pada Perlakuan ke-3